

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

ADRIELLE RODRIGUES PRATES

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, ESTADO NUTRICIONAL E DESEMPENHO
AGRONÔMICO NA SUCESSÃO SOJA-MILHO ADUBADOS COM COMPOSTO DE
LODO DE ESGOTO NA REGIÃO DO CERRADO**

Ilha Solteira
2020

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ADRIELLE RODRIGUES PRATES

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, ESTADO NUTRICIONAL E DESEMPENHO AGRONÔMICO NA SUCESSÃO SOJA-MILHO ADUBADOS COM COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO NA REGIÃO DO CERRADO

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

Prof. Dr. Thiago Assis Rodrigues Nogueira
Orientador

Dra. Aline Renee Coscione
Coorientadora

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- P912a Prates, Adrielle Rodrigues.
Atributos químicos do solo, estado nutricional e desempenho agrônômico na sucessão soja-milho adubados com composto de lodo de esgoto na região do Cerrado / Adrielle Rodrigues Prates. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2020
173 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2020
- Orientador: Thiago Assis Rodrigues Nogueira
Coorientador: Aline Renee Coscione
Inclui bibliografia
1. *Glycine max* L. 2. *Zea mays* L. 3. Biossólido. 4. Fertilizante orgânico.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Atributos químicos do solo, estado nutricional e desempenho agronômico na sucessão soja - milho adubados com composto de lodo de esgoto na região de Cerrado

AUTORA: ADRIELLE RODRIGUES PRATES

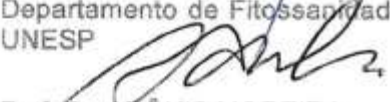
ORIENTADOR: THIAGO ASSIS RODRIGUES NOGUEIRA

COORDINADORA: ALINE RENEE COSCIONE GOMES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. THIAGO ASSIS RODRIGUES NOGUEIRA
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof. Dr. ADÓNIS MOREIRA
Departamento de Ciência do solo / EMBRAPA SOJA

Ilha Solteira, 28 de fevereiro de 2020

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Silvania Sanches Rodrigues Prates e Moacir da Cruz Prates, por estarem sempre ao meu lado em minhas decisões e em meus sonhos. Exemplos de pessoas determinadas e lutadoras, que sempre me ensinaram a respeitar o próximo, persistir em meus sonhos e em meus objetivos; pessoas maravilhosas que ajudaram a construir o meu caráter.

Dedico também aos meus amados animais de estimação Puf, Pipoca e, principalmente, a minha cachorrinha Luci, que permaneceu morando comigo em Ilha Solteira durante todo o meu mestrado e que me ajudou nos momentos de ansiedade, dando-me alegria quando eu estava triste e permanecendo ao meu lado quando eu me sentia sozinha.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me agraciar com a vida e sempre estar ao meu lado.

À Universidade Estadual Paulista, campus de Ilha Solteira, pela oportunidade oferecida por meio do curso de pós-graduação, contribuindo para minha formação científica e profissional.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado (nº de processo 2018/15152-4).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Thiago Assis Rodrigues Nogueira, pela oportunidade, por acreditar em mim, por seus ótimos conselhos e por seu profissionalismo.

A minha coorientadora, Dra. Aline Renee Coscione, pelo apoio científico e orientações.

Aos professores Dra. Kátia Luciene Maltoni, Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, Dr. João Antonio da Costa Andrade, Dr. Orivaldo Arf e Dr. Edson Lazarini, pelo apoio científico, técnico, sugestões, fornecimento de materiais e acessibilidade aos laboratórios que muito contribuíram para a realização da presente pesquisa.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), do Laboratório de Nutrição de Plantas e do Laboratório de Fertilidade do solo, pelo apoio técnico para a condução dos experimentos, das atividades de campo e das análises laboratoriais.

Aos colegas do Grupo de Estudo em Nutrição de Plantas, Adubação e Fertilidade do Solo (GENAFERT), pela dedicação ao trabalho, pela amizade e por acreditarem nos nossos projetos.

Aos meus amigos e também companheiros de trabalho, Luciano Ricardo Taveira e Silva, Paulo Zander Vieira Girão, Karen Cossi Kawakami e Felipe Bertacine, por estarem sempre ao meu lado e dispostos a me ajudar.

As minhas amigas e companheiras de república, Beatriz Braidoti, Danitiele Mantovani e Lisa Bedatty e aos meus amigos de turma da graduação, Philippe Toledo, Sabrina Santana, Débora Pavani e Beatriz Spadoni, por serem pessoas maravilhosas e por dividirem momentos incríveis.

Ao time feminino de futsal da Unesp – campus de Ilha Solteira, por dividir a paixão pela modalidade.

Por fim, agradeço a todos os meus familiares pelo apoio e suporte ao longo dessa caminhada.

“Que nada nos limite. Que nada nos defina. Que nada nos sujeite. Que a liberdade seja a nossa própria substância.”

