

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

**CARLA REGINA PINOTTI**

**“PRODUTIVIDADES DE ARROZ E FEIJÃO RELACIONADAS  
COM ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO  
TRATADO COM COMPOSTO ORGÂNICO NO CERRADO”**

Ilha Solteira  
2023

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CARLA REGINA PINOTTI**

**“PRODUTIVIDADES DE ARROZ E FEIJÃO RELACIONADAS  
COM ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO  
TRATADO COM COMPOSTO ORGÂNICO NO CERRADO”**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de  
Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Doutora em Agronomia.  
Especialidade: Sistemas de Produção.

Rafael Montanari  
**Orientador**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P657p Pinotti, Carla Regina.  
Produtividades de arroz e feijão relacionadas com atributos físicos e químicos de um latossolo tratado com composto orgânico no cerrado / Carla Regina Pinotti. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023  
82 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2023

Orientador: Rafael Montanari  
Inclui bibliografia

1. *Oryza sativa* L. 2. Resíduo urbano. 3. *Phaseolus vulgaris* L. 4. Biossólido. 5. Sustentabilidade.

  
Raiane da Silva Santos

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Produtividade de arroz e feijão relacionadas com atributos físicos e químicos de um Latossolo tratado com composto orgânico no cerrado

AUTORA: CARLA REGINA PINOTTI

ORIENTADOR: RAFAEL MONTANARI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia, especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI (Participação Virtual)



DEFERS Departamento de Fitossanidade Engenharia Rural e Solos / FEIS UNESP Ilha Solteira



Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO (Participação Virtual)

Departamento de Fitossanidade / FEIS UNESP Ilha Solteira

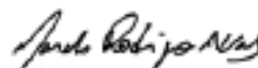
Prof. Dr. DOUGLAS HENRIQUE BANDEIRA (Participação Virtual)

DEFERS / Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,  
Faculdade de Engenharia Campus Ilha Solteira



Prof. Dr. MARCELO RODRIGO ALVES (Participação Virtual)

Departamento de Agronomia / Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE



Prof. Dr. RAYNER SVERSUT BARBIERI (Participação Virtual)

Departamento de Zootecnia / Faculdade Associadas de Uberaba -



Ilha Solteira, 10 de fevereiro de 2023

## **DEDICO...**

*Aos meus pais Luiz Carlos Pinotti e Marcia Regina Pivetta Pinotti, pelo amor incondicional e pela paciência. Por terem feito o possível e o impossível para me oferecerem a oportunidade de estudar em Ilha Solteira por todos esses anos, acreditando e respeitando minhas decisões e nunca deixando que as dificuldades acabassem com os meus sonhos, pelos quais enfrento os obstáculos da vida sempre na esperança de vencer, e poder retribuir o que me deram com tanto esforço.*

*Ao meu irmão Fernando Henrique Pinotti, pela amizade, incentivo e companheirismo.*

*Aos meus avós Antonieta Apis Pinotti “in memorian”, Olimpio Pinotti “in memorian”, Mercedes Morcelli Pivetta “in memorian” e Pedro Pivetta “in memorian”.*

## **OFEREÇO...**

*Ao meu amigo e namorado Matheus Elache Rosa, pela dedicação, apoio incondicional e parceria no enfrentamento das dificuldades durante todos esses anos de convívio, sempre me incentivando e não permitindo que eu desistisse, nada disso seria possível sem você ao meu lado...*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, paz e proteção concedidas em todos estes anos de estudo e de vida.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Rafael Montanari, pela confiança, incentivo e muita paciência durante este período de orientação, manifesto minha gratidão pela grande contribuição em minha vida profissional e pessoal nestes anos de convivência, foi uma grande oportunidade e um privilégio para mim.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, em especial à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, por proporcionar excelentes condições de aprendizado aos alunos da instituição.

Aos professores da Pós-Graduação pelos incentivos e ensinamentos, são exemplos de pessoas que conciliam profissionalismo, responsabilidade para com o ensino, pesquisa e extensão, além de grande disponibilidade aos discentes.

A todos os meus familiares, tios, tias e primos que torceram, acompanharam e acreditaram na conclusão de mais essa etapa acadêmica, muito obrigada, sem a família tufão eu nada seria.

Às amigas que o doutorado me trouxe, Sheury Celante Marques pelo companheirismo e amizade desde o início e Lucymara Merquides Contardi pelas ótimas histórias vividas, por todos os jogos do Palmeiras e passeatas e por ajudar a tornar a vida acadêmica muito mais leve e divertida.

Ao meu amigo e companheiro de muito trabalho Diego dos Santos Pereira, que esteve ao meu lado em todo o período do doutorado, sempre solícito a ajudar e me apoiar, serei para sempre grata.

Aos colegas do Grupo de Estudo em Geoestatística (GEOISA), e do Grupo de Estudo em Nutrição de Plantas, Adubação e Fertilidade do Solo (GENAFERT), pela dedicação ao trabalho, pela amizade e pela parceria no nosso projeto.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE pelo suporte durante o período de avaliação do experimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da pesquisa, possibilitando a produção desta tese.

*“Ninguém vai bater mais forte que a vida. Não importa o quanto você bate, mas sim o quanto aguenta apanhar e continuar lutando. O quanto pode suportar e seguir em frente. É assim que se ganha.”*

*(Rocky Balboa)*

## RESUMO

A utilização do lodo de esgoto promove economia de fertilizantes minerais e aumenta a produtividade das culturas agrícolas. Na safra 2017/2018, foi instalado um experimento em Selvíria-MS, em um LATOSSOLO VERMELHO argiloso, o arroz foi cultivado na safra de verão e o feijão na safra de inverno, o mesmo sendo repetido na safra de 2018/2019. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo: quatro doses de composto de lodo de esgoto (CLE) (5,0; 7,5; 10 e 12,5 Mg ha<sup>-1</sup> base úmida) aplicadas em área total e dois tratamentos controles (sem aplicação do CLE e com adubação mineral convencional), o CLE foi aplicado apenas antes da implantação da cultura do arroz, nas duas safras e analisou-se o efeito residual no cultivo de feijão. Os atributos físicos avaliados foram macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt), densidade do solo (Ds), diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) em três profundidades (0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) nas duas safras. Também foram avaliadas as produtividades de grãos de arroz e feijão e a fertilidade do solo com uma aplicação de CLE após o cultivo sucessivo de arroz e feijão. As doses de composto de lodo de esgoto não modificaram os atributos físicos avaliados na primeira safra, mas os resultados obtidos indicam que o CLE apresenta potencial para uso agrícola, pois na segunda safra houve melhora na macroporosidade, na densidade e nos agregados do solo. O tratamento que proporcionou maior produtividade de grãos de arroz foi de 5 Mg ha<sup>-1</sup> na safra 2017/2018. Houve incremento na produtividade de grãos de feijão nas duas safras avaliadas quando se aplicou as maiores doses de CLE, ou seja 7,5; 10 e 12,5 Mg ha<sup>-1</sup>. A adubação com CLE proporcionou aumento nos teores de fósforo no solo com o aumento das doses de composto de lodo de esgoto na profundidade de 0,00 a 0,05 m, o maior valor de fósforo foi de 53 mg dm<sup>-3</sup> quando houve aplicação de 12,5 Mg ha<sup>-1</sup>. O uso do CLE, é eficiente como complemento da adubação mineral para o cultivo sucessivo de arroz e feijão, porém estudos de maior duração são recomendados para confirmar os benefícios da sua aplicação em solos de cerrado.

**Palavras-chave:** *Oryza sativa* L. Resíduo urbano. *Phaseolus vulgaris* L. Biossólido. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

The use of sewage sludge saves chemical fertilizers and increases the productivity of agricultural crops. In the 2017/2018 harvest, an experiment was installed in Selvíria-MS, Brazil, in a clayey Oxisol, rice was grown in the summer harvest and beans in the winter harvest, the same being repeated in the 2018/2019 harvest. The experimental design was in randomized blocks, with four replications, as follows: four doses of sewage sludge compost (CLE) (5.0; 7.5; 10 and 12.5 Mg ha<sup>-1</sup> wet basis) applied in a total area and two control treatments (without application of CLE and with conventional mineral fertilization), the CLE was applied just before the implantation of the rice crop, in both harvests and the residual effect in the bean crop was analyzed. The physical attributes evaluated were macroporosity (Ma), microporosity (Mi), total porosity (Pt), soil density (Ds), weighted average diameter (DMP) and geometric mean diameter (DMG) at three depths (0.00-0.05; 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m) in both harvests. Rice and bean grain yields and soil fertility were also evaluated with an application of CLE after successive cultivation of rice and bean. The doses of sewage sludge compost did not modify the physical attributes evaluated in the first season, but the results obtained indicate that CLE has potential for agricultural use, since in the second season there was an improvement in macroporosity, density and soil aggregates. The treatment that provided the highest rice grain yield was 5 Mg ha<sup>-1</sup> in the 2017/2018 season. There was an increase in bean grain yield in the two seasons evaluated when the highest doses of CLE were applied, that is, 7.5; 10 and 12.5 Mg ha<sup>-1</sup>. Fertilization with CLE provided an increase in phosphorus levels in the soil with the increase in sewage sludge compost doses at a depth of 0.00 to 0.05 m, the highest phosphorus value was 53 mg dm<sup>-3</sup> when there was application of 12.5 Mg ha<sup>-1</sup>. The use of CLE is efficient as a complement to mineral fertilization for the successive cultivation of rice and beans, but longer-term studies are recommended to confirm the benefits of its application in cerrado soils.

**Keywords:** *Oryza sativa* L. Urban waste. *Phaseolus vulgaris* L. Biosolid. Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Temperatura, umidade do ar e precipitação pluvial, durante o cultivo das culturas no ano agrícola de 2017/2018 e 2018/2019.....	26
<b>Figura 2.</b> Aplicação do CLE em área total das parcelas antes da semeadura da cultura. ....	27
<b>Figura 3.</b> Recebimento do CLE para a instalações dos experimentos.....	28
<b>Figura 4.</b> Operação de preparo do solo com escarificador antes da instalação dos experimentos.....	30
<b>Figura 5.</b> Operação de correção do solo com calcário e gesso para adequar a fertilidade do solo. ....	30
<b>Figura 6.</b> Sementes de arroz com tratamento químico antes da semeadura da cultura. ....	31
<b>Figura 7.</b> Semeadora e adubadora de fluxo contínuo utilizada no experimento. ....	35
<b>Figura 8.</b> Parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura conforme recomendação. ....	36
<b>Figura 9.</b> Colheita da segunda safra da cultura do arroz de forma manual na área útil da parcela para avaliação da produtividade.....	37
<b>Figura 10.</b> Produtividade do arroz (PRGa) BRS esmeralda em função das doses de composto de lodo de esgoto ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) na safra 2017/2018, Selvíria – MS.....	62
<b>Figura 11.</b> Produtividade do feijão (PRGf) BRS estilo, em função das doses de composto de lodo de esgoto na safra 2017/2018, Selvíria – MS.....	63
<b>Figura 12.</b> Produtividade do arroz (PRGf) BRS esmeralda, em função das doses de composto de lodo de esgoto na safra 2018/2019, Selvíria – MS.....	64
<b>Figura 13.</b> Produtividade do feijão (PRGf) BRS estilo, em função das doses de composto de lodo de esgoto na safra 2018/2019, Selvíria – MS.....	65

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Composição química e microbiológica de amostras do composto de LE. ....	28
<b>Tabela 2.</b> Atributos químicos <sup>(1)</sup> e físicos <sup>(2)</sup> das amostras dos solos utilizados no experimento (Média ± desvio-padrão; n = 3). ....	29
<b>Tabela 3.</b> Teste F e análise de contraste para macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds), na camada de 0,00-0,05 m. Ano agrícola 2017/2018. ....	40
<b>Tabela 4.</b> Teste F e análise de contraste para macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds), na camada de 0,05-0,10 m. Ano agrícola 2017/2018. ....	41
<b>Tabela 5.</b> Teste F e análise de contraste para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,10-0,20 m. Ano agrícola 2017/2018. ....	43
<b>Tabela 6.</b> Teste F e análise de contraste para diâmetro médio ponderado do solo em função dos tratamentos e anos de avaliação. Ano agrícola 2017/2018. ....	45
<b>Tabela 7.</b> Teste F e análise de contraste para diâmetro médio geométrico do solo em função dos tratamentos e anos de avaliação. Ano agrícola 2017/2018. ....	46
<b>Tabela 8.</b> Teste de Tukey e análise de contraste para fósforo, matéria orgânica e pH, na camada de 0,00-0,05 m. Ano agrícola 2017/2018. ....	47
<b>Tabela 9.</b> Teste de Tukey e análise de contraste para cálcio, magnésio e acidez potencial, na camada de 0,00-0,05 m. Ano agrícola 2017/2018. ....	48
<b>Tabela 10.</b> Teste de Tukey e análise de contraste para soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação de bases, na camada de 0,00-0,05 m. Ano agrícola 2017/2018. ....	49
<b>Tabela 11.</b> Teste de Tukey e análise de contraste para fósforo, matéria orgânica e pH, na camada de 0,05-0,10 m. Ano agrícola 2017/2018. ....	50
<b>Tabela 12.</b> Teste de Tukey e análise de contraste para cálcio, magnésio e acidez potencial, na camada de 0,05-0,10 m. Ano agrícola 2017/2018. ....	51
<b>Tabela 13.</b> Teste de Tukey e análise de contraste para soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação de bases, na camada de 0,05-0,10 m. Ano agrícola 2017/2018. ....	52
<b>Tabela 14.</b> Teste de Tukey e análise de contraste para fósforo, matéria orgânica e pH, na camada de 0,10-0,20 m. Ano agrícola 2017/2018. ....	53

<b>Tabela 15.</b> Teste de Tukey e análise de contraste para cálcio, magnésio e acidez potencial, na camada de 0,10-0,20 m. Ano agrícola 2017/2018. ....	54
<b>Tabela 16.</b> Teste de Tukey e análise de contraste para soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação de bases, na camada de 0,10-0,20 m. Ano agrícola 2017/2018. ....	55
<b>Tabela 17.</b> Teste F e análise de contraste para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,00-0,05 m. Ano agrícola 2018/2019. ....	56
<b>Tabela 18.</b> Teste F e análise de contraste para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,05-0,10 m. Ano agrícola 2018/2019. ....	57
<b>Tabela 19.</b> Teste F e análise de contraste para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,10-0,20 m. Ano agrícola 2018/2019. ....	58
<b>Tabela 20.</b> Teste F e análise de contraste para diâmetro médio ponderado do solo em função dos tratamentos e anos de avaliação. Ano agrícola 2018/2019. ....	59
<b>Tabela 21.</b> Teste F e análise de contraste para diâmetro médio geométrico do solo em função dos tratamentos e anos de avaliação. Ano agrícola 2018/2019. ....	60

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>História e Importância das culturas.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Arroz.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Feijão.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Lodo de esgoto .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Composto de lodo de esgoto e uso na agricultura .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Cultivo sucessivo de arroz e feijão .....</b>	<b>22</b>
<b>2.5</b>	<b>Efeito do CLE nas propriedades do solo e produtividade após o uso .....</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Descrição da área experimental.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2</b>	<b>Delineamento experimental e tratamentos .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>Obtenção e caracterização do composto de lodo de esgoto .....</b>	<b>27</b>
<b>3.4</b>	<b>Instalação e desenvolvimento do experimento .....</b>	<b>29</b>
<b>3.5</b>	<b>Parâmetros avaliados.....</b>	<b>38</b>
<b>3.6</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>39</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das culturas de cereais mais importantes, servindo como alimento para populações em todo o mundo (SONG *et al.*, 2018). No Brasil, essa cultura desempenha um papel muito importante no abastecimento interno desse grão para a população, atuando como regulador de preços (GODOY *et al.*, 2015). O Brasil apresenta a maior área cultivada com arroz de terras altas, sendo que a maior parte desse cultivo está concentrado no Cerrado (FAGERIA *et al.*, 2008).

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa de grande importância para a alimentação humana em todo o mundo, principalmente nos países em desenvolvimento, onde constitui a principal fonte de proteína, por apresentar baixo valor econômico, quando comparada com proteínas de origem animal (MEZIADI *et al.*, 2016). A produção total de feijão no Brasil foi de 3,02 milhões de toneladas, plantadas em uma área de 3,0 milhões hectares na safra 2019/2020 (CONAB, 2019). Sendo o Brasil, o terceiro maior produtor dessa leguminosa (FAOSTAT, 2019).

Apesar da aptidão dos solos da região Centro-Oeste para a produção agrícola, o bioma dos Cerrados apresenta solos ácidos com baixa fertilidade natural e baixa disponibilidade de macro e micronutrientes. Outro fator característico desses solos são a alta saturação por alumínio (LOPES e GUIMARÃES, 2016).

O alto custo e demanda dos fertilizantes minerais, é uma preocupação do setor agrícola mundial, incentivando então a busca por fontes alternativas de macro e micronutrientes, como por exemplo o lodo de esgoto (JAKUBUS; BAKINOWSK, 2018), a fim de reduzir a procura por fertilizantes inorgânicos.

O uso do lodo de esgoto para fins agrícolas, como adubo orgânico é considerado uma opção adequada para a disposição final desse resíduo (MESQUITA *et al.*, 2017). Sendo capaz de interferir nos atributos físicos do solo, propiciando maior infiltração, retenção de água, aeração e reflexos ambientais, como redução da erosão e melhoria da qualidade dos solos degradados (PEDROZA *et al.*, 2010; ALMEIDA *et al.*, 2017).

Devido então ao seu grande potencial como fertilizante e condicionador de solo, esse resíduo tem sido estudado em diversas culturas, tais como: milho e feijão (NOGUEIRA *et al.*, 2007), cana-de-açúcar (ABREU JUNIOR *et al.*, 2008), girassol (NASCIMENTO *et al.*, 2014), eucalipto (ABREU JUNIOR *et al.*, 2019; FLORENTINO *et al.*, 2019), evidenciando o potencial de utilização desse produto em áreas agrícolas e florestais. Quando aplicado com recomendações técnicas, os lodos de esgoto podem reduzir em muito o custo de produção, pela

menor utilização de fertilizantes minerais solúveis.

Objetivou-se com a pesquisa avaliar o efeito da aplicação de doses do composto de lodo de esgoto nos atributos físicos e químicos de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico argiloso e na produtividade de grãos das culturas de arroz e feijão cultivadas em sucessão na região do Cerrado Sul-Mato-Grossense em duas safras agrícolas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 História e Importância das culturas

#### 2.1.1 Arroz

Antes de qualquer relato histórico, o arroz foi, provavelmente, o principal alimento e a primeira planta cultivada na Ásia, de onde surgiu a espécie *Oryza sativa*, dispersada primeiramente na Índia, nas províncias de Bengala, Assam e Mianmar (G1, 2021).

O uso do arroz é muito antigo na Índia, sendo citado em todas as escrituras hindus, usadas como oferendas em cerimônias religiosas. Da Índia, essa cultura provavelmente estendeu-se à China e à Pérsia, difundindo-se, mais tarde, para a Indonésia, em torno de 1500 a.C. Os sarracenos levaram o cereal à Espanha e os espanhóis, por sua vez, à Itália. Os turcos introduziram o arroz no sudeste da Europa. Na Europa, o arroz começou a ser cultivado nos séculos VII e VIII, com a entrada dos árabes na Península Ibérica. Foram, provavelmente, os portugueses quem introduziram esse cereal na África Ocidental, e os espanhóis, os responsáveis pela sua disseminação nas Américas (ASSOCIAÇÃO DOS ARROZEIROS DE ALEGRETE - AAA, 2013).

No Brasil o arroz era conhecido como o “milho d’água” (abati-uaupé) que os tupis, muito antes de conhecerem os portugueses, já colhiam nos alagados próximos ao litoral (AGROSABER, 2021). Mas foi, em 1904, no município de Pelotas, que surge a primeira lavoura empresarial, já então irrigada (AAA, 2013).

O arroz é um dos alimentos mais consumidos no mundo e seu gênero científico é *Oryza*, que abrange 19 espécies. A espécie de arroz que foi domesticada é a *Oryza sativa*. O arroz faz parte da família botânica Poaceae, a mesma do milho e trigo (ESCOLA BOTÂNICA, 2021).

Considerado um dos cereais de maior importância econômica em muitos países em desenvolvimento. É uma cultura que apresenta grande capacidade de se adaptar a diferentes condições de solo e clima. Cultivado e consumido em todos os continentes, o arroz se destaca pela produção e área de cultivo (EMBRAPA, 2021). São considerados dois grandes métodos para a cultura: o de várzeas, irrigado por inundação controlada, mais comum na região Sul do Brasil, e o de terras altas, englobando o de sequeiro e com irrigação suplementar por aspersão, com predomínio na região Centro-Oeste do País (EMBRAPA, 2022).

Desempenhando papel estratégico tanto em nível econômico quanto social para os povos das nações mais populosas da Ásia, África e América Latina (EMBRAPA, 2021), serve de base alimentar para mais de um terço da população mundial. Atendendo todas as classes da

população por ser mais acessível economicamente do que os demais cereais, respondendo também pelo suprimento de cerca de 20% das calorias, tornando esse um alimento importante para a nutrição humana, além de exercer papel estratégico na solução de questões de segurança alimentar (SOSBAI, 2018).

Cultivado em todos os continentes, mas com destaque para o asiático, com uma produção equivalente a 89,9% da mundial, vindo, em seguida, o continente americano, africano, europeu e oceânico. O Brasil situa-se em nono lugar, com uma produção correspondente a 1,5% da mundial, ficando atrás de China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Tailândia, Myanmar e Filipinas (EMBRAPA, 2021).

O levantamento mais recente da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) sobre a safra brasileira de grãos para a safra 2021/22 mostra que os produtores brasileiros de arroz devem colher quase 11,4 milhões de toneladas. Esse volume representa queda de 3,2% sobre o volume da safra anterior, sendo o principal motivo para essa estimativa é a redução de produtividade das lavouras, que pode cair 2,5% em relação ao período anterior, combinada com uma pequena diminuição da área plantada (0,7%). Segundo os dados da Conab, serão cultivados no total mais de 1,6 milhão de hectares (BASF, 2022).

Dentre os maiores estados produtores de arroz no Brasil na atual safra 2021/2022 destacam-se Rio Grande do Sul, e Santa Catarina com aproximadamente 82% da produção nacional, seguidos por Tocantins, Mato Grosso, Maranhão, Paraná, Pará, Roraima, e outros estados (CONAB, 2022).

Alimento típico da culinária brasileira, o arroz está entre os alimentos mais consumidos pela família brasileira, mesmo quando não estamos em casa, essa combinação está disponível na maioria dos restaurantes (TANABE, 2020).

Mas é com seu par feijão, que ambos se completam, proporcionando ganhos nutricionais e sonoridade ao típico prato brasileiro, arroz com feijão (ROSA, 2018).

### **2.1.2 Feijão**

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa com elevada importância para a nutrição humana (CONAFER, 2022) e animal (ARIAS, 2016), especialmente na região da América Central e América do Sul, possivelmente centro de origem dessa proteína (WIKIPÉDIA, 2022).

Ideal para a saúde, essa leguminosa rica em carboidratos também tem nutrientes essenciais para uma vida saudável, como proteínas ricas em lisina, vitaminas A1, B1, B2, sais

minerais (ferro, cálcio, potássio e fósforo) e fibras (CHAVES; BASSINELLO 2022), sendo uma das fontes mais importantes e de baixo custo para a população de muitos países (BETTIOL et al., 2020).

A semeadura do feijão no Brasil ocorre em três épocas (safras), ao longo do ano e em diferentes regiões do país, com características edafoclimáticas definidas, como: 1ª safra ou “safra das águas”, onde a semeadura geralmente é realizada no período de agosto a outubro; 2ª safra ou “safra da seca” semeada entre os meses de janeiro e abril; e 3ª safra, conhecida como safra de “outono-inverno”, com semeadura feita a partir do mês de maio (OLIVEIRA, 2022b).

A produção brasileira de feijão para a safra 2021/22 está estimada em aproximadamente 3,0 milhões de toneladas para uma área colhida de 2,9 milhões de hectares (CONAB, 2022). O Brasil se posiciona em terceiro lugar e faz parte dos dez principais produtores de feijão do mundo, que juntos detêm cerca de 72% da produção mundial, ficando atrás da Índia e Myanmar e a frente de Estados Unidos, China, Tanzânia, México, Uganda, Quênia, Etiópia (FAOSTAT, 2021).

Mesmo entre os maiores produtores e consumidores de feijão comum do mundo, nosso país possui uma produtividade média relativamente baixa (PEREIRA, 2016), provavelmente pelo grande número de pequenos produtores e trabalhadores rurais, ainda, envolvidos nessa cadeia (MARTINS, 2016).

Essa alegação torna-se mais evidente quando se compara a área plantada de 1,42 milhões de hectares, produtividade de 468 kg ha<sup>-1</sup> e produção total de 667 mil de toneladas, na região nordeste, comparativamente a área de 295 mil hectares, 2007 kg ha<sup>-1</sup> e 591 mil toneladas na região centro-oeste (CONAB, 2022).

Afim de buscar aumento da produtividade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas e testadas (SILVA, 2021), dentro das variações de condições climáticas e de solos nas diversas regiões produtoras de feijão no Brasil (FEBRONI, 2022). A adubação adequada é de suma importância para garantir boa produtividade, uma vez que a baixa fertilidade do solo, característica de solos brasileiros, e a falta de adubação adequada, causam baixo rendimento da cultura (SILVA et al., 2016).

Em vista dos atuais acontecimentos internacionais, onde o preço médio da tonelada da ureia no porto ucraniano em julho deste ano foi o maior desde julho de 2012, o preço do MAP (fosfatado monoamônico) negociado nos portos de Casa Blanca, em Marrocos e de São Petersburgo, na Rússia ficaram maior desde outubro de 2008, e o preço do cloreto de potássio disparou no porto de Vancouver, no Canadá (OSAKI, 2021).

Culturas de menor ciclo como o feijoeiro, demandam atenção e conhecimento das

necessidades nutricionais da planta para alcançar produtividade esperada (LACERDA *et al.*, 2019). Diante dessa informação e dos aumentos nos gastos com os fertilizantes e de outros itens, a estimativa do orçamento total de produção para a safra 2021/22 cresceu, sendo a maior alta a calculada para o feijão, de 16,1% (OSAKI, 2021).

Visando a redução do custo de produção no momento de maior custo dos fertilizantes minerais, e de olho na sustentabilidade do setor, a adubação orgânica pode fornecer os nutrientes que essa cultura necessita para se desenvolver e completar seu ciclo (LEITE, *et al.*, 2022), proporcionando competitividade para à agricultura, além de permitir uma melhor destinação dos dejetos (resíduos) e um menor impacto ambiental quando transformados em fertilizantes (CRUZ *et al.*, 2017).

## **2.2 Lodo de esgoto**

O sistema de tratamento de esgoto doméstico do Brasil gera muitas discussões e debates por apresentar índices de coleta e tratamento inferiores a 50% em vários estados (BRASIL, 2019).

As estações de tratamento de esgoto são peças fundamentais para reduzir estes impactos, pois funcionam como fábricas, possuindo como matéria prima todo o esgoto bruto coletado, e tendo como produto final o esgoto tratado, mas como toda fábrica, são gerados rejeitos “resíduos” a partir do seu tratamento, sendo um deles o lodo de esgoto (LINS; LIMA, 2022).

Mas com o trabalho das estações de tratamento, um novo problema ambiental é gerado, a gestão e codisposição desse lodo de esgoto no aterro sanitário (MADUREIRA, 2022), além de reduzir o tempo de vida útil dos aterros, que misturam o lodo com os resíduos sólidos domésticos, ocupando assim mais espaço (ALAMINO, 2010).

Entretanto, sabe-se, na realidade, que a grande maioria dos municípios não possuem aterros sanitários, e nos “depósitos de lixo” existentes, acontecem também com problemas de conflitos com pessoas que ali retiram sua renda reciclando, que não aceitam o descarte de lodo naquele local (MADUREIRA, 2022).

Entre brigas e desrespeito ambiental, a presença de lodo de esgoto em muitos municípios brasileiros, como resíduo ambiental, vem aumentando, principalmente em virtude do elevado custo para codisposição de forma sustentável (RODRIGUES *et al.*, 2022).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº12.305 de 02 de agosto de 2010, tem como parâmetros o incentivo a não geração e a redução, reutilização e tratamento dos resíduos sólidos, bem como destinação adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

De acordo com essa legislação, são considerados rejeitos apenas as partes dos resíduos que não apresentam possibilidade de reciclagem (LINS; LIMA, 2022).

O lodo de estações de tratamento de água e esgoto podem trazer benefícios como a recuperação de áreas degradadas, matéria-prima de compostos orgânicos, aplicação em telhados verdes, controle de erosão, fabricação de materiais de construção, pavimentação, utilização em solo de agricultura (URBAN; ISAAC; MORITA, 2019).

Pelo fato do lodo de esgoto ser um resíduo e rico em matéria orgânica, e essa ser a principal responsável pela manutenção da qualidade do solo, e sabendo que a sua perda causa sérios problemas à estrutura do solo, à manutenção do seu aporte vegetal e à sua atividade biológica (GUIMARÃES; MATOS; CARPANEZ, 2022).

O lodo de esgoto na agricultura vem ganhando espaço, por ser rico em matéria orgânica aumenta a fertilidade do solo, promove retenção de água, promove a ciclagem dos nutrientes. É uma alternativa economicamente viável, uma vez que seu uso diminui ou mesmo elimina a necessidade da aplicação de corretivos e fertilizantes minerais, o que torna o plantio mais sustentável, conservativo e econômico (LACERDA, *et al.*, 2022).

Porém o lodo de esgoto caracteriza-se pela presença de poluentes químicos, biológicos, nutrientes e compostos orgânicos (RODRIGUES *et al.*, 2022), e precisa passar por transformação de matéria orgânica em compostos estáveis (SOUZA, 2022), para se adequar a parâmetros permitidos na agricultura brasileira.

### **2.3 Composto de lodo de esgoto e uso na agricultura**

A compostagem é uma técnica antiga, utilizada há milênios (MARQUES, 2022), é um tipo de tratamento biológico aeróbio, em que ocorre a transformação de matéria orgânica em compostos estáveis, água e CO<sub>2</sub> (SOUZA, 2022).

Esse processo envolve uma população macro e mesofauna, como besouros, minhocas e uma diversidade de microrganismos, incluindo fungos, e bactérias mesofílicas e termofílicas, que utilizam a matéria orgânica para o seu metabolismo, e reduz a fração biodegradável do resíduo para uma fração húmica estável (KALDERIS; AIVALIOTI; GIDARAKOS, 2010), atrativa para o uso na agricultura (ARAÚJO, *et al.*, 2022), bem como em viveiros de produção de mudas; áreas de jardinagem; gramados; na fruticultura; campos esportivos; recuperação de áreas degradadas; silvicultura (MADUREIRA, 2022).

A atividade desses microrganismos na compostagem depende das condições físico-químicas, como temperatura, em que algumas bactérias podem atuar no o intervalo térmico de

14°C até níveis térmicos superiores a 40°C (SANTOS *et al.*, 2022), o pH do meio, a quantidade de nutrientes disponíveis em cada momento da compostagem (ROBLEDO-MAHÓN; CALVO; ARANDA, 2020), a aeração, a relação C/N, e a umidade (SOUZA, 2022).

A matéria orgânica produzida a partir desse processo pode ser definida como adubo ou húmus, sendo geralmente utilizada como fertilizante orgânico natural (WU *et al.*, 2020). Além de ser um processo natural de gestão residual, a compostagem é uma técnica simples, de baixo custo, e muito provavelmente, o sistema mais antigo de tratamento biológico utilizado na história foi o da compostagem. Tal processo, nas duas últimas décadas, tomou grandes proporções pela possibilidade de execução em pequena, média e grande escalas (SANTOS *et al.*, 2022).

Em alguns países como os EUA e o Canadá, o composto do lodo de esgoto está sendo aproveitado na agricultura, devido a sua riqueza em nutrientes (ALAMINO, 2010).

O composto é considerado tão atrativo para a o uso na agricultura, por ser benéfico para as plantas e melhora a qualidade do solo (SOUZA, 2022), devido a presença de nutrientes como o nitrogênio “N”, fósforo “P”, e potássio “K”, além de conter elevado teor de matéria orgânica ainda exerce o papel de condicionador do solo (ARAÚJO *et al.*, 2022), podendo substituir parcialmente a utilização de adubos minerais (FREDDI, 2019).

Entretanto, o uso do composto de lodo de esgoto na agricultura pode causar problemas derivados da presença de microrganismos patogênicos, metais pesados, odores, entre outros (LI *et al.*, 2016).

O lodo de esgoto é classificado em classe A e classe B de acordo com quantidades de coliformes fecais e processo de redução de patógenos. A classe A não apresenta restrições de uso, no entanto, o de classe B exige alguns cuidados tais como: evitar contato manual com o material ou com a área contemplada para a sua aplicação por pelo menos trinta dias; não cultivar, por 14 meses após a aplicação, alimentos cuja parte consumida entre em contato com o lodo de esgoto e; por fim, não poderão ser cultivados na área, por um período mínimo de nove meses e no máximo 38 meses, alimentos que se desenvolvam no subsolo (CETESB, 1999).

*Enterococcus* e a *Escherichia coli* são exemplos de microrganismos patogênicos utilizados como indicadores de eficácia do processo de compostagem “tratamento”, pela redução de suas populações (PILNÁČEKA *et al.*, 2019), devido a eliminação de patógenos sensíveis a altas temperaturas (MORETTI; BERTONCINI; ABREU-JUNIOR, 2015).

O processo de compostagem tende a contribuir para diminuir a disponibilidade de metais no solo, como Zn, Cu, Cr, Pb, Hg, Se, Cd (MORETTI; BERTONCINI; ABREU-

JUNIOR, 2015), ajudando a evitar a contaminação dos solos agrícolas, uma vez que esse procedimento modifica a mobilidade de elementos potencialmente tóxicos, fazendo com que sua solubilidade e o seu potencial biodisponível no solo sejam limitados (KHALIL *et al.*, 2011).

O uso do lodo de esgoto na agricultura apenas é recomendável quando não cause danos à cadeia trófica envolvida (ARAÚJO, *et al.*, 2022). No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente aprovou, em 2006, a Resolução nº 375, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto sanitário, definindo limites para substâncias potencialmente tóxicas e critérios para liberação do resíduo. Que também define as culturas aptas a receberem lodo de esgoto ou produto derivado, sendo proibida a utilização de lodo de esgoto ou produto derivado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos, raízes e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato direto com o solo (CONAMA, 2006).

Para garantir a segurança da utilização na agricultura, vários países utilizam de legislações rígidas para controlar o nível de contaminação do solo e evitar efeitos negativos à saúde humana e ambiental (PEREIRA, 2021).

## **2.4 Cultivo sucessivo de arroz e feijão**

O aumento da necessidade por alimentos sem precisar abrir novas áreas agrícolas exige que a produção seja mais eficiente, dessa forma, é fundamental o uso de técnicas e de conhecimento para obter maior produtividade dos cultivos e, ao mesmo tempo, reduzir os impactos ambientais (RHODEN; SCHERER, 2022).

Visando a demanda crescente pela sustentabilidade, em regiões brasileiras onde é possível a segunda safra, o sistema de produção utilizado por produtores rurais é a sucessão de culturas (LE MOS, 2022), que permite a semeadura em sequência na mesma área e ano (PEREIRA, 2021), como é o caso da famosa sucessão soja e milho (“milho safrinha”).

Nesse pensamento, a sucessão da cultura do feijão e do arroz, outra dupla tradicional na gastronomia brasileira, tem boas chances de ser sucesso.

Na maioria dos sistemas agrícolas de produção, a disponibilidade de nitrogênio, mais do que qualquer outro nutriente, é quase sempre fator limitante, influenciando o crescimento da planta (SILVEIRA, *et. al.*, 2020).

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa (SANTOS, 2022) da família Fabaceae. Essa cultura caracteriza-se pela alta demanda de nitrogênio, sendo assim, a fixação biológica pode refletir na redução de aplicação de nitrogênio mineral (TEIXEIRA *et*

*al.*, 2010). Além do mais, a menor relação C/N nessa planta, proporciona rápida decomposição dos restos vegetais pós colheita (TEIXEIRA *et al.*, 2011). Disponibilizando nutrientes para a cultura sucessora (MARCELO *et al.*, 2012), no caso, favorecendo o arroz.

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma gramínea da família Poaceae (SOBRINHO, 2022), e assim como feijão, exige muito nitrogênio, além de fósforo (SILVA, 2022), que pode ser suprido pelo CLE. As gramíneas, por permanecerem mais tempo no solo, devido a sua alta relação C/N, produzem maiores porcentagens de matéria orgânica quando comparadas às leguminosas (SILVEIRA, *et. al.*, 2020), que na sucessão pode melhorar a parceria com a cultura do feijão.

## **2.5 Efeito do CLE nas propriedades do solo e produtividade após o uso**

O lodo de esgoto (LE) possui elevado potencial para uso agrícola seja como fornecedor de nutrientes (CHAGAS *et al.*, 2021) ou condicionador de solo (BERTON *et al.*, 2021), devido ao seu potencial em melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (ARAÚJO, *et al.*, 2022) e aumentos na produtividade dos cultivos (YU *et al.*, 2019).

O LE quando é tratado, de forma adequada recebe o nome de composto de lodo de esgoto (CLE) ou biossólido e adquire propriedades que permitem seu uso na agricultura (SILVA *et al.*, 2020).

Desse modo, o CLE pode ser utilizado em harmonia com os adubos minerais (FREDDI, 2019), mas não deve ser visto como um substituto do fertilizante mineral, e sim como um produto que deve ser usado associado (ARAÚJO *et al.*, 2022), como um biofertilizante, ecologicamente correto e economicamente viável (DEUS *et al.*, 2020), para contribuir para a reciclagem e melhor aproveitamento de nutrientes (CHRISPIM *et al.*, 2020).

Nos atributos físicos do solo, condicionados principalmente pela presença de matéria orgânica, destacam-se a melhoria no estado de agregação das partículas do solo, e assim diminuição da densidade e aumento na aeração (CEZAR *et al.*, 2011), retenção de água, que em ensaio de campo de Sampaio *et al.*, (2012) teve aumento em função da aplicação de até de 20 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto aos seis meses; e da macroporosidade e diminuição da resistência à penetração (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Curci *et al.* (2020), verificaram melhora na condutividade elétrica, pH do solo, estabilidade dos agregados do solo, umidade do solo na capacidade de campo, com o aumento das doses de CLE (3, 6, 9 e 12 t ha<sup>-1</sup>), após três anos de aplicação. Pereira (2021) encontrou aumento da microporosidade do solo com o uso do composto de lodo, na camada superficial,

no segundo ano de avaliação, o autor ainda ressalta que o uso do CLE tem potencial para melhorar os atributos físico-hídricos do solo, porém estudos de longa duração e doses mais altas são necessárias para confirmar os benefícios da aplicação em solos tropicais.

Quando se trata dos aspectos químicos, a aplicação de lodo ao solo tem propiciado aumento nos teores de elementos como o nitrogênio (ELSALAM *et al.*, 2021) e o fósforo (SÁNCHEZ *et al.*, 2020), sendo esse fundamental e ao mesmo tempo limitante para o crescimento das plantas (ARAÚJO *et al.*, 2022). A adubação com CLE aumentou a SB, CTC, V%, e o teor de P, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> do solo, além da dose de 12,5 t ha<sup>-1</sup> que proporcionou alterações positivas na fertilidade do solo superiores à adubação mineral para o cultivo em sucessão da soja e do milho (PEREIRA, 2021).

Em contrapartida as concentrações de metais presentes no CLE, de modo geral, são bem maiores do que aquelas naturalmente encontradas em solos, gerando à necessidade de monitorar o ambiente devido os riscos do aumento desses elementos, em consequência do uso agrícola (ALVES *et al.*, 2021).

As aplicações sucessivas de CLE podem conduzir ao acúmulo destes elementos no ambiente e a entrada na cadeia alimentar (BAIRD; CANN, 2011), em concentrações superiores as recomendadas por lei, têm sido responsáveis por uma série de doenças e danos à saúde (ARAÚJO, *et al.*, 2022), além de gerar aumento no teor de sódio do solo, afetando assim a absorção de água e de nutrientes pelos vegetais, devido ao aumento da pressão osmótica da solução do solo, ou pela sua ação dispersante sobre as argilas, desestruturando o solo e causando prejuízo a infiltração de água, aeração e crescimento das raízes (ARAÚJO, *et al.*, 2022).

Os atributos biológicos mais frequentemente avaliados, são a atividade microbiana avaliada pela respiração do solo, que é o comportamento da atividade dos microrganismos em função das perturbações no solo aumentando a disponibilidade de recursos limitados, e a qualidade da biomassa microbiana, que tem sido parâmetros mais utilizados para avaliar o impacto do uso desse composto (STROMBERGER *et al.*, 2011), que pode ainda aumentar as atividades enzimáticas no solo (HAMDI *et al.*, 2019).

A adição de lodo de esgoto ao solo estimula a atividade microbiana, acelerando a decomposição das frações lábeis e contribuindo para a manutenção dos teores de matéria orgânica (VAZ; GONÇALVES, 2002), uma vez que os solos tropicais são frequentemente caracterizados por baixa fertilidade e baixos teores de matéria orgânica (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Na agricultura de nada vale todas as melhorias de solo se o produtor rural não encontrar melhorias na produtividade por área. Muitos trabalhos concluíram que o lodo de esgoto levou

ao maior desenvolvimento de plantas e produtividade maior ou igual ao proporcionado pelos fertilizantes minerais (ARAÚJO *et al.*, 2022), mas somente os resultados de pesquisas podem fortalecer o uso do CLE, e transformar esse resíduo em lucro.

A aplicação sucessiva de composto em cultivo de girassol e milho promoveu diminuição na acidez potencial e aumentou os valores de pH, capacidade de troca de cátions, saturação por bases e teores de cálcio e magnésio trocáveis do solo (STROJAKI *et al.*, 2013). Lobo *et al.*, (2013) com o uso de doses crescentes de CLE, constaram aumento no rendimento de grãos, óleos e matéria seca do girassol; já no feijoeiro encontraram incrementos no número de vagens, rendimento de matéria seca, rendimento de grãos e na massa de 1000 grãos (LOBO *et al.*, 2012).

Faria *et al.*, (2017) verificaram que o incremento na produtividade de grãos foi acoplado ao aumento na absorção de macro e micronutrientes presentes no biossólido, com exceção do Potássio, indicando que o incremento de produtividade poderia ser potencializado desde que houvesse a complementação potássica no lodo.

Silva *et al.* (2021) indicam que a aplicação de 40 t ha<sup>-1</sup> de CLE promoveu rendimentos de milho maiores do que adubação minerais devido às características melhoradas do solo causadas pela adição de matéria orgânica e micronutrientes fornecidos pelo CLE.

Para outras culturas como a cana-de-açúcar, soja e milho, o composto já tem demonstrado que é capaz de ser uma alternativa viável para aumentar a produtividade sem o uso de fertilizantes minerais (PRATES *et al.*, 2020; PRATES *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2022). Em pesquisa Oliveira (2022a) diz que o CLE também pode ser considerado uma alternativa viável para a cultura do feijão comum.

Entretanto, nos solos brasileiros, apenas 3% de todo o lodo de esgoto produzido é destinado para a agricultura (SNIS, 2020), o restante é descartado em aterros sanitários (MATOS, 2018).

Mesmo com muitos trabalhos demonstrando resultados promissores no ganho produtivo nas mais variadas culturas com o composto, o uso do CLE ainda é muito pequeno. Isso porque esse produto apresenta um potencial problema ambiental, podendo causar poluição do solo e água, e riscos à saúde humana (PHUNG *et al.*, 2020; RASTETTER; GERHARDT, 2017).

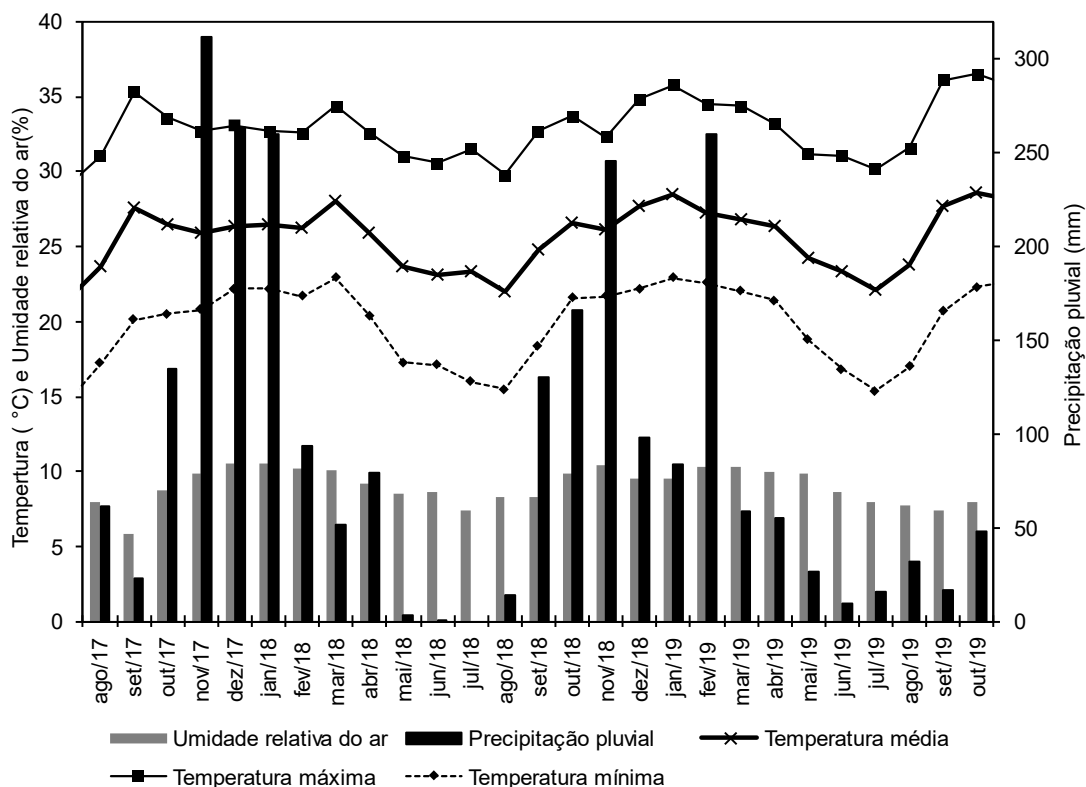
Pesquisas estão sendo realizadas incansavelmente com o CLE para encontrar resultado e propostas para reverter essa situação com ganhos favoráveis ao ser humano e ambiente.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da área experimental

O experimento foi realizado nos anos agrícolas de 2017/2018 e 2018/2019 em condições de campo na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, campus de Ilha Solteira (FEIS) no município de Selvíria, MS (20°22"S e 51°22"W, com altitude de 335 m). A região apresenta médias anuais de precipitação pluvial de 1.370 mm, temperatura de 24,5 °C e umidade relativa do ar de 75%. Durante a realização do experimento foram monitoradas as temperaturas máxima e mínima, a umidade relativa do ar e a precipitação pluvial.