Simone de Beauvoir

“...O movimento da natureza não segue a forma circular típica do paradigma físico-mecânico, mas sim de múltiplas formas de movimento, com o mundo movendo-se por reprodução numa diferenciação em espiral. No tocante à natureza, diferença é o movimento das ressintetizações biológicas como um ciclo dialético da vida e da morte, em que as coisas se repetem, mas nunca como coisas iguais...”

Ruy Moreira

RESUMO

Alguns micronutrientes são limitantes para o cultivo agrícola em solos da região do Cerrado brasileiro, sendo necessária a suplementação desses elementos químicos via fertilizantes. O composto de lodo de esgoto (CLE) apresenta em sua composição elevada quantidade de matéria orgânica e nutrientes, podendo ser utilizado como um fertilizante orgânico. Porém, ainda há pouca pesquisa com CLE como fonte de nutrientes em condições de Cerrado. Dessa forma, objetivou-se, com o presente estudo, avaliar a viabilidade agrônômica da aplicação do CLE como fonte de micronutrientes para as culturas de soja e milho em solo de Cerrado de baixa fertilidade. O experimento foi desenvolvido em condições de campo em Selvíria/MS, sendo cultivadas em sucessão as culturas de soja (safra) e milho (segunda safra). Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram originados de esquema fatorial $4 \times 2 + 2$, sendo: quatro doses de CLE (10, 15, 20 e 25 t ha⁻¹, base úmida), dois modos de aplicação (área total e nas entrelinhas das culturas) e dois tratamentos adicionais: *i*) = controle, sem aplicação do composto e *ii*) = adubação mineral convencional, com NPK e fontes solúveis de B e Zn. Ao final do ciclo de cada cultura, foram coletadas amostras de terra (camada de 0–20 e 20–40 cm de profundidade) para avaliação da fertilidade do solo (M.O., pH, CTC, H+Al, Al, SB, V, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn). Em ambas as culturas, foram avaliados: o estado nutricional das plantas, os componentes de produção, o índice de clorofila Falker, a capacidade de extração e exportação de nutrientes, além da produtividade de grãos. O CLE proporciona melhorias nos atributos químicos do solo, além de disponibilizar nutrientes para o bom desenvolvimento e adequado estado nutricional das culturas. As plantas de milho apresentaram os melhores resultados em relação à produtividade de grãos. Não há diferença para o modo de aplicação do CLE em relação às variáveis estudadas nas duas culturas, sugerindo que a distribuição do composto seja realizada em área total. As variáveis analisadas nos tratamentos que receberam doses de CLE apresentaram respostas similares aos da adubação mineral convencional. Nosso estudo demonstra que o CLE utilizado como fonte de micronutrientes para culturas agrícolas é uma alternativa para diminuir potencialmente os custos com fertilizantes minerais, além de dar um destino sustentável para o lodo de esgoto.

Palavras-chave: *Glycine max* L. *Zea mays* L. Biossólido. Fertilizante orgânico.

ABSTRACT

Field crops in soils of the Brazilian Cerrado region are becoming increasingly deficient in some micronutrients, making supplemental fertilizer application an indispensable management practice. Sewage sludge compost (SSC) contains considerable amounts of organic matter and crop nutrients and could be used as an organic fertilizer. However, minimal research has been conducted to evaluate the potential of SSC as a nutrient source in the Cerrado region. The objective of this study was to evaluate the agronomic viability of SSC as a micronutrient source for soybean and maize crops grown successively on a typical, low fertility Cerrado soil. The experiment was conducted under field conditions in Selvíria, MS, Brazil, with soybean as a summer crop and maize as a winter crop. A randomized complete block design with four replications was implemented. The treatment structure used in the study followed a $4 \times 2 + 2$ factorial arrangement: 1. SSC: 10, 15, 20, and 25 Mg ha⁻¹, on a wet basis); 2. Application method: whole area or between rows for both crops. The two additional treatments were: *i*) a control where neither CSS nor mineral fertilizers were applied; *ii*) an area treated with conventional fertilization (CF, hereafter) only. In this last case, NPK mineral fertilizers were applied along the plot directly on the sowing line; B and Zn were applied after the emergence of soybean and maize plants. At the end of each crop cycle, soil samples were collected (layer 0.0–0.2 and 0.2–0.4 m deep) to assess the soil fertility (OM, pH, CEC, H + Al, Al, SB, BS, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Ni, and Zn). In both crops, agronomic parameters, including yield components, concentrations of macro- and micronutrients in plant tissues (nutritional status) and in grain, Falker chlorophyll index, the capacity of extraction and export of nutrients and grain yield were measured. The SSC improves soil chemical attributes and provides nutrients for the proper development and adequate nutritional status of crops. Maize plants showed the best results in terms of yield compared to soybean. There was no difference for SSC application in relation to the variables studied for both crops, suggesting that SSC should be applied to the whole area. The effects of SSC and mineral fertilizer application on the variables evaluated were similar. Our study showed that use of SSC as a micronutrient source for field crops is a viable option for lowering production costs while also allowing for sustainable disposal of sewage sludge.