**Figura 1.** Temperatura, umidade do ar e precipitação pluvial, durante o cultivo das culturas nos anos agrícolas de 2017/2018 e 2018/2019.



Fonte: Elaboração da própria autora.

O tipo climático da região é o Aw segundo classificação de Köppen, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos. O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico argiloso, utilizando-se o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos

(SANTOS *et al.*, 2018). Esse solo foi originalmente ocupado por vegetação de Cerrado, e foi cultivado com milho em sistema convencional, sem irrigação, por aproximadamente 10 anos.

### 3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com 6 tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais, sendo quatro doses de composto de lodo de esgoto (CLE) (5,0; 7,5; 10 e 12,5 Mg ha<sup>-1</sup>, base úmida) aplicados em área total e dois tratamentos controles, sem aplicação do composto e com adubação mineral convencional (aplicação de B e Zn).

**Figura 2.** Aplicação do CLE em área total das parcelas antes da semeadura da cultura.



Fonte: GENAFERT (2019)

### 3.3 Obtenção e caracterização do composto de lodo de esgoto

O composto de lodo de esgoto (CLE) foi obtido na empresa Tera Ambiental Ltda, localizada em Jundiaí, SP. Trata-se de um fertilizante orgânico composto Classe D, produzido a partir da compostagem termofílica de resíduos orgânicos urbanos diversos. A principal matéria prima que compõe o produto é o lodo de esgoto sanitário, cerca de 70% em massa, também entra no processo de compostagem, lodos de Sistemas de Tratamento de Águas Residuárias geradas em agroindustriais, tais como cervejarias e indústrias de alimentos diversos, restos de frutas, legumes e verduras, pré e pós consumo, segregados na fonte e coletados de forma diferenciada e restos de produtos alimentícios industrializados.

A compostagem dos resíduos orgânicos é feita em duas concepções: leiras aeradas por revolvimento mecânico e leiras estáticas com aeração forçada. Em ambos os processos a fonte de carbono orgânico utilizada é o cavaco de madeira bruta. O composto, ainda em sua fase de

processamento é adicionado em proporções abaixo de 5% da massa final do produto, calcário e gesso agrícola. Após higienização e alcance do teor de umidade ideal (cerca de 40%), o composto é peneirado e empilhado para maturação por um mínimo de 15 dias, dando origem ao produto fertilizante orgânico.

**Figura 3.** Recebimento do CLE para a instalações dos experimentos.



Fonte: GENAFERT (2019)

Para a caracterização do composto aplicado nos dois anos agrícolas, foram coletadas seis amostras simples em diferentes pontos do composto, as quais foram homogeneizadas para formar uma amostra composta. O composto foi caracterizado no ponto de vista químico e microbiológico, seguindo as recomendações da Resolução nº 375 do Conama (CONAMA, 2006), sendo considerado apropriado para uso nesse estudo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Composição química e microbiológica de amostras do composto de LE.

Característica	Unidade	2017/18	2018/19	Valor permitido <sup>(1)</sup>
		———— Base úmida ————		
<i>Química</i>				
pH <sub>(CaCl<sub>2</sub>)</sub>	-	7,0 ± 0,10	7,3 ± 0,06	-- <sup>(2)</sup>
Umidade (60-65 °C)	%	40,96 ± 0,26	34,43 ± 0,53	--
Umidade total	%	45,46 ± 0,22	35,77 ± 0,61	--
Matéria orgânica Total	g kg <sup>-1</sup>	308,65 ± 9,95	255,0 ± 7,37	--
Carbono Orgânico	g kg <sup>-1</sup>	153,10 ± 4,80	128,6 ± 3,57	--
Capacidade de troca catiônica	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	520 ± 20,00	--	--
C/N	-	12 ± 0,81	9 ± 0,58	--
Nitrogênio Total	g kg <sup>-1</sup>	13,85 ± 0,25	15,3 ± 1,53	--
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) Total	g kg <sup>-1</sup>	12,25 ± 1,35	14,1 ± 0,00	--
Potássio (K <sub>2</sub> O) Total	g kg <sup>-1</sup>	6,00 ± 2,20	8,2 ± 0,38	--
Cálcio (Ca) Total	g kg <sup>-1</sup>	19,40 ± 4,40	31,1 ± 1,08	--
Magnésio (Mg) Total	g kg <sup>-1</sup>	5,20 ± 0,50	9,9 ± 0,21	--
Enxofre (S) Total	g kg <sup>-1</sup>	4,75 ± 0,25	8,4 ± 1,44	--
Sódio (Na) Total	mg kg <sup>-1</sup>	3930 ± 32,00	3915 ± 41,22	--
Arsênio	mg kg <sup>-1</sup>	3,15 ± 1,76	--	20,0
Boro	mg kg <sup>-1</sup>	94 ± 4,52	94 ± 4,58	--

Cádmio	mg kg <sup>-1</sup>	1,00 ± 0,01	--	3,0
Cobre	mg kg <sup>-1</sup>	237 ± 16,54	1912 ± 5,77	--
Chumbo	mg kg <sup>-1</sup>	18,10 ± 1,60	--	150,0
Cromo	mg kg <sup>-1</sup>	54,25 ± 1,75	--	--
Ferro	mg kg <sup>-1</sup>	16400 ± 1300	14708 ± 249	--
Manganês	mg kg <sup>-1</sup>	246 ± 37,00	310 ± 15,01	--
Mercurio	mg kg <sup>-1</sup>	0,22 ± 0,09	--	1,0
Molibdênio	mg kg <sup>-1</sup>	5,26 ± 0,23	--	--
Níquel	mg kg <sup>-1</sup>	26,52 ± 0,50	--	70,0
Zinco	mg kg <sup>-1</sup>	456 ± 8,00	684 ± 7,21	--
<i>Microbiológica</i>				
<i>Salmonella</i> sp.	NMP/10g		Ausente	Ausência
Coliformes Termotolerantes	NMP/g		0	1.000
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST		0,12	1,0

<sup>(1)</sup> IN N°7 MAPA (2016). <sup>(2)</sup> Não determinado. NMP = Número mais provável.

Fonte: Elaboração da própria autora.

### 3.4.1 Instalação e desenvolvimento do experimento

Antes da instalação do experimento e aplicação dos tratamentos foram realizadas amostragens do solo na camada de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m de profundidade para caracterização física (TEIXEIRA *et al.* 2017) e química do solo (RAIJ *et al.*, 2001) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Atributos químicos <sup>(1)</sup> e físicos <sup>(2)</sup> das amostras dos solos utilizados no experimento (Média ± desvio-padrão; n = 3).

Atributo	Unidade	Profundidade (m)	
		0-0,2	0,2-0,4
pH <sub>(CaCl2)</sub>	-	4,5 ± 0,06	4,7 ± 0,06
Matéria orgânica	g dm <sup>-3</sup>	19 ± 1,16	14 ± 0,58
Fósforo	mg dm <sup>-3</sup>	16 ± 0,58	9 ± 0,00
Potássio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,7 ± 0,17	0,7 ± 0,15
Cálcio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	13 ± 0,58	11 ± 0,58
Magnésio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	12 ± 1,00	10 ± 0,00
Alumínio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4 ± 0,00	2 ± 0,58
H+Al	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	37 ± 2,31	32 ± 1,73
SB	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	27,0 ± 1,69	22,1 ± 0,72
S-SO <sub>4</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	15 ± 0,58	8 ± 0,58
CTC	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	63,7 ± 0,86	54,1 ± 2,45
V	%	42 ± 3,21	41 ± 0,58
Boro	mg dm <sup>-3</sup>	0,22 ± 0,04	1,40 ± 0,02
Cobre (DTPA)	mg dm <sup>-3</sup>	1,8 ± 0,05	7,7 ± 0,10
Ferro (DTPA)	mg dm <sup>-3</sup>	15 ± 0,58	8 ± 0,58
Manganês (DTPA)	mg dm <sup>-3</sup>	18,8 ± 0,59	7,3 ± 0,72
Zinco (DTPA)	mg dm <sup>-3</sup>	0,6 ± 0,06	0,2 ± 0,00

<i>Distribuição granulométrica</i>		<i>0-0,4 m</i>
Areia (> 0,05 mm)	g kg <sup>-1</sup>	550 ± 12
Silte (> 0,002 e < 0,05 mm)	g kg <sup>-1</sup>	80 ± 3
Argila (< 0,002 mm)	g kg <sup>-1</sup>	370 ± 19
Textura	-	Argilosa

<sup>(1)</sup> Raij *et al.*, (2001). <sup>(2)</sup> Embrapa (1997). CTC = Capacidade de troca catiônica. SB = Soma de bases. V = Saturação por bases. Fonte: Elaboração da própria autora.

Para o rompimento de camadas compactadas foi realizado a operação de escarificação (Figura 4). Com base nos resultados da avaliação da fertilidade do solo, foi realizada a calagem (2,2 t ha<sup>-1</sup>) objetivando elevar a saturação por bases a 70%, sendo metade da dose aplicada antes da aração e metade antes da gradagem da área (Figura 5) (CANTARELLA; FURLANI, 1997). Em seguida, foi realizada a aplicação de 1,8 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola (RAIJ *et al.*, 1997).

**Figura 4.** Operação de preparo do solo com escarificador antes da instalação dos experimentos.



Fonte: GENAFERT (2019)

**Figura 5.** Operação de correção do solo com calcário e gesso para adequar a fertilidade do solo.



Fonte: GENAFERT (2019).

O experimento iniciou-se em setembro de 2017, mesma época em que foi realizada uma subsolagem até 30 cm de profundidade e o estaqueamento das parcelas no campo.

O experimento foi irrigado por um sistema de aspersão do tipo pivô central, com lâmina de água média de 14 mm e turno de rega de aproximadamente 72 horas, quando necessário.

Para a safra 2017/2018, antecedendo a aplicação do CLE, aproximadamente 15 dias antes da semeadura do arroz, houve a dessecação da cobertura vegetal da área previamente definida mediante a aplicação de herbicida glifosato ( $1800 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.) e 2,4-D ( $670 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.).

Levando-se em conta a umidade do material (42%), o CLE, nas doses de 5,0; 7,5; 10 e  $12,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , foi distribuído de forma manual em área total das parcelas cinco dias antes da semeadura do arroz e não foi realizada a incorporação do composto ao solo.

Todos os tratamentos com o CLE receberam a complementação mineral para o fornecimento dos macronutrientes (N, P e K) levando-se em consideração as análises químicas do solo, já que o principal objetivo da aplicação do CLE era o fornecimento dos micronutrientes.

O cultivar de arroz utilizada foi o BRS Esmeralda, que é caracterizado pela alta produtividade e qualidade de grãos, além de ser moderadamente resistente às principais doenças e possuir maior tolerância ao estresse hídrico e bom Stay Green (cachos maduros, e colmos continuam fortes e flexíveis, diminuindo o risco de acamamento) (CASTRO *et al.*, 2014). E que apresenta um ciclo aproximado de 105 a 110 dias, com densidade de plantio de 85 sementes por metro ( $70 \text{ kg de semente por ha}^{-1}$ ).

A semeadura do arroz foi realizada mecanicamente em sistema de semeadura

convencional, no dia 25 de novembro de 2017, dando início a safra 2017/2018 com as culturas de arroz e feijão em sucessão.

Anteriormente a semeadura do arroz, foi realizado o tratamento das sementes por meio dos fungicidas tiofanato metílico + piraclostrobina (5 g + 45 g de i.a. por 100 kg de semente) e do inseticida fipronil (50 g do i.a. por 100 kg de semente).

**Figura 6.** Sementes de arroz com tratamento químico antes da semeadura da cultura.



Fonte: Própria autora.

Na adubação de semeadura do arroz, foi aplicado  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  da fórmula 08-28-16, o que equivale a  $24 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (ureia),  $84 \text{ kg ha}^{-1}$   $\text{P}_2\text{O}_5$  (superfosfato triplo) e  $48 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (cloreto de potássio). Apenas nas parcelas referentes ao tratamento com adubação convencional, foram aplicados  $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de boro usando-se ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) e  $3,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de zinco na forma de sulfato de zinco ( $\text{ZnSO}_4$ ). Logo após a aplicação, foi realizada irrigação com, aproximadamente, 10 mm de água.

A adubação nitrogenada de cobertura (dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicada na forma de ureia) foi parcelada em duas vezes, aplicando-se metade na fase de perfilhamento, aproximadamente 30 dias após a semeadura e metade no início da diferenciação da panícula (CANTARELLA; FURLANI, 1997). Após a adubação de cobertura a área foi irrigada por aspersão (lâmina de 14 mm) para minimizar as perdas de N por volatilização na forma de amônia.

O controle de plantas daninhas foi realizado com a utilização de herbicidas de pré e pós-emergência. Como na área de cultivo havia sido observada, com frequência, a presença de capim colchão (*Digitaria sanguinalis*), capim carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e capim marmelada (*Brachiaria plantaginea*), foi aplicado, logo após a semeadura, o herbicida pendimethalin ( $1.400 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.), utilizando pulverizador tratorizado com vazão de  $200 \text{ L ha}^{-1}$ . Aos 12 dias após a emergência das plantas, foi utilizado, em pós-emergência, o herbicida

metsulfuron methyl (2 g ha<sup>-1</sup> do i.a.). As demais plantas daninhas não controladas pelos herbicidas foram eliminadas manualmente, com o auxílio de enxada.

Cada unidade experimental foi constituída por dez linhas da cultura de arroz (espaçadas entre si de 0,35 m) de 10 metros de comprimento, totalizando 35 m<sup>2</sup> por parcela e 840 m<sup>2</sup> de área total. A área útil da parcela para as avaliações foi constituída pelas três linhas centrais, sendo eliminados como bordadura 2,5 m de cada extremidade.

A colheita do arroz foi efetuada manualmente, no dia 17 de março de 2018, aos 113 dias após a semeadura, quando 50% dos grãos das panículas superiores se apresentaram duros e os grãos do terço inferior, semiduros. Foram colhidas as três linhas centrais, cada uma com cinco metros de comprimento. Foi realizada a trilha manual, a secagem à sombra e a limpeza do material, separando-se a palha e os grãos chochos com auxílio de uma peneira, com abanação manual. Na sequência, foi obtida a massa dos grãos colhidos, pesada em balança de precisão em escala de 100 gramas, para posterior cálculo da produtividade de grãos por hectare (kg ha<sup>-1</sup>) a 13% de umidade.

A cultura do arroz foi cultivada na safra de verão do ano agrícola 2017/2018. Já a cultura do feijão foi cultivada na segunda safra (inverno) e avaliou-se o efeito residual das doses de CLE.

O cultivar de feijão utilizado no experimento foi BRS Estilo, que apresenta ciclo normal (de 85 a 90 dias, da emergência à maturação fisiológica), sendo plantas arbustivas com hábito de crescimento indeterminado tipo II e as flores são brancas. Os grãos são do tipo carioca, possuindo forma elíptica, apresentando arquitetura de plantas ereta, com resistência ao acamamento, sendo adaptada à colheita mecânica direta (MELO *et al.*, 2009), além de alta produtividade e elevada adaptabilidade.

No dia 05 de maio de 2018, realizou-se a semeadura do feijão sobre a palhada do arroz, sendo utilizado o espaçamento entre plantas de 0,45 m.

As sementes foram tratadas anteriormente a semeadura, utilizando Standak top (inseticida + fungicida) na dosagem de 200 mL p.c.100 kg de sementes. Depois de secas, as sementes foram inoculadas com *Rhizobium tropici* (estirpe SEMIA 4077 – 10<sup>7</sup> UFC mL<sup>-1</sup>) na dose de 80g de turfa para 50 kg de sementes, adicionado uma solução açucarada na proporção de 60 mL de água para 6 g de açúcar, dentro de um misturador limpo para incorporar nas sementes. Posteriormente, a esse procedimento aplicou-se 175 mL ha<sup>-1</sup> do produto Geo CoMo (Cobalto + Molibdênio), afim de promover uma melhor fixação biológica de nitrogênio (N).

Por meio dos resultados da análise de solo, verificou-se a necessidade de adubação em fósforo (P) e potássio (K), de acordo com as recomendações técnicas do boletim 100. Foram

então utilizados 400 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 4-20-20 na adubação de semeadura.

De acordo com a recomendação convencional, a adubação de cobertura do feijoeiro irrigado consistiu em duas aplicações iguais de nitrogênio, a primeira aplicação de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N foi realizada no dia 26 de maio de 2018 na fase fenológica V3 (15 DAE), e a segunda aplicação foi realizada no dia 10 de junho de 2018 na fase fenológica V4 (30 DAE), respeitando o período disposto no Boletim Técnico 100, também na dose de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N. A fonte de fornecimento de N utilizada foi a ureia. Foram então aplicados um total de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura.

Foram feitas durante o ciclo da cultura, cinco aplicações de defensivos agrícolas visando o controle de plantas daninhas e de maneira preventiva contra antracnose, ferrugem e mancha angular. No dia 16/05/2018, aplicou-se Lambda-Cialotrina 106 g L<sup>-1</sup> + Tiametoxam 141 g L<sup>-1</sup> (Euforia) na dosagem de 0,6 L ha<sup>-1</sup> em 100 L de calda. No dia 13/06/2018 visando o controle de plantas daninhas, realizou-se uma aplicação de Fomesafem 250 g L<sup>-1</sup> (Flex), na dosagem de 0,8 L ha<sup>-1</sup> em 100 L de calda, e em seguida a aplicação de 0,75 L ha<sup>-1</sup> em 100 L de calda de Tebuconazol 200 g L<sup>-1</sup> - Trifloxistrobina 100 g L<sup>-1</sup>, de maneira preventiva contra antracnose, ferrugem e mancha angular. Tendo como objetivo o controle de ácaro branco foram feitas duas aplicações do ingrediente ativo Abamectina nos dias 28/06/2018 e 14/07/2018 na dosagem de 0,4 L ha<sup>-1</sup> em 100 L de calda. Todas as aplicações foram feitas de manhã, utilizando um trator equipado com um pulverizador, com tanque com capacidade de 100 L.

Cada unidade experimental foi constituída por 7 linhas da cultura (espaçadas entre si de 0,45 m) de 10 metros de comprimento, totalizando 31,5 m<sup>2</sup> por parcela e 756 m<sup>2</sup> de área total. A área útil da parcela para as avaliações era constituída das três linhas centrais, sendo eliminados como bordadura 2,5 m de cada extremidade.

A colheita ocorreu no dia 10 de agosto de 2018 (90 DAE). As plantas foram colhidas manualmente, nas três linhas centrais, cada um com cinco metros de comprimento. No estágio R9 (maturidade fisiológica), foi realizada a coleta manual de todas as plantas da área útil da parcela. Estas foram trilhadas mecanicamente, pesadas e, em seguida, realizou-se os cálculos com extrapolação para kg ha<sup>-1</sup> e corrigidos para o teor de 13% de umidade.

O CLE foi aplicado apenas na semeadura do arroz (novembro de 2017). Na cultura do feijão avaliou-se o efeito residual dessa aplicação.

No entanto na safra 2018/2019 devido ao cultivo de arroz pelo segundo ano agrícola e a reaplicação do composto nas mesmas doses (5,0; 7,5; 10 e 12,5 Mg ha<sup>-1</sup>) aplicadas no primeiro ano, nos permitiu avaliar doses acumulativas do composto.

Para o ano agrícola 2018/2019 a cultura do arroz foi novamente instalada seguindo os

mesmos critérios agronômicos do primeiro ano agrícola, na qual este trabalho foi desenvolvido.

A reaplicação do CLE, também foi feita de forma manual em área total das parcelas e foi realizada no dia 2 de novembro de 2018, dia anterior a semeadura, sendo utilizado equipamentos de proteção individual (EPI).

Para garantir a emergência e o vigor das plantas, as sementes do cultivar foram tratadas com inseticida + fungicidas (fipronil 25 g L<sup>-1</sup> + piraclostrobina 25 g L<sup>-1</sup> + tiofanato-metílico 225 g L<sup>-1</sup> de ingrediente ativo) utilizando produto de nome comercial Standak Top.

Após a semeadura, no mesmo dia, foi aplicado um herbicida pré-emergente para controle de folhas estreitas (pendimetalina 500 g L<sup>-1</sup> de i.a) de nome comercial Herbadox. Já no período de florescimento foi aplicado como forma preventiva à doença Brusone o fungicida de nome comercial Nativo (tebuconazol 200 g L<sup>-1</sup> + trifloxistrobina 100 g L<sup>-1</sup>).

A semeadura da cultura de arroz foi realizada mecanicamente (Figura 7) por meio de uma semeadora-adubadora de fluxo contínuo de cinco linhas no dia 3 de novembro de 2018. Para uma boa emergência das plantas e um bom número de perfilho por metro, utilizou-se a densidade de 70 kg de semente por hectare.

A adubação foi realizada conforme a recomendação do Boletim Técnico 100, na qual utilizou-se da formulação NPK (08-28-16) com dose de 300 kg ha<sup>-1</sup>, fornecendo 24 kg de N, 84 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 48 kg de K. Apenas nas parcelas referentes ao tratamento com adubação convencional, foram aplicados 1,0 kg há<sup>-1</sup> de boro usando-se ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) e 5,0 kg ha<sup>-1</sup> de zinco na forma de sulfato de zinco (ZnSO<sub>4</sub>).

**Figura 7.** Semeadora e adubadora de fluxo contínuo utilizada no experimento.



Fonte: Própria autora.

A adubação nitrogenada de cobertura (dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicada na forma de ureia), realizada apenas no tratamento de adubação convencional, foi parcelada em duas vezes, aplicando-se metade na fase de perfilhamento (01 de dezembro de 2018) e metade no início da diferenciação da panícula (18 de dezembro de 2018) (CANTARELLA; FURLANI, 1997).

A aplicação da ureia foi realizada de forma manual, distribuindo-se o fertilizante sobre a superfície do solo, sem incorporação, ao lado e aproximadamente à 8 cm das linhas de semeadura, a fim de se evitar o contato do fertilizante com as plantas (Figura 8). Após a adubação de cobertura a área foi irrigada por aspersão (lâmina de 12 mm) para minimizar as perdas de N por volatilização na forma de amônia.

**Figura 8.** Parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura conforme recomendação.



Fonte: Própria autora.

O arroz por possuir um desenvolvimento mais lento do que as plantas daninhas presentes na área como capim colchão (*Digitaria sanguinalis*), capim carrapicho (*Cenchrus echinatus*), capim-marmelada (*Urochloa plantaginea*) e capim amargoso (*Elionurus candidus*), foi necessário realizar a capina manual nas entrelinhas da cultura até que a mesma fechasse as entrelinhas e abafasse as demais daninhas. Para o controle de percevejo foi realizado a aplicação preventiva de inseticida (i.a. Lambda-cialotrina  $50 \text{ g L}^{-1}$ ) de nome comercial Karate Zeon.

A colheita do arroz foi efetuada manualmente no dia 23 de fevereiro de 2019 (Figura 9), quando os grãos dos 2/3 superiores de 50% das panículas estavam duros e terço inferior, semiduros. Logo após os sacos foram acondicionados ao sol para a secagem e cobertos durante a noite. Para a limpeza do material utilizou-se de uma trilhadora mecânica, separando-se a palha e os grãos chochos. Após os grãos limpos, foi obtido a massa hectolétrica, conforme os procedimentos para Análise de Sementes (MAPA, 2009). Além do mais, foi obtida massa dos

grãos colhidos e medição da umidade atual dos grãos para posterior cálculo da produtividade de grãos por hectare ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) a 13% de umidade (ZARATIN *et al.*, 2004).

**Figura 9.** Colheita da segunda safra da cultura do arroz de forma manual na área útil da parcela para avaliação da produtividade.



Fonte: Própria autora.

Para o ano agrícola 2018/2019 a cultura do feijão foi novamente instalada seguindo os mesmos critérios agrônômicos do primeiro ano agrícola, na qual este trabalho foi desenvolvido. Foi realizado o tratamento das sementes por meio dos fungicidas tiofanato metílico + piraclostrobina (5 g + 45 g do i.a. por 100 kg de semente) e do inseticida fipronil (50 g do i.a. por 100 kg de semente). As sementes de feijão também receberam aplicação de CoMo (39,21 mL), para estimular a inoculação que foi feita com *Rhizobium tropici* (80 g de inoculante para cada 50 kg de semente) junto a uma solução açucarada (60 mL). A semeadura do cultivar de feijão BRS Estilo na segunda safra foi dia 08/05/2019, sendo realizada mecanicamente. Na adubação de semeadura do feijoeiro, foi aplicada a dose de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  do adubo de formulação 04-20-20 na forma de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, sendo colocados  $16 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ .

No ano agrícola 2018/2019, os teores de B no solo estavam adequados. A adubação de cobertura na cultura do feijão foi de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (via ureia) nas parcelas com os tratamentos que receberam adubação mineral convencional. Essa dose foi parcelada, sendo aplicado 50,0 e  $40,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aos 15 e 30 dias após a semeadura (DAS), respectivamente. Nos tratamentos que receberam o CLE, foi aplicado  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (na forma de ureia) apenas aos 15 DAS.

A distribuição dos fertilizantes minerais foi realizada de forma manual, sobre a superfície do solo, sem incorporação, ao lado e aproximadamente 8 cm das linhas de semeadura, a fim de se evitar o contato do fertilizante com as plantas. Após as aplicações, a

área foi irrigada via pivô central. Nas parcelas referentes ao tratamento controle não foram aplicados fertilizantes minerais ou CLE.

### 3.5 Parâmetros Avaliados

A amostragem de solo para caracterização física e química foi realizada ao final do ciclo da cultura do feijão nas safras 2017/2018 e 2018/2019. Na primeira safra as coletas foram realizadas no período entre setembro e outubro de 2018 e na segunda safra apenas no decorrer do mês de setembro de 2019.

As amostras foram coletadas dentro da área útil de cada parcela (nas entrelinhas), foram realizadas coletas de amostras indeformadas em três profundidades (0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m), com auxílio de anéis de aço com volume conhecido. Posteriormente, a análise do solo foi realizada no laboratório de Física do Solo do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da Faculdade de Ilha Solteira (UNESP), onde foram determinadas a macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e a densidade do solo (Ds).

A densidade do solo (Ds) foi determinada pelo método do anel volumétrico, utilizando a equação:  $DS = Ms/Vt$ , onde Ms corresponde à massa de solo seco em estufa (kg); e Vt, ao volume do anel ( $dm^{-3}$ ). A porosidade total foi determinada pela saturação do volume da amostra, para a macroporosidade as amostras foram submetidas a mesa de tensão com coluna de água de 0,60 m (à tensão de 6 kPa) e foram secas em estufa à temperatura de 105 °C e a microporosidade foi calculada por diferença entre a porosidade total e a macroporosidade. Todas as avaliações citadas anteriormente foram realizadas de acordo com a EMBRAPA (2017).

A estabilidade dos agregados foi avaliada conforme os protocolos descritos por Kemper e Chepil (1965). A partir dos valores de massa dos agregados foi calculado o diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG). Desse modo, o índice de estabilidade de agregados (IEA) foi determinado.

A estabilidade de agregados foi analisada pelo tamisamento por via úmida das amostras de solo no aparelho de Yoder, segundo método descrito por KIEHL (1979). Os resultados, expressos nas classes 8 – 2 mm, 2 – 1 mm, 1 – 0,5 mm, 0,5 – 0,25 mm e 0,25 – 0,125 mm, foram utilizados no cálculo do Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e o Diâmetro Médio Geométrico (DMG). Estes índices de agregação do solo foram calculados da seguinte maneira:  $DMP = \sum (x_i \cdot w_i)$ , onde:  $x_i$  é o diâmetro médio das classes (mm) e  $w_i$  é a proporção de cada classe em relação ao total (DEMARCHI *et al.*, 2011).  $DMG = \exp \{ \sum [(\ln [x_i] \cdot [p_i])] / \sum [p_i] \}$ , onde:  $\ln[x_i]$  é o logaritmo natural do diâmetro médio das classes e  $p_i$  é a massa (g) retida em

cada peneira, como citado por Demarchi *et al.* (2011).

Após o cultivo do feijão, foram coletadas cinco subamostras por parcela, para compor uma amostra composta, para avaliação dos atributos químicos do solo, nas camadas de 0,00–0,05, 0,05–0,10 e 0,10–20 m de profundidade, a amostragem foi realizada nas entrelinhas da cultura.

Os atributos químicos do solo foram avaliados seguindo as recomendações de Raij *et al.* (2001). Assim, o pH foi determinado potencio metricamente em suspensões de terra fina seca ao ar (TFSA) em solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$  na proporção solo-solução de 1:2,5. A MO foi determinada após oxidação com  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  em presença de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e titulação do excesso de dicromato com a solução de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  0,4 mol  $\text{L}^{-1}$ . O cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) trocável foram extraídos por resina trocadora de íons e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica. O potássio ( $\text{K}^+$ ) trocável e o P foram extraídos também por resina, sendo o  $\text{K}^+$  determinado por fotometria de chama e o P por colorimetria. A acidez potencial (H+Al) foi estimada pelo método do pH SMP. Com esses resultados, foram calculadas a capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0, a soma de bases (SB) e a saturação por bases (V%) do solo.

### **3.6 Análise Estatística**

Os resultados foram analisados pela análise de variância (teste F). Constatada a significância, os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey a 5%. Também foi realizado a análise de contraste, entre as doses e os tratamentos adicionais, e para as doses foi realizado estudo de regressão polinomial, sendo que todas as análises do presente estudo foram realizadas por meio do programa R, de domínio público (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou que não houve interação entre as doses de composto de lodo de esgoto, a adubação mineral e o controle ( $P > 0,05$ ). Como se observa na Tabela 3, para a camada 0,00-0,05 m, não houve diferença significativa para os atributos físicos avaliados. E, o mesmo efeito foi verificado para a análise de contraste entre as doses de composto de lodo de esgoto, o tratamento com adubação mineral convencional, e o controle.

A macroporosidade (Tabelas 3, 4 e 5), não apresentou diferença significativa entre as doses de composto de lodo de esgoto e os tratamentos adicionais. Um fator que pode ter contribuído para os baixos valores da Ma, foi a uniformização da área antes da implantação do experimento, através de aração, gradagem e subsolagem, desarranjando a estrutura do solo.

**Tabela 3.** Teste F e análise de contraste para macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds), na camada de 0,00-0,05 m. Ano agrícola 2017/2018.

Tratamento	Ma	Mi	Pt	Ds
	----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			- g cm <sup>-3</sup> -
Ad. Mineral	0,0274	0,3088	0,3563	1,5674
Controle	0,0413	0,3031	0,3445	1,6275
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,0235	0,3321	0,3557	1,5602
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,0309	0,3243	0,3552	1,6058
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,0572	0,3284	0,3857	1,4955
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,0446	0,3094	0,3540	1,6089
<b>Valor de F</b>	0,673 <sup>ns</sup>	0,469 <sup>ns</sup>	0,659 <sup>ns</sup>	0,546 <sup>ns</sup>
CV (%)	84,03	7,54	9,61	6,64
<b>Valor de F</b>				
Doses de CLE x ADM	0,455 <sup>ns</sup>	0,498 <sup>ns</sup>	0,880 <sup>ns</sup>	0,833 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,774 <sup>ns</sup>	0,128 <sup>ns</sup>	0,361 <sup>ns</sup>	0,304 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,181 <sup>ns</sup>	0,259 <sup>ns</sup>	0,734 <sup>ns</sup>	0,879 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,497 <sup>ns</sup>	0,654 <sup>ns</sup>	0,356 <sup>ns</sup>	0,520 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,383 <sup>ns</sup>	0,529 <sup>ns</sup>	0,223 <sup>ns</sup>	0,118 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \*  $P < 0,05$  e \*\*  $P < 0,01$  (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

A macroporosidade apresentou valores médios inferiores a 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Tabela 3), Nascimento *et al.* (2014) também verificaram que os valores de macroporosidade em geral estão bem abaixo dos valores de referência de 10% propostos por Reichert *et al.* (2009), limite inferior da porosidade de aeração, abaixo do qual a difusão de oxigênio se torna limitante ao crescimento e desenvolvimento das raízes e contribuindo para uma provável compactação do solo, mas sem comprometer a produtividade das culturas como observado por Andreolla *et al.*

(2014).

A microporosidade, na camada de 0,00-0,05 m, variou entre 0,30 e 0,33 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Tabela 3). Beutler *et al.* (2004) observaram redução na produtividade do arroz com o aumento da microporosidade de 0,36 para 0,38 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, em LATOSSOLO VERMELHO, porém no presente estudo este atributo não influenciou na produtividade das culturas.

A densidade do solo apresentou valores médios entre 1,4955 e 1,6275 Mg m<sup>-3</sup>, na camada de 0,00-0,05 m (Tabela 3) valores acima da densidade considerada crítica para solos argilosos, que se situa entre 1,30 e 1,40 Mg m<sup>-3</sup> (REICHERT *et al.*, 2009). Pode-se afirmar que quanto mais alta a densidade do solo maior será sua compactação e a estrutura degradada, menor a porosidade total e, conseqüentemente, maiores serão as restrições para o crescimento do sistema radicular e desenvolvimento das plantas.

Na camada de 0,00-0,05 m não foram observadas alterações significativas na porosidade total nos tratamentos que receberam as doses do composto de lodo de esgoto, assim como para o controle e adubação mineral convencional (Tabela 3). Entretanto, os valores variaram de 0,3445 a 0,3857 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, possivelmente porque a porosidade total do solo não foi influenciada pela adição de lodo de esgoto, devido às condições originais do solo, como estudado por JORGE *et al.*, 1991 também em LATOSSOLO VERMELHO argiloso.

**Tabela 4.** Teste F e análise de contraste para macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds), na camada de 0,05-0,10 m. Ano agrícola 2017/2018.

Tratamento	Ma	Mi	Pt	Ds
	----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			- g cm <sup>-3</sup> -
Ad. Mineral	0,0248	0,3057	0,3505	1,5942
Controle	0,0634	0,2846	0,3481	1,5350
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,0493	0,3175	0,3669	1,5183
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,0311	0,3133	0,3444	1,6385
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,0695	0,3217	0,3912	1,4503
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,0662	0,3113	0,3775	1,5457
<b>Valor de F</b>	0,593 <sup>ns</sup>	0,462 <sup>ns</sup>	0,300 <sup>ns</sup>	0,288 <sup>ns</sup>
CV (%)	86,17	9,43	8,89	7,13
<b>Valor de F</b>				
Doses de CLE x ADM	0,178 <sup>ns</sup>	0,316 <sup>ns</sup>	0,391 <sup>ns</sup>	0,345 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,501 <sup>ns</sup>	0,046*	0,309 <sup>ns</sup>	0,808 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,340 <sup>ns</sup>	0,873 <sup>ns</sup>	0,278 <sup>ns</sup>	0,661 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,716 <sup>ns</sup>	0,829 <sup>ns</sup>	0,781 <sup>ns</sup>	0,818 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,292 <sup>ns</sup>	0,626 <sup>ns</sup>	0,081 <sup>ns</sup>	0,023*

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\* P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

Não foi observado diferença significativa para a microporosidade na camada de 0,05-0,10 m (Tabela 4), entre os tratamentos. Concordando com o efeito obtido neste experimento Jorge *et al.* (1991), que também não encontraram diferenças na microporosidade com a aplicação de 20,0 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, durante quatro anos, em LATOSSOLO VERMELHO argiloso. A microporosidade do solo é uma propriedade pouco influenciada pelo manejo do solo (BONINI *et al.*, 2015). O contraste entre as doses de composto de lodo de esgoto e o controle apresentou efeito significativo na camada de 0,05-0,10 m (Tabela 4). Notou-se que a microporosidade foi maior quando aplicado as doses de composto de lodo de esgoto, demonstrando uma pequena melhora para esse atributo que são capazes de reter e armazenar água pela capilaridade, sendo importantes para a manutenção da umidade.

Não foram observadas diferenças significativas para porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,05-0,10 m (Tabela 4), entre os tratamentos. Para a densidade do solo foi observado efeito cúbico para as doses de composto de lodo de esgoto (Tabela 4). No estudo de Ricci *et al.* (2010) em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO argiloso, utilizando doses de até 80 Mg ha<sup>-1</sup>, a porosidade total do solo não apresentou diferença estatística para as dosagens do composto, e a macroporosidade somente diferiu estatisticamente após dois anos de aplicação. Melo *et al.* (2004) reportaram que, quantidades de lodo de esgoto de até 50 Mg ha<sup>-1</sup> não alteraram a porosidade total e a microporosidade do solo.

De Maria *et al.* (2010) observaram que a densidade do solo diminuiu com o uso de lodo de esgoto, mas esse efeito foi verificado ao longo do tempo, o estudo foi realizado em um LATOSSOLO VERMELHO, sendo que neste estudo foi realizada apenas uma aplicação de CLE, e pela baixa quantidade e rápida decomposição, não foi suficiente para afetar a densidade do solo.

A microporosidade não foi alterada significativamente pelas doses de composto de lodo de esgoto aplicadas no experimento na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 5). Após o cultivo do arroz foi realizada a semeadura direta do feijão e com isso não houve revolvimento do solo e as pressões ocasionadas pelo tráfego de máquinas e a acomodação natural das partículas, elevam o estado de compactação do solo reduzindo o tamanho dos poros.

A densidade do solo não apresentou diferenças significativas com a aplicação de doses do composto de lodo de esgoto nas três profundidades estudadas. A mesma situação foi observada por Andrade *et al.* (2005), que, determinando o efeito da aplicação em cobertura de doses de lodo de esgoto alcalino após cinco anos, em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico cultivado com eucalipto, relataram que não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos que foram de doses de até 40 Mg ha<sup>-1</sup>, controle e

adubação mineral, para a densidade do solo do experimento até a profundidade de 0,60 m.

**Tabela 5.** Teste F e análise de contraste para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,10-0,20 m. Ano agrícola 2017/2018.

Tratamento	Ma	Mi	Pt	Ds
	----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			- g cm <sup>-3</sup> -
Ad. Mineral	0,0336	0,3130	0,3466	1,6121
Controle	0,0493	0,3029	0,3522	1,5838
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,0583	0,3045	0,3629	1,5769
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,0482	0,2973	0,3456	1,5993
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,0632	0,3014	0,3647	1,5603
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,0647	0,3107	0,3754	1,5700
<b>Valor de F</b>	0,756 <sup>ns</sup>	0,943 <sup>ns</sup>	0,506 <sup>ns</sup>	0,855 <sup>ns</sup>
CV (%)	61,21	8,09	6,92	3,93
<b>Valor de F</b>				
Doses de CLE x ADM	0,178 <sup>ns</sup>	0,453 <sup>ns</sup>	0,314 <sup>ns</sup>	0,435 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,796 <sup>ns</sup>	0,844 <sup>ns</sup>	0,605 <sup>ns</sup>	0,998 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,619 <sup>ns</sup>	0,666 <sup>ns</sup>	0,300 <sup>ns</sup>	0,735 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,706 <sup>ns</sup>	0,481 <sup>ns</sup>	0,254 <sup>ns</sup>	0,872 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,575 <sup>ns</sup>	0,906 <sup>ns</sup>	0,412 <sup>ns</sup>	0,535 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\* P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

A ausência de resposta do solo pela aplicação de composto de lodo de esgoto nas suas características físicas também foi descrita em alguns trabalhos encontrados na literatura, como os de Camilotti *et al.* (2006) e Kitamura *et al.* (2008).

De acordo com as Tabelas 3, 4 e 5, a macroporosidade variou de 0,0235 a 0,0695 m<sup>3</sup> .m<sup>-3</sup>. As pressões exercidas pelas máquinas e implementos podem causar um rearranjo dos componentes sólidos do solo, desestruturando e compactando-o, diminuindo sua porosidade. Nessa modificação estrutural, a macroporosidade do solo é a mais facilmente afetada pelo manejo, pois os agregados grandes, que compõem poros maiores, são destruídos mais facilmente que agregados menores (BARBER *et al.*,1996).

Neste estudo antes da implantação do experimento houve aração, gradagens e subsolagem na área que podem justificar valores tão baixos de macroporosidade, valores estes que estão abaixo do nível crítico, que seria de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, demonstrando que nessas camadas, o solo apresenta maiores dificuldades quanto à infiltração e drenagem da água, além da circulação de ar, devido ao grau de compactação a que o solo está submetido. Stefanoski *et al.* (2013) relataram que, a compactação do solo pelo uso de maquinário, é a principal causa da degradação física dos solos agrícolas.

Com relação a microporosidade variou de 0,2846 a 0,3321  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ . Este atributo do solo é responsável pela capacidade de retenção de água e partículas sólidas, enquanto a macroporosidade influencia diretamente sobre a capacidade de infiltração, drenagem do solo e sua capacidade de aeração (HILLEL, 1998). A elevada microporosidade pode ser um indicativo de solo degradado.

A porosidade total variou de 0,3444 a 0,3912  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , segundo Aratani (2008) a porosidade total diz respeito ao volume de espaços ocupados por fluídos (gases e líquidos) no solo. Conforme Andrade e Stone (2009), índices de 0,50  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  de porosidade total nos solos são ideais para a produção agrícola, sendo a distribuição de poros por tamanho representada por 1/3 de macroporos e 2/3 de microporos (KIEHL, 1979). Neste estudo os valores de porosidade total ficaram abaixo do índice proposto, porém não afetou as produtividades das culturas, possivelmente devido a irrigação da área experimental.

De acordo com Furrer e Stauffer (1983) a adição de lodo de esgoto pode não alterar a porosidade total, independente da condição original do solo. Por sua vez, Navas *et al.* (1998) obtiveram incremento da porosidade total de 0,38  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  para 0,49  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , em tratamentos com aplicação de 320  $\text{Mg ha}^{-1}$  de lodo de esgoto. Assim, uma das hipóteses para o resultado obtido no presente trabalho, seja a dose baixa de composto de lodo de esgoto aplicado, é necessário doses altas para promover aumento na porosidade total do solo. Este atributo é uma propriedade importante que deve ser analisada na avaliação da qualidade física do solo.

A densidade do solo variou de 1,450 a 1,638  $\text{Mg m}^{-3}$ . Para solos argilosos, o valor de densidade que pode ser considerado crítico, quando na capacidade de campo, é 1,55  $\text{Mg m}^{-3}$  (SPERA *et al.*, 2004), acima do qual pode haver restrições para o crescimento e o desenvolvimento das raízes das plantas.

Matias *et al.* (2009) verificaram que a  $D_s$  é um atributo adequado para indicar compactação do solo por constituir um índice que apresenta relação com outros que restringem o crescimento das raízes.

A densidade do solo é um atributo físico que apresenta baixa variabilidade e um coeficiente de variação (CV) menor que 15% segundo Warrick (1998). Os resultados obtidos neste estudo são condizentes com essa afirmação, pois os CV variaram de 3,93 a 7,13%. As menores densidades constatadas entre os tratamentos podem estar relacionadas mais com o preparo do solo com subsolagem e operações com grades realizadas antes da implantação da cultura do que propriamente com a aplicação do composto de lodo de esgoto.

Os estudos de Cury *et al.* (2014) que descreveram que o uso de implementos para o preparo do solo pode criar camadas mais compactadas em subsuperfície (camada de 0,10-0,20 m) com aumento da densidade do solo e conseqüentemente redução da porosidade total. A formação de camadas compactadas reduz a atividade biológica e a macroporosidade no perfil do solo, aumentando a densidade, o que proporciona maior resistência física à expansão radicular (JIMENEZ *et al.*, 2008).

O efeito da aplicação de lodo de esgoto é observado principalmente no aumento da retenção de água em solos arenosos, melhoria da permeabilidade e infiltração nos solos argilosos, além de reduzir a resistência mecânica à penetração do solo, mantendo uma boa estrutura e estabilidade dos agregados na superfície (DALCHIAVON *et al.*, 2011).

Observa-se que o diâmetro médio ponderado, resultante da agregação não apresentou diferença significativa entre os tratamentos testados em nenhuma das profundidades avaliadas (Tabela 6).

**Tabela 6.** Teste F e análise de contraste para diâmetro médio ponderado (DMP) do solo em função dos tratamentos e anos de avaliação. Ano agrícola 2017/2018.

Tratamento	DMP (mm)		
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m
Ad. Mineral	1,3731	1,0955	1,0362
Controle	1,4410	1,5228	1,1116
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	1,4180	1,4270	1,0904
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	1,7290	1,5498	1,1029
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	1,4894	1,4206	0,8915
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	1,7648	1,3467	0,7070
<b>Valor de F</b>	0,5377 <sup>ns</sup>	0,4636 <sup>ns</sup>	0,1470 <sup>ns</sup>
CV (%)	23,78	23,78	23,35
<b>Valor de F</b>			
Doses de CLE x ADM	0,585 <sup>ns</sup>	0,419 <sup>ns</sup>	0,339 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,788 <sup>ns</sup>	0,865 <sup>ns</sup>	0,437 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,525 <sup>ns</sup>	0,880 <sup>ns</sup>	0,553 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,981 <sup>ns</sup>	0,135 <sup>ns</sup>	0,115 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,092 <sup>ns</sup>	0,267 <sup>ns</sup>	0,126 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\* P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

De Maria *et al.* (2007) avaliaram a utilização do lodo da ETE Jundiáí como condicionador de solo (LATOSSOLO VERMELHO eutroférico de textura argilosa), visando à recuperação de área degradada por manejo inadequado. Esses autores constataram aumento do diâmetro dos agregados e, portanto, da estabilidade destes em função do aumento das doses de lodo de esgoto.

Apesar da ausência de diferença significativa, os valores de DMP ficaram acima de 0,500 mm em todos os tratamentos (Tabela 6). Não há número absoluto para interpretar a qualidade da estrutura do solo por meio do DMP. Mas de modo geral, aceita-se como tendo baixa estabilidade, solos com DMP abaixo de 0,500 mm. Solos com DMP superior a 0,500 mm são resistentes ao esboroamento e à dispersão, sendo que a permeabilidade à água e ao ar não se alterarão com um bom manejo (FILIZOLA *et al.*, 2006). Curci *et al.* (2020) observaram aumento do índice de estabilidade da estrutura do solo com o aumento das doses de CLE (3, 6, 9 e 12 t ha<sup>-1</sup>).

**Tabela 7.** Teste F e análise de contraste para diâmetro médio geométrico do solo em função dos tratamentos e anos de avaliação. Ano agrícola 2017/2018.

Tratamento	DMG (mm)		
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m
Ad. Mineral	0,6693	0,5447	0,5279
Controle	0,6593	0,7283	0,5344
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,6887	0,7309	0,5666
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,8177	0,7354	0,5593
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,7246	0,6764	0,4706
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,8306	0,6270	0,3940
<b>Valor de F</b>	0,6405 <sup>ns</sup>	0,4861 <sup>ns</sup>	0,1929 <sup>ns</sup>
CV (%)	24,76	23,33	19,73
<b>Valor de F</b>			
Doses de CLE x ADM	0,407 <sup>ns</sup>	0,476 <sup>ns</sup>	0,641 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,935 <sup>ns</sup>	0,972 <sup>ns</sup>	0,489 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,596 <sup>ns</sup>	0,853 <sup>ns</sup>	0,678 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,973 <sup>ns</sup>	0,089 <sup>ns</sup>	0,102 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,160 <sup>ns</sup>	0,502 <sup>ns</sup>	0,140 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\* P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

O diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados estáveis em água (Tabela 7) não apresentou diferença significativa para os tratamentos, demonstrando que a agregação do solo não foi influenciada pelas doses de composto de lodo de esgoto.

O incremento de matéria orgânica, geralmente, leva a maior agregação e incremento da estabilidade de agregados e da capacidade de retenção de água, e por outro lado, diminui a densidade do solo (RIBON *et al.*, 2014). Maria *et al.* (2007), avaliando um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico de textura argilosa sob efeito de duas aplicações de lodo de esgoto em dois anos consecutivos, em duas doses, 10,0 e 20,0 Mg ha<sup>-1</sup>, e uma testemunha, sem aplicação do lodo, observaram aumento da estabilidade dos agregados em água, com 1,921; 2,066 e 2,483 mm, na camada superficial (0,00-0,10 m), explicado pelo aumento da matéria

orgânica do solo.

Ricci, Padovani e Júnior (2010) também não observaram alteração na estrutura do solo pela aplicação de doses de CLE, na camada de 0,00–0,20 m.

Os teores de fósforo no solo aumentaram com o aumento das doses de composto de lodo de esgoto na camada de 0-0,05 m (Tabela 8), apresentando diferença significativa entre os tratamentos, o maior valor de fósforo foi de 53 mg dm<sup>-3</sup> quando houve aplicação de 12,5 Mg ha<sup>-1</sup>, concordando com resultados encontrados por Costa *et al.* (2014) que verificaram aumento consideravelmente do teor de P no solo com o uso de lodo de esgoto.

**Tabela 8.** Teste de Tukey e análise de contraste para fósforo, matéria orgânica, pH e teor de K, na camada de 0,00-0,05 m. Ano agrícola 2017/2018.

<b>Tratamento</b>	<b>P<sub>resina</sub></b> mg dm <sup>-3</sup>	<b>MO</b> g dm <sup>-3</sup>	<b>pH (CaCl<sub>2</sub>)</b>	<b>K</b> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Ad. Mineral	23,50 c	21,25	5,52	2,725
Controle	21,50 c	20,75	5,77	2,800
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	29,00 ab	21,25	5,67	3,025
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	37,50 ab	22,25	5,80	3,000
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	48,75 ab	22,25	5,85	2,850
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	53,00 a	21,50	5,90	2,875
<b>Valor de F</b>	0,005**	0,895 <sup>ns</sup>	0,638 <sup>ns</sup>	0,928 <sup>ns</sup>
CV (%)	32,37	9,91	5,67	15,79
<b>Valor de F</b>				
Doses de CLE x ADM	0,010**	0,387 <sup>ns</sup>	0,891 <sup>ns</sup>	0,720 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,016*	0,437 <sup>ns</sup>	0,532 <sup>ns</sup>	0,895 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,871 <sup>ns</sup>	0,537 <sup>ns</sup>	1,000 <sup>ns</sup>	0,835 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,372 <sup>ns</sup>	0,706 <sup>ns</sup>	0,881 <sup>ns</sup>	0,383 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,001**	0,694 <sup>ns</sup>	0,107 <sup>ns</sup>	0,694 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\* P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

Observa-se efeito significativo do contraste entre as doses de CLE e adubação mineral e também com o controle. E verifica-se efeito cubico para as doses de composto de lodo de esgoto e o fósforo (Tabela 8).

O efeito residual do lodo de esgoto no aumento dos teores de P no solo foi relatado por Barbosa *et al.* (2007). Silva *et al.* (2002) também constataram que, três anos após a aplicação de lodo de esgoto e três cultivos consecutivos de milho, os teores de fósforo no solo eram maiores que os teores observados inicialmente.

De acordo com Novais *et al.* (2007) o P pode ser adsorvido às partículas do solo resultando em baixa taxa de difusão do mesmo, o que explicaria o aumento dos teores deste elemento na camada superficial (Tabela 8).

Os teores de K na camada de 0-0,05 m (Tabela 8) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, porém tiveram um aumento após a aplicação do CLE em relação a análise feita antes da instalação do experimento (Tabela 2).

Os teores de matéria orgânica (Tabela 8) não apresentaram diferença significativa entre as doses testadas, porém ao final dos cultivos (arroz e feijão) os teores de MO aumentaram quando comparados aos teores iniciais, antes da implantação do experimento (Tabela 2).

Comportamento semelhante foi observado por Nascimento *et al.* (2004), que constataram expressivos aumentos nos teores de matéria orgânica com a aplicação de lodo de esgoto em solos do semi-árido, apresentando aumentos de 53 %, em ESPODOSSOLO, e de 62 %, em ARGISSOLO, sendo importante para os solos dessa região que naturalmente, apresentam teores baixos de matéria orgânica.

**Tabela 9.** Teste de Tukey e análise de contraste para cálcio, magnésio e acidez potencial, na camada de 0,00-0,05 m. Ano agrícola 2017/2018.

<b>Tratamento</b>	<b>Ca</b> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	<b>Mg</b> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	<b>H+Al</b> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Ad. Mineral	27,75	16,25	21,25
Controle	31,50	17,50	18,50
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	36,25	19,25	21,50
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	36,75	19,50	19,75
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	36,25	21,75	17,75
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	37,75	22,50	17,75
<b>Valor de F</b>	0,595 <sup>ns</sup>	0,066 <sup>ns</sup>	0,431 <sup>ns</sup>
CV (%)	26,14	15,18	17,06
<b>Valor de F</b>			
Doses de CLE x ADM	0,475 <sup>ns</sup>	0,168 <sup>ns</sup>	0,577 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,640 <sup>ns</sup>	0,110 <sup>ns</sup>	0,315 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,665 <sup>ns</sup>	0,421 <sup>ns</sup>	0,827 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,396 <sup>ns</sup>	1,000 <sup>ns</sup>	0,533 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,131 <sup>ns</sup>	0,011 <sup>*</sup>	0,139 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\* P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

Os teores de cálcio e magnésio nas camadas estudadas, não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados, assim como não houve efeito significativo para a análise de contraste entre as doses de composto de lodo de esgoto, o tratamento com adubação mineral convencional, e o controle (Tabelas 9, 12 e 15). Observa-se efeito cúbico para as doses de composto de lodo de esgoto e o magnésio (Tabela 9).

Bonini, Oliveira e Alves (2008) trabalharam com recuperação de áreas degradadas remanescentes da construção da usina hidroelétrica de Ilha Solteira - SP, utilizando duas doses

de lodo de esgoto, adubação mineral e o cultivo de eucalipto e braquiária, observaram que na camada superficial houve aumento no teor de P, Ca, Mg, pH, MO, SB, CTC e V% com maior dose de lodo de esgoto (60 Mg ha<sup>-1</sup>). O incremento nos teores de Ca e Mg foi verificado por Ricci *et al.* (2010) no tratamento que recebeu 80 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto. Nota-se que em ambos os estudos as doses de lodo de esgoto foram muito superiores às doses do presente estudo.

O aumento do teor de Ca<sup>2+</sup> pode estar relacionado ao processo de compostagem do LE, no qual é aplicado calcário e gesso. Pois conforme relatado por Ribeirinho *et al.* (2012), o tratamento do LE com cal virgem (CaO) ou cal hidratada [Ca(OH)<sub>2</sub>] visa à higienização do mesmo, eliminando diversos agentes patogênicos, para o uso agrícola.

**Tabela 10.** Teste de Tukey e análise de contraste para soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação de bases, na camada de 0,00-0,05 m. Ano agrícola 2017/2018.

<b>Tratamento</b>	<b>SB</b>	<b>CTC</b>	<b>V</b>
	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%
Ad. Mineral	46,725	67,975	68,75
Controle	51,800	70,300	71,50
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	58,525	80,025	73,25
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	59,250	79,000	74,50
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	60,850	78,600	77,00
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	63,125	80,875	77,75
<b>Valor de F</b>	0,395 <sup>ns</sup>	0,248 <sup>ns</sup>	0,441 <sup>ns</sup>
CV (%)	20,73	11,86	9,19
<b>Valor de F</b>			
Doses de CLE x ADM	0,358 <sup>ns</sup>	0,152 <sup>ns</sup>	0,926 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,437 <sup>ns</sup>	0,534 <sup>ns</sup>	0,318 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,584 <sup>ns</sup>	0,414 <sup>ns</sup>	0,961 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,496 <sup>ns</sup>	0,249 <sup>ns</sup>	0,914 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,066 <sup>ns</sup>	0,064 <sup>ns</sup>	0,064 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\*

P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

A soma de bases, a saturação por bases e a CTC do solo não apresentaram diferença significativa, mas os maiores valores foram encontrados quando houve aplicação do composto do lodo de esgoto (Tabela 10). E observa-se também um aumento desses teores em relação aos valores iniciais do solo antes da implantação do experimento (Tabela 2).

Analisando a CTC verifica-se que, assim como a SB houve um acréscimo nos teores devido a adição de cátions trocáveis proporcionado principalmente pela calagem e pela aplicação do composto de lodo de esgoto.

Silva *et al.* (2011) constataram que o lodo de esgoto aplicado ao solo neutralizou parte da acidez potencial, provocando aumento do pH do solo, e proporcionou aumento da CTC, da

soma de bases e da percentagem de saturação por bases do solo.

Estudos vêm demonstrando que a utilização do lodo de esgoto traz diversos benefícios à agricultura, como a incorporação dos macronutrientes (nitrogênio e fósforo) e dos micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio). Com essas características nutricionais, pode-se dizer que, de modo geral, o lodo de esgoto é um atributo relevante a ser utilizado como adubação em algumas culturas (BETTIOL *et al.*, 2004).

**Tabela 11.** Teste de Tukey e análise de contraste para fósforo, matéria orgânica, pH e teor de potássio, na camada de 0,05-0,10 m. Ano agrícola 2017/2018.

<b>Tratamento</b>	<b>P<sub>resina</sub></b> mg dm <sup>-3</sup>	<b>MO</b> g dm <sup>-3</sup>	<b>pH<sub>(CaCl2)</sub></b>	<b>K</b> mmolc dm <sup>-3</sup>
Ad. Mineral	23,50	19,50	5,60	1,725
Controle	17,50	20,00	5,65	1,925
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	20,50	19,25	5,40	1,675
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	23,75	19,75	5,77	1,850
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	30,00	19,75	5,65	1,750
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	24,75	19,75	5,80	1,875
<b>Valor de F</b>	0,319 <sup>ns</sup>	0,964 <sup>ns</sup>	0,582 <sup>ns</sup>	0,984 <sup>ns</sup>
CV (%)	31,81	6,11	5,78	30,5
<b>Valor de F</b>				
Doses de CLE x ADM	0,116 <sup>ns</sup>	0,535 <sup>ns</sup>	0,976 <sup>ns</sup>	0,604 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,075 <sup>ns</sup>	0,876 <sup>ns</sup>	0,976 <sup>ns</sup>	0,835 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,629 <sup>ns</sup>	0,634 <sup>ns</sup>	0,188 <sup>ns</sup>	0,750 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,611 <sup>ns</sup>	0,831 <sup>ns</sup>	0,467 <sup>ns</sup>	0,887 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,690 <sup>ns</sup>	0,634 <sup>ns</sup>	0,167 <sup>ns</sup>	0,597 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\*

P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

O decréscimo em profundidade nos teores de P em parcelas que receberam doses do composto poderia ser resultado da não movimentação do P adicionado, via composto de lodo de esgoto, no perfil do solo, e da maior absorção deste elemento em maiores profundidades pelas plantas (Tabelas 11 e 14).

Observa-se na Tabela 11 que o contraste entre as doses de composto de lodo de esgoto e o controle e a adubação mineral não apresentou efeito significativo para a variável fósforo, matéria orgânica, pH e potássio.

Conforme se observa na Tabela 11, não houve diferença estatística no teor de matéria orgânica para os diferentes tratamentos estudados na camada de 0,05-0,10 m. O teor de matéria orgânica no tratamento controle e adubação mineral convencional é resultado da decomposição dos restos de palhadas de arroz e feijão acumulados e incorporados ao solo ao longo dos cultivos.

De acordo com Lopes *et al.* (2013), solos altamente produtivos apresentam altos níveis de biomassa e atividade microbiana os quais resultam, com o incremento do teor de matéria orgânica do solo, em solos de alta qualidade. A incorporação de matéria orgânica é um dos benefícios do uso agrícola dos resíduos orgânicos, como o CLE, devido à contribuição para a melhoria nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (FERRER *et al.*, 2011). Tal aporte é importante para os solos de regiões tropicais, naturalmente pobres em matéria orgânica.

O aumento no teor de matéria orgânica foi observado por BONINI *et al.* (2015), que estudaram a influência do lodo de esgoto na recuperação de atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO degradado pelo cultivo de eucalipto e braquiária durante quatro anos.

A contribuição da matéria orgânica adicionada ao solo é observada também pela capacidade de reterem  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , ( $\text{H}^+ + \text{K}^+$ , Al) e, em alguns casos,  $\text{Na}^+$ , elevando a CTC, SB e V% do solo (FERRER *et al.*, 2011), devido à superfície das partículas da matéria orgânica conter cargas negativas capazes de reterem cátions.

**Tabela 12.** Teste de Tukey e análise de contraste para cálcio, magnésio e acidez potencial, na camada de 0,05-0,10 m. Ano agrícola 2017/2018.

<b>Tratamento</b>	<b>Ca</b> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	<b>Mg</b> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	<b>H+Al</b> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Ad. Mineral	28,75	14,50	20,50
Controle	29,75	14,30	20,25
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	28,25	14,75	23,75
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	32,00	16,00	21,00
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	29,00	15,75	20,00
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	31,25	16,25	19,75
<b>Valor de F</b>	0,942 <sup>ns</sup>	0,829 <sup>ns</sup>	0,637 <sup>ns</sup>
CV (%)	20,71	13,95	16,96
<b>Valor de F</b>			
Doses de CLE x ADM	0,975 <sup>ns</sup>	0,965 <sup>ns</sup>	0,683 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,751 <sup>ns</sup>	0,760 <sup>ns</sup>	0,568 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,499 <sup>ns</sup>	0,669 <sup>ns</sup>	0,322 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,965 <sup>ns</sup>	1,000 <sup>ns</sup>	0,189 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,387 <sup>ns</sup>	0,175 <sup>ns</sup>	0,506 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\* P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

A acidez potencial do solo (H+Al), nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabelas 9, 12 e 15), não sofreram alteração significativa em função das diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto aplicadas, adubação mineral convencional e o controle. O mesmo se observa nas análises de contrastes. Mas os valores variaram de 19,75 a 23,75 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

Para essa profundidade o mesmo comportamento é observado para os cátions trocáveis (Ca e Mg), onde não se observa diferença significativa entre os tratamentos.

Estudos feitos por Ricci *et al.* (2010) utilizando doses (0, 20, 40 e 80 Mg ha<sup>-1</sup>) de um composto orgânico de lodo de esgoto e resíduos de roçagem, verificaram que não houve influência do lodo de esgoto na redução da acidez potencial.

Porém Abreu *et al.* (2016) relataram que a aplicação de lodo de esgoto promoveu incrementos nos valores de pH e redução na acidez potencial do solo, na profundidade de 0,00–0,10 m. Segundo os autores, esses resultados ocorreram devido à estabilização química do lodo de esgoto tornando-o alcalino.

**Tabela 13.** Teste de Tukey e análise de contraste para soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação de bases, na camada de 0,05-0,10 m. Ano agrícola 2017/2018.

<b>Tratamento</b>	<b>SB</b>	<b>CTC</b>	<b>V</b>
	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%
Ad. Mineral	44,975	65,475	68,50
Controle	47,175	67,425	69,50
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	44,675	68,425	65,00
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	49,850	70,850	69,75
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	46,500	66,500	69,75
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	49,375	69,125	71,25
<b>Valor de F</b>	0,922 <sup>ns</sup>	0,789 <sup>ns</sup>	0,862 <sup>ns</sup>
CV (%)	17,73	8,22	10,18
<b>Valor de F</b>			
Doses de CLE x ADM	0,981 <sup>ns</sup>	0,825 <sup>ns</sup>	0,856 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,868 <sup>ns</sup>	0,551 <sup>ns</sup>	0,792 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,526 <sup>ns</sup>	0,763 <sup>ns</sup>	0,437 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,982 <sup>ns</sup>	0,389 <sup>ns</sup>	0,449 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,300 <sup>ns</sup>	0,273 <sup>ns</sup>	0,380 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\* P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

A soma das bases (SB) na camada de 0,05-0,10 m, não apresentou diferenças significativamente entre os tratamentos (Tabela 13). Acréscimos na SB foram registrados por Bonini (2015) que, estudaram a recuperação de áreas degradadas com adição de lodo de esgoto e constataram aumento da SB com a elevação das doses de lodo.

Os valores de soma de bases neste estudo foram superiores aos 18,50; 19,20; e 16,40 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, observados por Yada *et al.* (2015), ao utilizarem as doses de 5,0; 10,0 e 20,0 Mg ha<sup>-1</sup> (base seca), em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

A capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%) não diferiram entre os tratamentos para a camada de 0,05-0,10 m (Tabela 13). O menor valor, 65,475 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>

foi obtido no solo com adubação mineral convencional, fato este devido ao solo apresentar baixo teor de matéria orgânica.

De acordo com a Tabela 14 houve efeito significativo para a análise de contraste entre as doses de composto de lodo de esgoto e a adubação mineral convencional para o teor de fósforo na camada de 0,10-0,20 m.

**Tabela 14.** Teste de Tukey e análise de contraste para fósforo, matéria orgânica, pH e teor de potássio, na camada de 0,10-0,20 m. Ano agrícola 2017/2018.

<b>Tratamento</b>	<b>P<sub>resina</sub></b> mg dm <sup>-3</sup>	<b>MO</b> g dm <sup>-3</sup>	<b>pH<sub>(CaCl2)</sub></b>	<b>K</b> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Ad. Mineral	20,25	19,50	5,37	1,250
Controle	12,00	19,75	5,17	1,350
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	19,00	19,25	5,00	1,125
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	17,50	19,75	5,40	1,225
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	18,50	19,50	5,25	1,300
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	18,25	18,75	5,25	1,225
<b>Valor de F</b>	0,371 <sup>ns</sup>	0,904 <sup>ns</sup>	0,566 <sup>ns</sup>	0,942 <sup>ns</sup>
CV (%)	30,41	7,06	6,2	25,48
<b>Valor de F</b>				
Doses de CLE x ADM	0,045 <sup>*</sup>	0,585 <sup>ns</sup>	0,645 <sup>ns</sup>	0,446 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,728 <sup>ns</sup>	0,891 <sup>ns</sup>	0,954 <sup>ns</sup>	0,690 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,846 <sup>ns</sup>	0,453 <sup>ns</sup>	0,073 <sup>ns</sup>	0,626 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,729 <sup>ns</sup>	0,575 <sup>ns</sup>	0,480 <sup>ns</sup>	0,674 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,563 <sup>ns</sup>	0,558 <sup>ns</sup>	0,971 <sup>ns</sup>	0,970 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\*

P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

De acordo com Bettiol e Ghini (2011), ainda há dúvidas quanto ao potencial do lodo em aumentar a disponibilidade de P no solo. No entanto, Costa *et al.* (2014), notaram um aumento de P após 30 dias de adubação de um LATOSSOLO VERMELHO eutroférico com lodo de esgoto.

O K, devido à elevada hidrossolubilidade, é em grande parte lixiviado nos leitos de secagem na ETE, tornando os lodos de esgoto pobres em K (PAGLIA *et al.*, 2007), sendo então necessária a adubação corretiva com fertilizante potássico. De acordo com Junio *et al.* (2013) ressaltam que o lodo de esgoto é uma matéria prima que apresenta baixa concentração de K, exigindo elevadas doses de LE quando se busca o fornecimento desse nutriente às plantas.

Houve efeito linear para o pH em relação as doses de composto de lodo de esgoto na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 14). Segundo Correa *et al.* (2009) o efeito da aplicação de calcário vai além do aumento do pH e enfatiza que nos latossolos, as cargas são dependentes

do pH, o que pode favorecer a dispersão de argilas, também fornece  $\text{Ca}^{+2}$  que funciona como ligante entre partículas de argila. Antolin *et al.* (2005) não constataram efeito após um da aplicação de  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$  de lodo de esgoto no pH do solo, contudo os autores constataram que doses de  $30 \text{ Mg ha}^{-1}$ , distribuídas durante dois anos consecutivos, reduziram os valores dessa variável.

Verifica-se uma redução dos teores de matéria orgânica em função da profundidade, isso ocorre pois na camada superficial há o acúmulo de restos culturais da vegetação.

De acordo com Bayer e Mielniczuc (2008), as temperaturas mais elevadas das regiões tropicais resultam em elevações das taxas dos processos químicos e bioquímicos, com consequente aceleração no processo de mineralização da matéria orgânica, situação que se amplia em solos submetidos ao uso agrícola. Assim, efeitos da aplicação do lodo de esgoto sobre os teores de matéria orgânica do solo têm sido observados com aplicações sucessivas do resíduo, conforme relatado por Bueno *et al.* (2011) após 7 anos de aplicação de lodo de esgoto ao solo.

A aplicação de lodo ao solo tem propiciado aumento nos teores de elementos como o fósforo, sendo essencial e, portanto, limitante para o crescimento dos vegetais. Já que não pode ser produzido sinteticamente ou substituído por qualquer outra, os biossólidos possuem altos teores de fósforo (RASTETTERT; GERHARDT, 2017).

De acordo com a Tabela 15 para a profundidade de 0,10-0,20 m, observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos testados para os cátions trocáveis  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e também para acidez potencial.

**Tabela 15.** Teste de Tukey e análise de contraste para cálcio, magnésio e acidez potencial, na camada de 0,10-0,20 m. Ano agrícola 2017/2018.

Tratamento	Ca	Mg	H+Al
	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Ad. Mineral	24,50	14,00	24,00
Controle	22,00	14,00	27,25
5,0 ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	19,00	12,00	31,00
7,5 ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	25,50	14,75	25,50
10,0 ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	22,75	13,75	26,50
12,5 ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	23,25	13,50	26,00
<b>Valor de F</b>	0,640 <sup>ns</sup>	0,679 <sup>ns</sup>	0,529 <sup>ns</sup>
CV (%)	23,84	16,92	19,11
<b>Valor de F</b>			
Doses de CLE x ADM	0,734 <sup>ns</sup>	0,748 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,973 <sup>ns</sup>	0,936 <sup>ns</sup>	0,926 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,097 <sup>ns</sup>	0,098 <sup>ns</sup>	0,103 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,547 <sup>ns</sup>	0,742 <sup>ns</sup>	0,194 <sup>ns</sup>

Efeito Cúbico 0,819<sup>ns</sup> 0,806<sup>ns</sup> 0,964<sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\* P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

Bittencourt *et al.* (2012) relataram que o lodo de esgoto aumentou os teores de Ca e os valores de pH da solução do solo, além de uma redução significativa da acidez potencial. Porém, alguns pesquisadores observaram o contrário, a redução dos valores de pH e aumento do teor de H+Al, utilizando lodo de esgoto sem estabilização química (CAVALCANTI *et al.*, 2015).

A aplicação de lodo melhora o complexo de sorção do solo em relação ao K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, aumentando assim o SB dos solos, principalmente quando o resíduo é tratado com calcário (FERRER *et al.*, 2011; MOREIRA *et al.*, 2015).

Verifica-se na Tabela 16 que não houve diferença significativa para soma de bases (SB), CTC e saturação por bases (V%) na camada de 0,10-0,20 m em relação aos tratamentos testados.

**Tabela 16.** Teste de Tukey e análise de contraste para soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação de bases, na camada de 0,10-0,20 m. Ano agrícola 2017/2018.

Tratamento	SB mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CTC mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V %
Ad. Mineral	39,750	63,750	62,25
Controle	37,350	64,600	57,25
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	32,125	63,125	51,00
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	41,475	66,975	60,75
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	37,800	64,300	59,00
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	37,975	63,975	59,25
<b>Valor de F</b>	0,668 <sup>ns</sup>	0,915 <sup>ns</sup>	0,584 <sup>ns</sup>
CV (%)	20,78	7,78	15,37
<b>Valor de F</b>			
Doses de CLE x ADM	0,911 <sup>ns</sup>	0,948 <sup>ns</sup>	0,804 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,988 <sup>ns</sup>	0,945 <sup>ns</sup>	0,852 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,097 <sup>ns</sup>	0,306 <sup>ns</sup>	0,114 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,595 <sup>ns</sup>	0,627 <sup>ns</sup>	0,276 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,816 <sup>ns</sup>	0,679 <sup>ns</sup>	0,970 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\* P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

Valores elevados de CTC e SB favorecem a liberação de nutrientes no solo, tornando-os disponíveis para as plantas (FERRER *et al.*, 2011).

A aplicação de lodo de esgoto nos solos tropicais e subtropicais, favorece a manutenção da fertilidade do solo, incorporando teores significativos de macronutrientes no solo e aumentando a disponibilidade de íons trocáveis (BONINI *et al.*, 2015).

Esses resultados, podem ser explicados pela baixa dosagem utilizada nos tratamentos, e

a ausência de incorporação do composto de lodo de esgoto ao solo. Esses dois fatores contribuíram para que o solo apresentasse valores semelhantes para esses atributos químicos entre os tratamentos. Yada *et al.* (2015) também obtiveram o mesmo comportamento para esses atributos.

No geral, os atributos químicos do solo, na camada mais profunda avaliada (0,10-0,20 m), são considerados altos para Ca, Mg, médio para saturação de bases (V%), segundo Van Raij *et al.* (1997), proporcionando condições favoráveis para o desenvolvimento radicular e alta produtividade para a cultura.

No Brasil em condições tropicais, existem muitos estudos relacionadas as consequências da aplicação do lodo sobre as características do solo. O lodo de esgoto, e seus usos em áreas agrícolas demonstram melhorias nas características físicas atuando positivamente sobre a formação de agregados, porosidade e retenção de água no solo, o teor de água retido no solo aumentou em função da aplicação de até de 20 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto (SAMPAIO *et al.*, 2012).

Para os atributos físicos avaliados após duas safras de cultivo sucessivo de arroz e feijão, na camada de 0,00–0,05 m de profundidade verificou-se a ausência de interação entre os tratamentos para: Ma, Mi e Pt (Tabela 17).

**Tabela 17.** Teste F e análise de contraste para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,00-0,05 m. Ano agrícola 2018/2019.

Tratamento	Ma	Mi	Pt	Ds
	----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			-- g cm <sup>-3</sup> --
Ad. Mineral	0,0977	0,2405	0,3932	1,5360 <sup>ab</sup>
Controle	0,0765	0,2174	0,3464	1,5975 <sup>b</sup>
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,1333	0,2550	0,3883	1,5405 <sup>ab</sup>
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,1300	0,2296	0,3597	1,4023 <sup>a</sup>
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,1367	0,2509	0,3877	1,4113 <sup>a</sup>
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,1669	0,2554	0,4223	1,3700 <sup>a</sup>
<b>Valor de F</b>	0,012 <sup>ns</sup>	0,269 <sup>ns</sup>	0,051 <sup>ns</sup>	0,014 <sup>**</sup>
CV (%)	24,88	10,66	8,23	5,93
<b>Valor de F</b>				
Doses de CLE x ADM	0,022 <sup>*</sup>	0,046 <sup>*</sup>	0,018 <sup>*</sup>	0,016 <sup>*</sup>
Doses de CLE x Controle	0,329 <sup>ns</sup>	0,410 <sup>ns</sup>	0,735 <sup>ns</sup>	0,105 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,236 <sup>ns</sup>	0,116 <sup>ns</sup>	0,111 <sup>ns</sup>	0,144 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,965 <sup>ns</sup>	0,654 <sup>ns</sup>	0,141 <sup>ns</sup>	0,020 <sup>*</sup>
Efeito Cúbico	0,205 <sup>ns</sup>	0,730 <sup>ns</sup>	0,403 <sup>ns</sup>	0,211 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\* P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

Resultados semelhantes foram observados por Trannin *et al.* (2008) em que a aplicação de biossólidos industriais (lodo) em CAMBISSOLO não surtiu efeito sobre a macroporosidade

do solo. Em contraste Melo *et al.* (2004) num LATOSSOLO VERMELHO em que a aplicação de LE em quantidades superiores a 47,5 Mg ha<sup>-1</sup> aumentou a macroporosidade do solo na camada de 0 - 10 cm, após cinco anos de uso consecutivo de lodo de esgoto na área, sendo indicativo que com o passar do tempo a adição do lodo pode melhorar a macroporosidade do solo. No presente estudo houve apenas duas aplicações de CLE, sendo aplicado no início de cada safra.

De acordo com a Tabela 17 a Ma, Mi, Pt e Ds apresentaram diferença significativa pela análise de contraste, entre os tratamentos que receberam as doses de CLE e ADM, na camada de 0,00–0,05 m. Melo *et al.* (2004) constataram que quantidades de lodo de esgoto de até 50 Mg ha<sup>-1</sup> não alteraram a macroporosidade e microporosidade do solo.

Após duas aplicações de CLE a densidade do solo na profundidade mais superficial, apresentou diferença significativa quando comparada aos tratamentos controle e adubação mineral, apresentando o menor valor (1,370 g cm<sup>-3</sup>) com aplicação de 12,5 Mg ha<sup>-1</sup>. Somente para DS, na camada de 0,00–0,05 m de profundidade, houve ajuste quadrático para as doses de CLE (Tabela 17).

Ricci, Padovani e Júnior (2010), não observaram ajuste das doses de CLE (0, 20, 40 e 80 Mg ha<sup>-1</sup>) para DS de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico com textura argilosa leve.

**Tabela 18.** Teste F e análise de contraste para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,05-0,10 m. Ano agrícola 2018/2019.

Tratamento	Ma	Mi	Pt	Ds
	----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			-- g cm <sup>-3</sup> --
Ad. Mineral	0,0843	0,2424	0,3618	1,6300 <sup>b</sup>
Controle	0,0881	0,2275	0,3487	1,6205 <sup>b</sup>
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,1198	0,2621	0,3820	1,5525 <sup>b</sup>
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,1154	0,2565	0,3593	1,5123 <sup>a</sup>
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,1273	0,2400	0,3673	1,5014 <sup>a</sup>
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,1375	0,2501	0,3875	1,5035 <sup>a</sup>
<b>Valor de F</b>	0,066 <sup>ns</sup>	0,108 <sup>ns</sup>	0,245 <sup>ns</sup>	0,010 <sup>**</sup>
CV (%)	23,48	6,8	6,46	5,97
<b>Valor de F</b>				
Doses de CLE x ADM	0,061 <sup>ns</sup>	0,038 <sup>*</sup>	0,131 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>**</sup>
Doses de CLE x Controle	0,208 <sup>ns</sup>	0,458 <sup>ns</sup>	0,972 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>**</sup>
Efeito Linear	0,259 <sup>ns</sup>	0,560 <sup>ns</sup>	0,130 <sup>ns</sup>	0,233 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,606 <sup>ns</sup>	0,175 <sup>ns</sup>	0,767 <sup>ns</sup>	0,382 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,214 <sup>ns</sup>	0,678 <sup>ns</sup>	0,368 <sup>ns</sup>	0,106 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \* P < 0,05 e \*\* P < 0,01 (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

Apesar da ausência de diferença significativa, os valores médios de Ma quando houve aplicação de CLE, foram superiores a  $0,100 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (Tabela 18), o mínimo adequado para as trocas líquidas e gasosas entre o ambiente externo e o solo, e considerado crítico para o crescimento das raízes da maioria das culturas (BAVER, 1949).

Observa-se na Tabela 18 que a Mi e a Ds apresentaram diferença significativa pela análise de contraste, entre os tratamentos que receberam as doses de CLE e ADM, na camada de 0,05–0,10 m. Na pesquisa de GLAB *et al.* (2020) observaram maior PT ( $0,322 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), e menor DS média ( $1,637 \text{ g cm}^{-3}$ ), nos tratamentos que receberam composto (composto de palha de milho, composto de palha de milho e LE, LE e biochar), em comparação com o controle (sem composto). A densidade do solo apresentou diferença estatística entre os tratamentos avaliados, as menores densidades foram encontradas quando se teve as maiores aplicações de CLE (7,5; 10 e  $12,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Tabela 18).

Os atributos físicos Mi e Pt, não apresentaram diferença significativa quando comparados entre os tratamentos com CLE, o controle e a adubação mineral. A macroporosidade diferiu estatisticamente entre as doses de composto de lodo de esgoto do tratamento controle (Tabela 19). Resultados semelhantes foram observados por Melo *et al.* (2004), os quais observaram que a incorporação de  $50 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo aumentou a macroporosidade na camada mais superficial do solo.

**Tabela 19.** Teste F e análise de contraste para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,10-0,20 m. Ano agrícola 2018/2019.

Tratamento	Ma	Mi	Pt	Ds
	----- $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ -----			-- $\text{g cm}^{-3}$ --
Ad. Mineral	0,1017 <sup>a</sup>	0,2768	0,3536	1,6150 <sup>ab</sup>
Controle	0,0560 <sup>b</sup>	0,2274	0,3359	1,6825 <sup>b</sup>
5,0 ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	0,1051 <sup>a</sup>	0,2687	0,3738	1,5905 <sup>ab</sup>
7,5 ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	0,1019 <sup>a</sup>	0,2513	0,3532	1,5975 <sup>ab</sup>
10,0 ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	0,1278 <sup>a</sup>	0,2515	0,3693	1,5350 <sup>a</sup>
12,5 ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	0,1168 <sup>a</sup>	0,2491	0,3659	1,5050 <sup>a</sup>
<b>Valor de F</b>	0,001 <sup>**</sup>	0,222 <sup>ns</sup>	0,078 <sup>ns</sup>	0,016 <sup>**</sup>
CV (%)	16,02	10,75	4,92	3,92
<b>Valor de F</b>				
Doses de CLE x ADM	0,002 <sup>**</sup>	0,033 <sup>*</sup>	0,008 <sup>**</sup>	0,037 <sup>*</sup>
Doses de CLE x Controle	0,005 <sup>**</sup>	0,823 <sup>ns</sup>	0,182 <sup>ns</sup>	0,309 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,548 <sup>ns</sup>	0,670 <sup>ns</sup>	0,165 <sup>ns</sup>	0,134 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,529 <sup>ns</sup>	0,818 <sup>ns</sup>	0,659 <sup>ns</sup>	0,848 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,309 <sup>ns</sup>	0,193 <sup>ns</sup>	0,672 <sup>ns</sup>	0,058 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \*  $P < 0,05$  e \*\*  $P < 0,01$  (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

Dentre os efeitos do lodo de esgoto sobre as propriedades físicas do solo, condicionadas principalmente pela presença de matéria orgânica, destacam-se a melhoria no estado de agregação das partículas do solo, com consequente diminuição da densidade e aumento na aeração e retenção de água (CEZAR *et al.*, 2021). Na Figura 19 verifica-se uma redução da densidade do solo quando houve aplicação do composto de lodo de esgoto, sendo a menor densidade encontrada quando se aplicou 12,5 Mg ha<sup>-1</sup>, apresentando diferença significativa em relação ao tratamento controle.

Com o rearranjo das partículas do solo pela adição de matéria orgânica criam-se vazios no perfil e consequentemente contribui para a elevação da porosidade do solo (SHI *et al.*, 2016). De acordo com a Tabela 19 a Ma, Mi, Pt e Ds apresentaram diferença significativa pela análise de contraste, entre os tratamentos que receberam as doses de CLE e ADM, na camada de 0,10–0,20 m.

Campos e Alves (2008) constataram que o lodo de esgoto influenciou as propriedades físicas de LATOSSOLO VERMELHO degradado quando comparado ao solo exposto (sem tratamento para recuperação). Os tratamentos de recuperação proporcionaram maior quantidade de macroporos.

Na segunda safra do presente estudo, ou seja após duas aplicações de composto de lodo de esgoto o diâmetro médio ponderado, resultante da agregação, foi alterada pelas doses de composto de lodo de esgoto e o tratamento com adubação mineral convencional nas camadas de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m (Tabela 20).

**Tabela 20.** Teste F e análise de contraste para diâmetro médio ponderado (DMP) do solo em função dos tratamentos e anos de avaliação. Ano agrícola 2018/2019.

Tratamento	DMP (mm)		
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m
Ad. Mineral	1,4483 <sup>b</sup>	1,3709 <sup>b</sup>	1,2069
Controle	1,3655 <sup>b</sup>	1,2535 <sup>b</sup>	1,1398
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	1,8458 <sup>ab</sup>	1,5462 <sup>a</sup>	1,4062
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	2,4995 <sup>a</sup>	1,8252 <sup>a</sup>	1,3228
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	2,1656 <sup>ab</sup>	1,8916 <sup>a</sup>	1,2018
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	2,4088 <sup>a</sup>	1,8500 <sup>a</sup>	1,0087
<b>Valor de F</b>	0,018 <sup>**</sup>	0,038 <sup>*</sup>	0,555 <sup>ns</sup>
CV (%)	25,14	18,87	25,32
<b>Valor de F</b>			
Doses de CLE x ADM	0,014 <sup>*</sup>	0,032 <sup>*</sup>	0,618 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,342 <sup>ns</sup>	0,109 <sup>ns</sup>	0,933 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,356 <sup>ns</sup>	0,653 <sup>ns</sup>	0,943 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,315 <sup>ns</sup>	0,672 <sup>ns</sup>	0,128 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,223 <sup>ns</sup>	0,141 <sup>ns</sup>	0,359 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \*  $P < 0,05$  e \*\*  $P < 0,01$  (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

Observa-se na Tabela 20 na profundidade de 0,00-0,05 m que os maiores valores são observados nos tratamentos com composto de lodo de esgoto, com diâmetro médio ponderado variando de 1,8458 até 2,4995 mm, já o tratamento com adubação convencional e o controle apresentaram valores de 1,4483 e 1,3655 mm respectivamente.

A análise de contraste também foi significativa, entre doses de composto de lodo de esgoto e a adubação mineral nas duas primeiras camadas (Tabelas 20).

De Maria *et al.* (2007) verificaram que a aplicação de lodo de esgoto em um LATOSSOLO VERMELHO proporcionou aumento gradativo no diâmetro dos agregados do solo na camada de 0-0,10 m. Para maior agregação do solo, é necessária a presença de agentes cimentantes (FILIZOLA *et al.*, 2006), e o lodo de esgoto, por ser de composição predominantemente orgânica, melhora o estado de agregação das partículas do solo.

Já para a profundidade de 0,10 a 0,20 m o diâmetro médio ponderado não apresentou diferença significativa entre os tratamentos testados. A distribuição de agregados em classes de tamanhos reflete o comportamento dos agregados no solo e serve como instrumento indicador de qualidade de solo.

A matéria orgânica age de forma significativa na física do solo, por meio de uma melhor agregação do solo, promovendo uma menor densidade, maior aeração e melhor absorção de água do solo (NAKAYAMA *et al.*, 2014).

**Tabela 21.** Teste F e análise de contraste para diâmetro médio geométrico (DMG) do solo em função dos tratamentos e anos de avaliação. Ano agrícola 2018/2019.

Tratamento	DMG (mm)		
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m
Ad. Mineral	0,7927	0,6476	0,5748 <sup>b</sup>
Controle	0,8612	0,6767	0,5990 <sup>b</sup>
5,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	1,0891	1,0270	0,6593 <sup>b</sup>
7,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	1,4829	0,9630	0,6292 <sup>b</sup>
10,0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	1,1217	0,9603	0,6355 <sup>b</sup>
12,5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	1,3914	0,9150	1,0430 <sup>a</sup>
<b>Valor de F</b>	0,133 <sup>ns</sup>	0,104 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>*</sup>
CV (%)	34,53	24,93	22,62
<b>Valor de F</b>			
Doses de CLE x ADM	0,155 <sup>ns</sup>	0,101 <sup>ns</sup>	0,274 <sup>ns</sup>
Doses de CLE x Controle	0,993 <sup>ns</sup>	0,394 <sup>ns</sup>	0,507 <sup>ns</sup>
Efeito Linear	0,509 <sup>ns</sup>	0,401 <sup>ns</sup>	0,175 <sup>ns</sup>
Efeito Quadrático	0,330 <sup>ns</sup>	0,090 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>
Efeito Cúbico	0,121 <sup>ns</sup>	0,184 <sup>ns</sup>	0,122 <sup>ns</sup>

Letras minúsculas diferentes entre colunas indicam diferenças entre os tratamentos: <sup>ns</sup> não significativo, \*  $P < 0,05$  e \*\*  $P < 0,01$  (teste de Tukey).

Fonte: Dados da própria autora

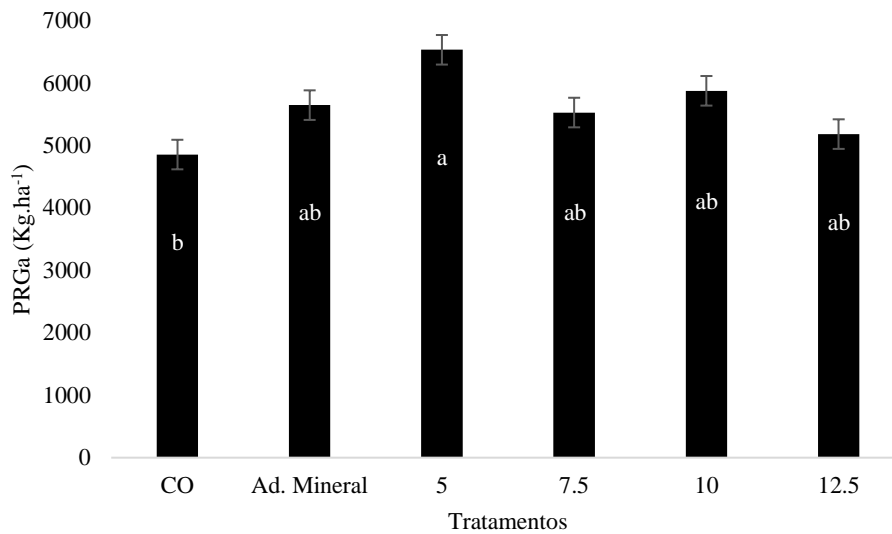
O diâmetro médio geométrico não apresentou diferença significativa entre os tratamentos testados nas camadas mais superficiais, ou seja, de 0,00 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m. Já na maior profundidade de 0,10 a 0,20 m o maior valor de DMG (1,0430 mm) foi encontrado quando houve a aplicação de 12,5 Mg ha<sup>-1</sup> de CLE. Além disso, não houve ajuste, linear ou quadrático, das doses de CLE para os atributos avaliados (Tabela 21). A estrutura do solo, também não foi alterada pela aplicação de doses de CLE, na camada de 0,00–0,20 m, em estudo de Ricci, Padovani e Júnior (2010).

De Maria *et al.* (2007) avaliaram a utilização do lodo da ETE Jundiáí como condicionador de solo (LATOSSOLO VERMELHO eutroférico de textura argilosa), visando à recuperação de área degradada por manejo inadequado. Esses autores constataram aumento do diâmetro dos agregados e, portanto, da estabilidade destes em função do aumento das doses de lodo de esgoto. Quanto maior a quantidade de lodo de esgoto adicionado, maior a influência da matéria orgânica na estabilidade de agregados do solo.

### **Produtividades agrícolas de arroz e feijão nas duas safras avaliadas.**

Os tratamentos com CLE, propiciaram produtividade de grãos de arroz superior às plantas do tratamento controle. Sendo assim, o CLE pode ser utilizado como fonte alternativa para a adubação da cultura do arroz de terras altas cultivada no Cerrado. A menor dose de CLE (5 Mg ha<sup>-1</sup>) proporcionou uma maior produtividade de arroz (6532 kg ha<sup>-1</sup>) e o controle apresentou uma produtividade de 4854 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 10).

**Figura 10:** Produtividade de grãos de arroz (PRGa) BRS esmeralda em função das doses de composto de lodo de esgoto ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) na safra 2017/2018, Selvíria – MS.



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

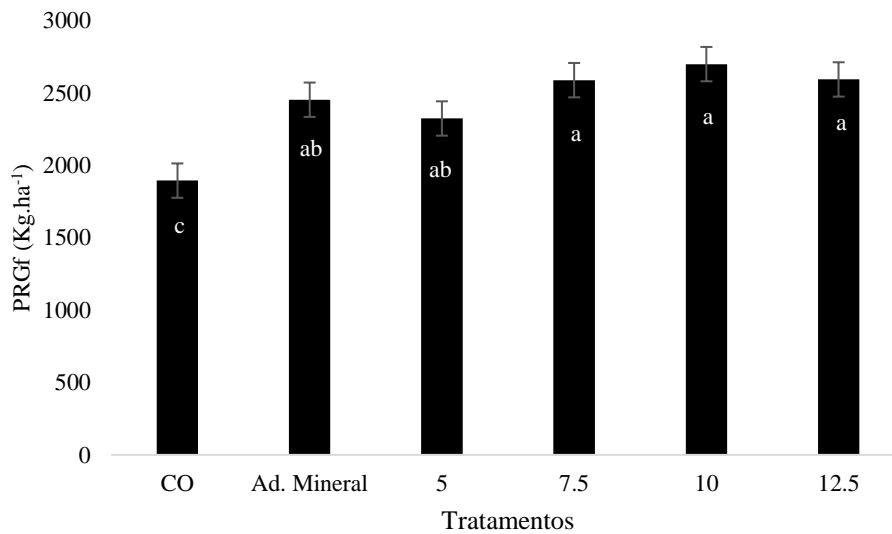
A produtividade das culturas pode ser influenciada por vários fatores que não estão relacionados com a qualidade do solo, tais como clima, genótipo e ocorrência de pragas (LOPES *et al.*, 2013).

Bittencourt *et al.* (2012) estudaram a aplicação de lodo de esgoto em solo degradado, sobre a cultura do milho, não sendo observada a influência dos tratamentos (doses de lodo) no desenvolvimento vegetal da cultura, ao contrário dos resultados encontrados neste estudo, o qual a aplicação do composto de lodo de esgoto aumentou a produtividade da cultura do arroz quando comparada ao controle e adubação mineral.

As doses de CLE foram mais eficientes que a do fertilizante mineral, ressaltando, desta forma, a viabilidade da utilização deste tipo de adubo orgânico como fonte fornecedora de nutrientes às plantas.

As doses residuais de CLE de 7,5, 10 e 12,5  $\text{Mg ha}^{-1}$  apresentaram as maiores produtividades do feijão com média de 2628  $\text{kg ha}^{-1}$ , já o tratamento controle teve uma produtividade de 1895  $\text{kg ha}^{-1}$  (Figura 11).

**Figura 11:** Produtividade de grãos de feijão (PRGf) BRS estilo, em função das doses de composto de lodo de esgoto na safra 2017/2018, Selvíria – MS.



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

Esses resultados corroboram com o estudo de Nascimento *et al.* (2004) que também observaram efeito positivo da aplicação de doses crescentes de lodo nas culturas de milho e feijão em ESPODOSSOLO e ARGISSOLO, respectivamente.

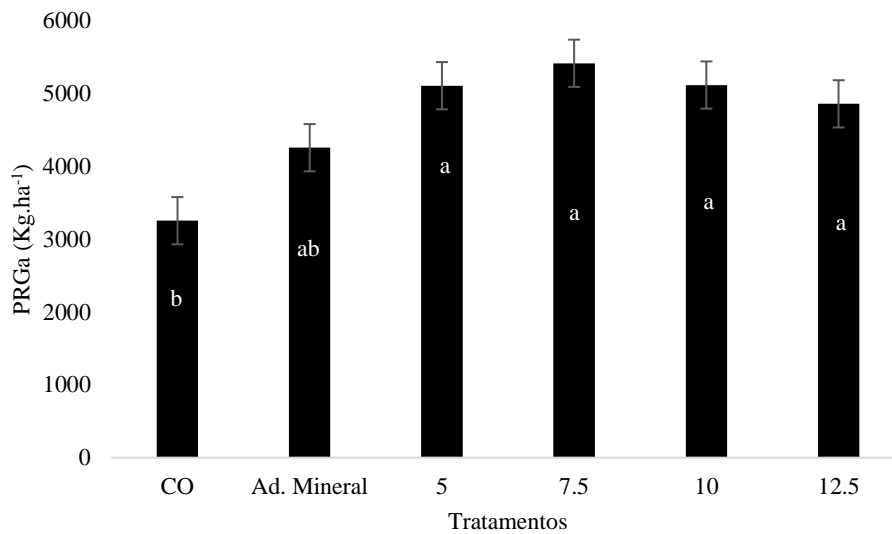
O lodo de esgoto contribuiu significativamente para a cultura do feijoeiro, com o fornecimento de nitrogênio para a cultura, que é um dos nutrientes mais limitantes para a sua produção. Segundo Prado e Cunha (2011), observou-se um aumento de 5% de nitrogênio em plantas de feijoeiro, ao se aplicar 42 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto no solo.

A utilização do lodo de esgoto como fertilizante apresenta potencial para suprir as necessidades nutricionais das plantas de forma igualitária à adubação mineral ou, até mesmo, superando seus rendimentos. O produtor, ao utilizar o CLE, terá ganhos em produtividade, além de dar um uso sustentável a este resíduo urbano.

Lemainski e Silva (2006) também constataram, em experimento com milho, que a adubação com lodo de esgoto é, em média, 21% mais eficiente do que com o fertilizante mineral.

Observa-se na figura 12 que com a aplicação das doses de composto de lodo de esgoto houve incremento na produtividade da cultura do arroz atingindo valor máximo de 5,41 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos, com a aplicação de 7,5 Mg ha<sup>-1</sup> de composto. Sendo que o tratamento controle apresentou a menor produtividade de grão de arroz, com apenas 3,25 Mg ha<sup>-1</sup>.

**Figura 12:** Produtividade de grãos de arroz (PRGf) BRS esmeralda, em função das doses de composto de lodo de esgoto na safra 2018/2019, Selvíria – MS.

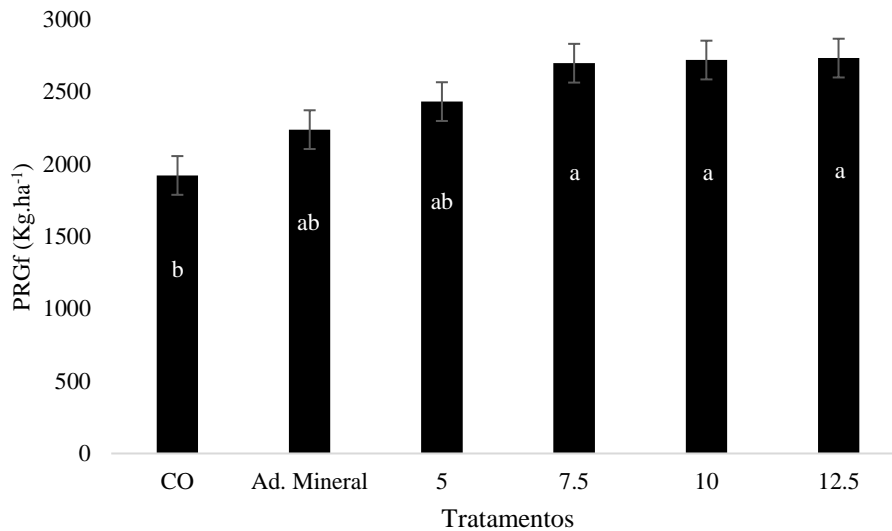


Médias seguidas por mesma letra, não diferem entre si pelo Teste de Tuckey em nível de 5% de probabilidade.

Em trabalhos desenvolvidos por Faria *et al.* (2017) o incremento na produtividade de grãos foi acoplado ao aumento na absorção de macro e micronutrientes, com exceção do potássio, indicando que o incremento de produtividade poderia ser potencializado desde que houvesse a complementação potássica no lodo.

De acordo com a Figura 13, verifica-se que o aumento das doses de composto de lodo de esgoto promoveu um incremento na produtividade da cultura do feijão atingindo valor máximo de produtividade de 2,73 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos, com a aplicação de 12,5 Mg ha<sup>-1</sup> de composto.

**Figura 13:** Produtividade de grãos de feijão (PRGf) BRS estilo, em função das doses de composto de lodo de esgoto na safra 2018/2019, Selvíria – MS.



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

Em relação à produtividade do feijoeiro, a utilização do lodo de esgoto pode contribuir para um aumento no número de grãos, sendo que ao aplicar 0; 10; 20; 30 e 40 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, obteve-se valores de 1,823; 2,297; 2,426; 2,537; 2,622 e 2,865 Mg ha<sup>-1</sup> de feijão, respectivamente (LOBO *et al.* 2015).

O lodo de esgoto contribui significativamente para a cultura do feijão, com o fornecimento de nitrogênio para a cultura, que é um dos nutrientes mais limitantes para a sua produção. Segundo Prado e Cunha (2011), observa-se um aumento de 5 % de nitrogênio em plantas de feijoeiro, ao se aplicar 42 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto no solo.

## 5 CONCLUSÃO

A aplicação de composto de lodo de esgoto em solo cultivado com arroz e feijão em sucessão aumentou a produtividade das culturas, comparativamente à do tratamento controle (sem aplicação de CLE) e com adubação mineral, nas duas safras avaliadas.

Nos dois anos de cultivo verificou-se o mesmo comportamento, as maiores doses de composto de lodo de esgoto residuais (7,5; 10 e 12,5 Mg ha<sup>-1</sup>) proporcionaram maiores produtividades de grãos de feijão em relação ao tratamento controle.

Houve um incremento nos teores de fósforo no solo com o aumento das doses de composto de lodo de esgoto na profundidade mais superficial.

As doses aplicadas ao solo do composto de lodo de esgoto não foram suficientes para alterar os atributos físicos do solo (Ma, Mi, Pt e Ds) na primeira safra, porém no segundo ano, verificou-se modificações na Ma, Ds e agregação do solo.

O uso agrícola do composto de lodo de esgoto é uma destinação ambientalmente sustentável para esse resíduo, é uma alternativa já consolidada, mas que precisa ser mais amplamente utilizada no Brasil, pois proporciona aumento de produtividades e economia no uso de insumos.

## REFERÊNCIAS

ABREU, S. A. H.; ARRUDA, E. M.; BARROS, L. R.; DE ALMEIDA, R. F.; MARANHÃO, D. D. C.; SILVA, V. L. DA; NETO, C. M. S.; FLORES, R. A.; CALIL, F. N.; COLLIER, L. S. Chemical attributes of the soil in agroforestry systems subjected to organic fertilizations. **African Journal of Agricultural Research**, Sapele, v. 11, n. 27, p. 2378-2388, 2016.

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.

ABREU JUNIOR, C. H.; BROSSI, M. J. L.; MONTEIRO, R. T.; CARDOSO, P. H. S.; MANDU, T. S.; NOGUEIRA, T. A. R.; GANGA, A.; FILZMOSE, P.; OLIVEIRA, F. C.; FIRME, L. P.; HE, Z.; CAPRA, G. F. Effects of sewage sludge application on unfertile tropical soils evaluated by multiple approaches: A field experiment in a commercial Eucalyptus plantation. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 655, p. 1457-1467, 2019.

AGROSABER. **História dos alimentos: o que deuses e guerras têm a ver com nosso arroz e feijão**. 2021. Disponível em: <https://agrosaber.com.br/o-que-deuses-e-guerras-tem-a-ver-com-o-nosso-arroz-e-feijao/>. Acesso em: 03 mar. 2023.

ALAMINO, R. C. J. A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: Viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais. Universidade Federal do Rio de Janeiro –UFRJ. Rio de Janeiro. p. 221, 2010.

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**, Agua Branca, v. 4, p. 87-98, 2017.

ALVES, P. F. S.; ALBUQUERQUE, H. C. de.; SAMPAIO, R. A.; ZUBA JUNIO, G. R.; FERNANDES, L. A.; RODRIGUES, M. N. Heavy metals and sodium concentrations in soil and sunflower crops fertilized with sewage sludge. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 10, n. 12, p. 1-9, 2021.

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**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009.

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**, Viçosa, MG, v. 29, p. 803-816, 2005.

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**, [s. l.], v. 45, n. 5, p.922-930, 2014.

ANTOLIN, M. C.; PASCUAL, I.; GARCIA, C.; POLO, A.; SANCHEZ-DIAZ, M. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2/3, p. 224-237, nov. 2005.

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

ARAÚJO, V. DOS S.; SILVA, M. O.; BRITO, A. S. DE; SOUSA, I. DE L; NUNES, F. C.; SOUZA, J. F. M. DE; OLIVEIRA, I. V. DE; SILVA, C. R. DA; CARVALHO, F. I. M.; SILVA, J. N. DA; SILVA, V. F. A.; SILVA, P. A.; Lodo de esgoto e suas potencialidades agrícolas. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 11, n.3, e14711326200, 2022.

ARIAS, L. V. A. **Inoculação de *Azotobacter* spp. em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris*): qualidade fisiológica das sementes e produção de grãos**. 2016. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

ASSOCIAÇÃO DOS ARROZEIROS DE ALEGRETE - AAA. **Origem e história do arroz**. [S. l.], 2013. Disponível em: <http://www.arrozeirosdealegrete.com.br/origem-e-historia-do-arroz/>. Acesso em: 03, mar de 2023.

BAIRD, C.; CANN, M. Química Ambiental. 4. ed. **Bookman**. 844p., 2011.

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**, Amsterdam, v. 38, p. 133-152, 1996.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, 2007.

BASF. **Custo em alta e produção em queda preocupam rizicultor, 2022**. Disponível em: [https://agriculture.basf.com/br/pt/conteudos/cultivos-e-sementes/arroz/nova-safra-de-arroz-deveterproducaomenor.html#:~:text=A%20produtividade%20na%20regi%C3%A3o%20teve,Grandense%20do%20Arroz%20\(Irga\)](https://agriculture.basf.com/br/pt/conteudos/cultivos-e-sementes/arroz/nova-safra-de-arroz-deveterproducaomenor.html#:~:text=A%20produtividade%20na%20regi%C3%A3o%20teve,Grandense%20do%20Arroz%20(Irga).).

BAVER, L. D. Practical values from physical analyses of soils. **Soil Science**, Philadelphia, v. 68, n. 1, p.1-14, 1949.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 2, p. 7-16.

BERTON, R. S.; CHIBA, M. K.; COSCIONE, A. R.; ABREU, M. F. de; NASCIMENTO, A. L. **Compostagem para fins agrícolas**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 2021.

BETTIOL, W. Effect of sewage sludge on the incidence of corn stalk rot caused by *Fusarium*. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 30, n. 1, p. 16-22, 2004. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111951/1/2004AP001.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2023.

BETTIOL, W.; GHINI, R. Impacts of sewage sludge in tropical soil: a case study in Brazil. **Applied and Environmental Soil Science**, London, v. 2011, 2011.

BETTIOL, J. V. T.; FILLA, V.A.; LEAL, F. T.; COELHO, A. P.; MEIRELLES, F. C.; LEMOS, L.B.; BOSSOLANI, J. W. Sustainable production of com-mon beans: inoculation, co-inoculation and mineral fertili-zation in early-cycle cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 44, n. 1, p. 16-28, 2020.

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**, Santa Maria, v. 34, p. 365-371, 2004.

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**, Campina Grande, v. 17, n. 3, p. 315-324, jul./set. 2012.

BONINI, C. S. B.; OLIVEIRA, B. A.; ALVES, M. C. Avaliação do crescimento de plantas de eucalipto (*Eucalyptus Citriodora* Hook) e fitomassa de braquiária (*Brachiaria decumbens*) em Latossolo Vermelho tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. In: Simpósio Nacional Sobre Recuperação de Áreas Degradadas, 7, 2008, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: FUPEF, 2008. p. 470-471.

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**, Campina Grande, v. 19, n. 4, p. 388-393, 2015.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento: **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Brasília, SNS/MDR, 2019. p. 226.

BUENO, J. R. P.; BERTON, R. S.; SILVEIRA, A. P. D.; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A.; MARIA, I. C. Chemical and microbiological attributes of an oxisol treated with successive applications of sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 1461-1470, jul./ago. 2011.

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p.1389-1397, 2008.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: **Instituto Agronômico de Campinas**, Campinas, v. 2, p. 45-47, 1997.

CASTRO, A. P.; MORAIS, O. P., BRESEGHELLO, F.; LOBO, V. L. S.; GUIMARÃES, C. M.; BASSINELLO, P. Z.; FILHO, J. M. C.; SANTIAGO, C. M.; FURTINI, I. V.; TORGA, P. P.; UTUMI, M. M.; PEREIRA, J. A. **BRS esmeralda: cultivar de arroz de terras altas com elevada produtividade e maior tolerância à seca.** [S. l.], 2014. (Comunicado Técnico Embrapa).

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**, Jaboticabal, v. 3, p. 738-747, 2006.

CAVALCANTI, T. F. M.; ZUBA JUNIO, G.R.; SAMPAIO, R.A.; CARNEIRO, J.P. OLIVEIRA, E. S. A. RODRIGUES, M. N. Yield of castor bean fertilized with sewage sludge and potassium and magnesium sulphate. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 773-779, 2015.

CETESB- **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas.** Projeto CETESB-GTZ. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha. São Paulo, 1999a. 385 p.

CEZAR, R.; SILVA, M.; COLONESE, J.; BIDONE, E.; EGLER, S.; CASTILHOS, Z.; POLIVANOV, H. Influence of the properties of tropical soils in the toxicity and bioavailability of heavy metals in sewage sludge-amended lands. **Environmental Earth Science**, Heidelberg, v. 66, n. 8, p. 2281-2292, 2021.

CHAGAS, J. K. M.; FIGUEIREDO, C. C.; SILVA, J.; PAZ-FERREIRO, J. The residual effect of sewage sludge biochar on soil availability and bioaccumulation of heavy metals: Evidence from a three-year field experiment. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 279, 111824, 2021.

CHAVES, M.O.; BASSINELLO, P.Z. **O feijão na alimentação humana.** [S. l.], 2022.

CHRISPIM, M.C.; SOUZA, F. M.; SCHOLZ, M.; NOLASCO, M. A. A Framework for Sustainable Planning and Decision-Making on Resource Recovery from Wastewater: Showcase for São Paulo Megacity. **Water**, [s. l.], v. 12, n. 12, p. 3466–3501, 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** Brasília, v.9 – Safra 2021/22, n.12 - Décimo segundo levantamento, p. 1-88, setembro 2022.

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA GRÃOS – CONAB. **SAFRA 2019/20 - Terceiro levantamento - dezembro de 2019**, v.7, n.3, 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS AGRICULTORES FAMILIARES - CONAFER. Feijão, o alimento mais brasileiro mostra a força da agricultura familiar. [S. l.], 2022.

CONAMA- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2019.

CORRÊA, J. C.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MORAES, M. H. Alteração de atributos físicos em latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 263-272, 2009.

COSTA, V. L.; MARIA I. C.; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; MELO, L. C.; Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 287-293. mar. 2014.

CRUZ, A. C.; PEREIRA, F. S.; FIGUEIREDO, V. S. Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro. Indústria química. BNDES Setorial 45, p 137-187, março, 2017.

CURCI, M.; LAVECCHIA, A.; CUCCI, G.; LACOLLA, G.; DE CORATO, U.; CRECCHIO, C. Short-Term Effects of Sewage Sludge Compost Amendment on Semiarid Soil. **Soil Systems**, Basel, v. 4, n. 48, p. 1-18, 2020.

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.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L.; ASSIS, J. T.; OLIVEIRA, M. S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 8-19, 2011.

DE MARIA, I.C., CHIBA, M.K., COSTA, A., BERTON, R.S. Sewage sludge application to agricultural land as soil physical conditioner. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n., p. 967-974, 2010.

DE MARIA, I.C.; KOCSSI, M.A.; DECHEN, S.C.F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 291-198, 2007.

DEMARCHI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 4, n. 2, p. 7–29, 2011.

DEUS, A.S.; ABRAHÃO, R.; SANTOS, R. F.; DOS ARAÚJO, L de S.; CARNEIRO, K. de A. A.; UYEDA, C. A.; DEMARTELAERE, A. C. F.; DINIZ, D. de P. Efeito do biossólido de indústria têxtil para o solo e para a produção do capim-elefante. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 6, n. 7, p. 50331-50348, 2020.

ELSALAM, H. E. A.; EL- SHARNOUBY, M. E.; MOHAMED, A. E.; RAAFAT, B. M.; EL-GAMAL, E. H. Effect of Sewage Sludge Compost Usage on Corn and Faba Bean Growth, Carbon and Nitrogen Forms in Plants and Soil. **Agronomy**, Madison, v. 11, p. 628, 2021.

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.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2021. Cultivo do Arroz. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo#:~:text=Cultivado%20e%20consumido%20em%20todos,%C3%81sia%20%C3%81frica%20e%20Am%C3%A9rica%20latina>. Acesso em: 13 jan. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/sitio-tecnologico/trilha-tecnologica/tecnologias/culturas/arroz>> Acesso em: 02 jan. de 2023.

ESCOLA BOTÂNICA- **A história do arroz**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.escoladebotanica.com.br/post/arroz>. Acesso em: 16 dez. 2022.

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 dezembro de 2019.

FARIA, W. M.; FIGUEIREDO, C. C.; DE COSER, T. R.; VALE, A. T.; SCHNEIDER, B. G. Is sewage sludge biochar capable of replacing inorganic fertilizers for corn production? Evidence from a two-year field experiment. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Abingdon, v. 64, n. 4, p. 505–519, 2017.

FEBRONI, L. V. **Uso de aminoácidos e biossólido na substituição do nitrogênio na cultura do feijoeiro**. 2022. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2022.

FERRER, A.; DE OÑA, J.; OSORIO, F.; MOCHÓN, I. Evolution of the soil and vegetation cover on road embankments after the application of sewage sludge. **Water Air Soil Pollution**, Dordrecht, v. 214, n. 1, p. 231-240, 2011.

FILIZOLA, H. F.; SOUZA, M. D.; GOMES, M. A. F.; BOEIRA, R. C. **Lodo de esgoto: estabilidade de agregados e argila dispersa em água**. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A., eds. Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 137-148.

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**, Amsterdam, v. 220, p. 177-187, 2019.

FREDDI, L. A. Riscos associados à aplicação do lodo de esgoto na agricultura. **Revista científica ANAP Brasil**, [s. l.], v. 12, n. 24, p. 1–11, 2019.

FURRER, O. J.; STAUFFER, W. Influence of sewage sludge application on physical properties of soils and its contribution to the humus balance. *In*: REIDEL, D. D. **The Influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils**. [S. l.], 1983. p. 65-74.

GŁĄB, T.; ŻABIŃSKI, A.; SADOWSKA, U.; GONDEK, K.; KOPEĆ, M. MIERZWAHERSZTEK, M.; TABOR, S.; STANEK-TARKOWSKA, J. Fertilization effects of compost produced from maize, sewage sludge and biochar on soil water retention and chemical properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 197, p. 104493, 2020.

GUIMARÃES, R. N.; MATOS, A. T.; CARPANEZ, T. G. Alterações químicas e sanitárias em solos e estéril de mineração receptores de lodo de esgoto sanitário, composto orgânico e fertilizante mineral. **Eng Sanit Ambient**, Rio de Janeiro, v. 27 n. 4, jul/ago 2022.

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**, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 119-125, 2015.

HAMDI, H.; HECHMI, S.; KHELIL, M. N.; ZOGHLAMI, I. R.; BENZARTI, S.; MONKNITLILI, S.; HASSEN, A.; JEDIDI, N. Repetitive land application of urban sewage sludge: Effect of amendment rates and soil texture on fertility and degradation parameters. **Catena**, Amsterdam, v. 172, p. 11–20, 2019.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic, 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**, New York, 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**, Campina Grande, 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**, Viçosa, MG, v. 15, p. 237-240, 1991.

JOSAPAR ALIMENTOS. **Conheça a origem do arroz, o principal alimento para mais da metade da população mundial**. Josapar Alimentos. São Paulo: G1, 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/especial-publicitario/josapar-alimentos/refogando/quiz/conheca-a-origem-do-arroz-o-principal-alimento-para-mais-da-metade-da-populacao-mundial.ghtml>. Acesso em: 03 mar. 2023.

JUNIO, G. R. Z.; SAMPAIO, A. R.; NASCIMENTO, A. L.; SANTOS, G. B.; SANTOS, L. D. T.; FERNANDES, L. A. Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural de Gafsa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, p. 706–712, 2013.

KALDERIS, D.; AIVALIOTI, M.; GIDARAKOS, E. Options for sustainable sewage sludge management in small wastewater treatment plants on islands: The case of Crete. **Desalination**, Amsterdam, v. 260, n. 1, p. 211–217, 2010.

KHALIL, A. I.; HASSOUNA, M. S.; EL-ASHQAR, H. M. A.; FAWZI, M. Changes in physical, chemical and microbial parameters during the composting of municipal sewage sludge. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, Dordrecht, v. 27, p. 2359–2369, 2011.

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

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**, Viçosa, MG, v. 32, p. 405-416, 2008.

KEMPER, W. D.; W. S. CHEPIL. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A. Methods of soil analysis. Madison. **American Society of Agronomy**, Madison, p. 499-510, 1965.

LACERDA, M.; NASCENTE, A.; PEREIRA, E. T. Adubação nitrogenada afeta a produtividade e a qualidade comercial de grãos do feijoeiro em sistema plantio direto. **Revista de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 369–378, 2019.

LACERDA, S. M. P.; SILVA, J. O.; ROCHA, F. A.; OLIVEIRA, J. T.; SILVA, T. O.; NORONHA, R. H. DE F.; ALMEIDA, T. F.; FERRAZ, L. L. Reaproveitamento do lodo de esgoto da ETE do Município de Vitória da Conquista na produção de mudas da *Leucanthemum maximum*. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.1, p. 1279-1288 jan. 2022.

LEITE, R. DA A.; BARROS, R. P.; OLIVEIRA, J. P. S.; CAVALCANTE, J. DA S.; SANTOS, D. DE S.; LIMA, F. S.; SILVA, D. DOS S.; SOUSA, J. I.; GALDINO, W. DE O.; BARBOSA, J. E. C. Produtividade do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (Poaceae) submetido a diferentes fontes de adubação orgânica. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 11, n.6, e53211627521, 2022.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. da. Utilização do bio sólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 741-750, 2006.

LEMOS, F.L.L. **Plantas de Cobertura em Sistemas de Produção de Sucessão entre as Culturas de Soja e Milho**. 2022. Trabalho de Conclusão (Bacharel em Agronomia) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2022.

LI, B.; LING, T.C.; QU, L.; WANG, Y. “Effects of a two-step heating process on the properties of lightweight aggregate prepared with sewage sludge and saline clay”, **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 114, pp. 119-126, Jul. 2016.

LINS, T. C.; LIMA, A. S. T. Lodo de Esgoto como alternativa de fertilização agrícola para o município de Igaci - AL. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 11, n. 8, e 13511830461, 2022.

LOBO, T. F.; FILHO, H. G.; BÜLL, L. T. Efeito do nitrogênio e do lodo de esgoto nos fatores produtivos do feijoeiro. **Revista Ceres**, Vicososa, MG, v. 59, n. 1, p. 118–124, 2012.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BULL, L. T.; KUMMER, A. C. B. Efeito do lodo de esgoto e do nitrogênio nos fatores produtivos do girassol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 504–509, 2013.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; CARDOSO, E. J. B. N.; ALMEIDA, L. S.; NOMIYAMA JUNIOR, N. Crescimento e fixação biológica do nitrogênio em soja cultivada com doses de lodo de esgoto compostado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1333-1342, 2015.

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

LOPES, A. A. DE C.; SOUSA, D. M. G. DE; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. dos; Goedert, W. J.; Mendes, I. de C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 77, p. 461-472, 2013.

MADUREIRA, F. A. N. Adubo de lodo de esgoto doméstico compostado. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 5, n. 1, p.147-153jan./mar.2022.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. II - Decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 1568-1582, 2012.

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

MARQUES, J. F. **Avaliação da viabilidade da compostagem de resíduos sólidos urbanos e de lodo de esgoto para a produção de fertilizantes orgânicos no município de São Carlos**. 2022. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2022.

MARTINS, F. A. D. **Sistemas de manejo e população de plantas na cultura do feijoeiro comum**. 2016. 162 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 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**, Jaboticabal, v. 40, n. 3, p. 331-338, 2009.

MATOS, A. Potencialidades e limitações do uso de Lodo de Esgoto em solo. **Aspectos Agronômicos, controle de atratividade de vetores e de impactos ambientais**. Belo Horizonte: Visual, 2018.

MELO, L. C. **BRS Estilo**: cultivar de grão tipo comercial carioca, com arquitetura de planta ereta associada com alto potencial produtivo. Santo Antônio do Goiás: Embrapa, 2009. (Comunicado técnico, 186).

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**, Brasília, DF, 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**, [s. l.], 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**, Shannon, v. 242, p. 351-357, 2016.

MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 398 p.

MOREIRA, R.; MINCATO, R.; SANTOS, B.; BARBOSA, R.; REZENDE, A.; ANDRADE, M. Attributes of dystrophic latosol in southern minas gerais after application of sewage sludge. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, São Paulo v. 37, p. 38-46, 2015.

MORETTI, S. M. L.; BERTONCINI, E. I.; ABREU-JUNIOR, C. H. Composting sewage sludge green waste from tree pruning. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, n. 5, p. 432-439, 2015.

NAKAYAMA, F. T.; OLIVEIRA, C. L. B. de; PERDONÁ, M. J. Recuperação de solo degradado com a aplicação de lodo de esgoto e plantas de cobertura. *In*: FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 10.. v. 10, n. 7, p. 28-38, 2014.

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**, Darmstadt, 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**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

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**, Darmstadt, v. 30, n. 1, p. 146-153, 2014.

NASCIMENTO, A. L.; SOUZA, A. J.; OLIVEIRA, F. C.; COSCIONE, A. R.; VIANA, D. G.; REGITANO, J. B. Chemical attributes of sewage sludges: Relationships to sources and treatments, and implications for sludge usage in agriculture. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 258, p. 120746, 2020.

NAVAS, A.; BERMÚDEZ, F.; MACHÍN, J. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols. **Geoderma**, Amsterdam, 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**, Campina Grande, v. 11, p. 331-338, 2007.

NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B., NEVES, J. C. L. (2007). Fertilidade do solo (p. 1017). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa.

OLIVEIRA, G.S. **Produtividade do feijoeiro comum e micronutrientes no sistema solo-planta em resposta ao efeito residual de aplicações decomposto de lodo de esgoto.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Agrônoma. Ilha Solteira, 2022a.

OLIVEIRA, G.M. **As relações entre os agentes da cadeia produtiva do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e a inserção comercial da tecnologia da resistência ao mosaico dourado.** 2022. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio (PPGAGRO) da Escola de Agronomia (EA), da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronegócio, 2022b.

OSAKI, M. **Alto preço de fertilizante desafia produtor.** Pesquisador da área de Custos Agrícolas do Cepea – Esalq Usp, 2021.

PAGLIA, E. C.; SERRAT, B. M.; FREIRE, C. A. de L.; VEIGA, A. M.; BORSATTO, R. S. Doses de potássio na lixiviação do solo com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 94-100. jan/fev. 2007.

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**, Novo Hamburgo, v. 11, p. 89-188, 2010.

PEREIRA, D. dos S. **Atributos físico-hídricos, químicos e estoque de carbono em um latossolo vermelho tratado com composto de lodo de esgoto cultivado em sucessão de soja e milho no cerrado.** 2021. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, 2021.

PEREIRA, T. O. **Plantas de cobertura, adubação nitrogenada e produção de sementes de feijoeiro.** 2016. 92 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.

PHUNG, L. D.; ICHIKAWA, M.; PHAM, D. V.; SASAKI, A.; WATANABE, T. High yield of protein-rich forage rice achieved by soil amendment with composted sewage sludge and topdressing with treated wastewater. **Scientific Reports**, London, v. 10, p. 10155, 2020.

PILNÁČEKA, V.; INNEMANOVÁ, P.; ŠEREŠ, M.; MICHALÍKOVÁ, K.; STRÁNSKÁ, Š.; WIMMEROVÁ, L.; CAJTHAML T. Micropollutant biodegradation and the hygienization potential of biodrying as a pretreatment method prior to the application of sewage sludge in agriculture. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 127, p. 212–219, 2019.

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.

PRATES, A. R.; COSCIONE, A. R.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; MIRANDA, B. G.; ARF, O.; ABREU-JUNIOR, C. H.; OLIVEIRA, F. C.; MOREIRA, A.; GALINDO, F. S.; SARTORI, M. M. P.; HE, Z.; JANI, A. D.; CAPRA, G. F.; GANGA, A.; NOGUEIRA, T. A. R. Composted Sewage Sludge Enhances Soybean Production and Agronomic Performance in Naturally Infertile Soils (Cerrado Region, Brazil). **Agronomy**, Madison, v. 10, n. 11, p. 1677–1696, 2020.

PRATES, A. R.; KAWAKAMI, K.C.; COSCIONE, A. R.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ARF, O.; ABREU-JUNIOR, C. H.; OLIVEIRA, F. C.; MOREIRA, A.; GALINDO, F. S.; HE, Z.; JANI, A. D.; CAPRA, G. F.; GANGA, A.; NOGUEIRA, T. A. R. Composted sewage sludge sustains high maize productivity on a infertile Oxisol in the Brazilian Cerrado. **Land**, Stockholm, v. 11, n. 8, 1246, 2022.

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. 285 p.

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

RASTETTER, N.; GERHARDT, A. Toxic potential of different types of sewage sludge as fertiliser in agriculture: ecotoxicological effects on aquatic, sediment and soil indicator species. **Journal of Soils and Sediments**, Heidelberg, v. 17, p. 106–121, 2017.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. [S. l.], 2017. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

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**, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

RHODEN, A.C.; SCHERER, G.L. Adubação de sistemas e produtividade de culturas. **Revista Inovação – Gestão e Tecnologia no Agronegócio**, [s. l.], v.1, n.2,2022.

RIBEIRINHO, V. S.; MELO, W. J.; SILVA, D. H.; FIGUEIREDO, L. A.; MELO, G. M. P. Fertilidade do solo, estado nutricional e produtividade de girassol, em função da aplicação de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, p. 2, p. 166- 173, 2012.

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; Fernandes, K. L.; Hermógenes, V. T. L. Alterações na estabilidade de agregados de Latossolo e Argissolo em função do manejo, na entrelinha da seringueira (*Hevea brasiliensis*). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 6, p. 1065-1071, 2014.

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**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 543-551, 2010.

ROBLEDO-MAHÓN, T.; CALVO, C.; ARANDA, E. Enzymatic potential of bacteria and fungi isolates from the sewage sludge composting process. **Applied Sciences**, Switzerland, v. 10, n. 21, p. 1–13, 2020.

RODRIGUES, M.N., PEGORARO, R. F.; CARDOSO, G. R.; FERREIRA, J. M.; FERNANDES, L. A.; SAMPAIO, R. A. Decomposição de lodo de esgoto utilizando-se cultivo com gramínea e aeração para uso como adubo orgânico. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, 2022.

ROSA, M. E. **Efeito da adubação verde e doses de estimulantes em plantio direto: no desenvolvimento, produtividade e qualidade fisiológica das sementes de feijão no cerrado sul-mato-grossense**. 2018. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2018.

SAMPAIO, T. F.; GUERRINI, I. A.; BACKES, C.; HELIODORO, J. C. A.; RONCHI, H. S.; TANGANELLI, K. M.; OLIVEIRA, F. C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 1637–1645, 2012.

SÁNCHEZ, A. S. Technical and economic feasibility of phosphorus recovery from wastewater in São Paulo’s Metropolitan Region. **Journal of Water Process Engineering**, Annaba, v. 38, p. 101537, 2020.

SANTOS, D. M. L.; COSTA, P. M. M.; MARQUES, F. S.; ROCHA, M. B. Abordagens e aplicações do processo de compostagem na gestão de resíduos orgânicos: tendências em estudos brasileiros. **Revista Terra e Didática**, Campinas, v. 181-12e022021, 2022.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018.

SHI, Y.; ZHAO, X.; GAO, X.; ZHANG, S.; WU, P. The effects of long-term fertilizer applications on soil organic carbon and hydraulic properties of a loess soil in China. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 27, n. 1, p. 60-67, 2016.

SILVA, C. J. C., LIMA, M. G. S., CARVALHO, C. M., ELOI, W. M.; PEDROZA, M. M.; SILVA, C. J. C. (2002). Efeito do lodo de estação de tratamento de despejos de curtume na fase inicial do crescimento do milho. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Itabaiana, v. 5, n. 2, p.131-136, 2002.

SILVA, P. R. D., LANDGRAF, M. D., E REZENDE, M. O. O. Avaliação do potencial agrônômico de vermicomposto produzido a partir de lodo de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 6, n. 4, p.565-571, 2011.

SILVA, D. A.; ESTEVES, J. A. F.; GOLÇALVES, J. G. R.; AZEVEDO, C. V. G.; RIBEIRO, T.; CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M. Avaliação de genótipos de feijoeiro quanto à eficiência do uso do fósforo em latossolo vermelho eutrófico. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 2, p. 152–163, 1 abr. 2016.

SILVA, M. V.; CHAER, G. M.; SANTOS LELES, P. S. dos; RESENDE, A.S. de; SILVA, E.V. da; BARROS, T. D. O. C. Uso de biossólido em plantios de espécies da Mata Atlântica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 48, n. 126, p. 1-14, 2020.

SILVA, I. R. **Adubação Nitrogenada E Aplicação De Diferentes Bioestimulantes No Cultivo De Feijão Carioca (*Phaseolus vulgaris L.*)**. 2021. 46 f. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Agronomia) - instituto federal de educação, ciência e tecnologia instituto federal de minas gerais - campus São João Evangelista, 2021.

SILVA, W. R.; DO NASCIMENTO, C. W. A.; SILVA, F. B. V.; SOUZA, A. A. B.; FRACETTO, G. G. M.; XIMENES, D. H. de S. V. Effects of Sewage Sludge Stabilization Processes on Soil Fertility, Mineral Composition, and Grain Yield of Maize in Successive Cropping. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Heidelberg, v. 21, p. 1076-1088, 2021.

SILVA, R. S.; JALAL, A.; NASCIMENTO, R. E. N.; ELIAS, N. C.; KAWAKAMI, K. C.; ABREU-JUNIOR, C. H.; OLIVEIRA, F. C.; JANI, A. D.; HE, Z.; ZHAO, F.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ROSETTO, R.; CAPRA, G. F.; NOGUEIRA, T. A. R. Composted Sewage Sludge Application Reduces Mineral Fertilization Requirements and Improves Soil Fertility in Sugarcane Seedling Nurseries. **Sustainability**, New Rochelle, v. 14, n. 8, 4684, 2022.

SILVA, G.B. **Variabilidade da qualidade de grãos na produção de arroz de terras altas em segunda safra no médio norte de mato grosso: uma análise exploratória**. Trabalho de Curso apresentado à Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT - Campus Universitário de Sinop, como parte das exigências para obtenção do Título de Engenheiro Agrícola e Ambiental. Sinop – MT, 2022.

SILVEIRA, D.C.; FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; REBESQUINI, R.; DALL'AGNOL, E.; PANISSON, F. T.; BOMBONATTO, M. C. P.; CEOLIN, M. E. Plantas de cobertura de solo de inverno em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária. **Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola**, [s. l.], v. 29, n. 173, p. 18-23, 2020.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS.

**Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos** 2019. Brasília, DF, 2020. Disponível em: [http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico\\_RS2019.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico_RS2019.pdf). Acesso em: 13 janeiro 2022.

SOBRINHO, R. G. D. **Revisão sobre utilização de *Azolla* spp (Salvinaceae, Monilophyta) na cultura do arroz (*Oryza* spp., Poacea) irrigado**. 2022. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2022.

SONG, S.; TIAN, D.; ZHANG, Z.; HU, S.; YU, J. Rice genomics: over the past two decades and into the future. **Genomics, Proteomics & Bioinformatics**, v.16, n.6, p. 397-404, 2018.

SOSBAI. **Arroz irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil: XXXII reunião técnica da cultura do arroz irrigado**. 4. ed. Cachoeirinha: Neiva Knaak e Fernando Fumagalli Miranda - Irga, 2018. 2018 p. Disponível em: [https://www.sosbai.com.br/uploads/documentos/recomendacoes-tecnicas-da-pesquisapara-o-sul-do-brasil\\_906.pdf](https://www.sosbai.com.br/uploads/documentos/recomendacoes-tecnicas-da-pesquisapara-o-sul-do-brasil_906.pdf). Acesso em: 20 dez. 2022.

SOUZA, T. P. **Tratamento do lodo de esgoto por compostagem: uso agrícola do composto e a redução da emissão de gases de efeito estufa**. 2022. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

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**, Viçosa, MG, v. 28, p. 533-542, 2004.

STEFANOSKI, D. C. S. G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

STROJAKI, T. V.; SILVA, V. R.; SOMAVILLA, A.; ROS, C. O.; MORAES, M. T. Atributos químicos do solo e produtividade de girassol e milho em função da aplicação de composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Tropical** (Agricultural Research in the Tropics), Goiania, v. 43, n. 3, p. 278-285, 2013.

STROMBERGER, M.; SHAH, Z.; WESTFALL, D. G. High specific activity in low microbial biomass soils across a not till evapotranspiration gradient in Colorado. **Soil Biology & Biochemistry**. Oxford, v. 43, n. 1, p. 97-105, 2011.

TANABE, F. **O protagonismo do arroz com feijão na alimentação dos brasileiros**, 2020. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/laranjanacolher/2020/05/11/o-protagonismo-do-arroz-com-feijao-na-alimentacao-dos-brasileiros/>. Acesso em: 03 mar. 2023.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; SILVA, C. A.; ANDRADE, M. J. B.; PEREIRA, J. M. Liberação de macronutrientes das palhadas de milheto solteiro e consorciado com feijão de porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 947-505, 2010.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n.3, p. 867-876, 2011.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. [S. l.]: Embrapa, 2017. 577 p.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 223-230, 2008

URBAN, R. C.; ISAAC, R. DE L.; MORITA, D. M. Uso benéfico de lodo de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto: estado da arte. **Revista DAE**, São Paulo, v. 67, n. 219, p. 128-158, 2019.

VAZ, L. M.; GONÇALVES, J. L. M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 747-758, 2002.

WARRICK, A. W. Spatial variability. *In*: HILLEL, D. (ed.) **Environmental soil physics**. [S. l.]: Academic, 1998. p. 655-675.

WIKIPEDIA. **Feijão**: história. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Feij%C3%A3o#Hist%C3%B3ria>. Acesso em: 03 mar. 2023.

WU, J.; WEI, Z.; ZHU, Z.; ZHAO, Y.; JIA, L.; LV, P. Humus formation driven by ammonia-oxidizing bacteria during mixed materials composting. **Bioresource technology**, Amsterdam, 311, 123500, 2020.

YADA, M. M., MELO, W. J., MINGOTTE, F. L. C., MELO, V. P., MELO, G. M. P. (2015). Chemical and Biochemical Properties of Oxisols after Sewage Sludge Application for 16 Years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, n. 5, p. 1303-1310.

YU, H.; ZOU, W.; CHEN, J.; CHEN, H.; YU, Z.; HUANG, J.; TANG, H.; WEI, X.; GAO, B. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 232, p. 8–21, 2019.

ZARATIN, C. SOUZA, S. A.; PANTANO, A. C.; SÁ, M. E.; ARF, O. BUZETTI, S. Efeitos de quatro doses de potássio em seis cultivares de arroz de sequeiro irrigados por aspersão. Componentes de produção e produtividade. **Científica**, [s. l.], v. 32, p. 115–120, 2004.