Keywords: *Glycine max* L. *Zea mays* L. Biosolid. Organic fertilizer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área experimental localizada no município de Selvíria, estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Unesp, campus de Ilha Solteira (a), área experimental cultivada com a cultura da soja (b) e do milho (c).	30
Figura 2 - O composto de lodo de esgoto (CLE) obtido na empresa Tera Ambiental Ltda, localizada em Jundiáí, SP.	33
Figura 3 - Neutralização da acidez do solo da área experimental por meio da aplicação de calcário agrícola.	35
Figura 4 - Croqui da área útil na parcela experimental.....	35
Figura 5 - Aplicação de CLE em área total (a) e nas entrelinhas da cultura da soja (b) na safra 2017/18.	36
Figura 6 - Semeadura mecânica da cultura da soja na safra 2017/18.	37
Figura 7 - Semeadura mecânica da cultura do milho (a), cultura do milho após a emergência (b).	38
Figura 8 - Adubação nitrogenada de cobertura realizada na cultura do milho.	39
Figura 9 - Aplicação de CLE em área total (a) e nas entrelinhas da cultura da soja (b) na safra 2018/19.	40
Figura 10 - Semeadura mecanizada da soja (a) e emergência da cultura (b).....	40
Figura 11 - Cultura da soja em diferentes fases de desenvolvimento na safra 2018/19.	42
Figura 12 - Semeadura mecanizada do milho (a) e emergência das plantas de milho (b).	43
Figura 13 - Vista geral do desenvolvimento da cultura do milho nas parcelas experimentais.	44
Figura 14 - Precipitação pluvial, umidade relativa do ar, temperaturas média, máxima e mínima obtidas durante o cultivo das culturas de soja e milho no ano agrícola 2018/19.....	45
Figura 15 - Amostragem do solo realizada ao final do ciclo das culturas.	46
Figura 16 - Cultura da soja no estágio de florescimento pleno (a), leituras de ICF (b) e coleta das folhas diagnose (c; d).	48

Figura 17 - Leitura do ICF nas folhas do milho no início do florescimento e da polinização e coleta da folha diagnose (a e b).	50
Figura 18 - Amostragem da palhada no fim do cultivo da cultura do milho (a e b). ...	51
Figura 19 - Capacidade de troca catiônica (CTC) no solo após a cultura da soja na profundidade 0–20 cm em função das doses aplicadas de CLE. * – Significativo a 5% de probabilidade.....	54
Figura 20 - Teor de P no solo (camada 20–40 cm de profundidade) após o cultivo da cultura do milho em função das doses aplicadas de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade.....	67
Figura 21 - Teor de Cu (a) e de Mn (b) no solo (camada de 0–20 cm de profundidade) extraído por DTPA após o cultivo da cultura da soja em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade.	71
Figura 22 - Teor de Fe no solo (camada 20–40 cm de profundidade) extraído por DTPA após o cultivo da cultura da soja em função das doses de CLE aplicadas. ** – Significativo a 1% de probabilidade.....	72
Figura 23 - Teor de Zn no solo (camada 20–40 cm de profundidade) extraído por DTPA após o cultivo da cultura do milho em função das doses de CLE aplicadas. ** – Significativo a 1% de probabilidade.....	78
Figura 24 - Teor de Fe no solo (camada 0–20 cm de profundidade) extraído por Mehlich-1 após o cultivo da cultura da soja em função das doses de CLE aplicadas. * – Significativo a 5% de probabilidade.....	81
Figura 25 - Teor de Zn no solo (camada 20–40 cm de profundidade) extraído por Mehlich-1 após o cultivo da cultura da soja em função das doses de CLE aplicadas. ** – Significativo a 1% de probabilidade.....	83
Figura 26 - Teor de Mn no solo (camada 0–20 cm de profundidade) extraído por Mehlich-1 após o cultivo da cultura da soja em função das doses de CLE aplicadas. ** – Significativo a 1% de probabilidade.....	86
Figura 27 - Teor de Ca nas folhas da cultura da soja em resposta à aplicação de doses CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade.	88
Figura 28 - Teor de P nas folhas da cultura do milho em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade.	92
Figura 29 - Teor de Zn nas folhas da cultura do milho em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 5% de probabilidade.	96
Figura 30 - Extração de Cu pela parte aérea da cultura do milho em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade.	104

- Figura 31** - Exportação de N (a) e de S (b) nos grãos de milho em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade. 108
- Figura 32** - Acúmulo de N na palhada da cultura da soja em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade. 113
- Figura 33** - Acúmulo de P na palhada da cultura do milho em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade. 115
- Figura 34** - Acúmulo de Mn na palhada da cultura da soja em resposta à aplicação de doses de CLE. * – Significativo a 5% de probabilidade..... 118
- Figura 35** - Número de grãos por planta (NGP) da cultura da soja em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade. 121
- Figura 36** - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre os teores de macronutrientes (Ca, Mg, K, P e S) no solo após o cultivo da cultura da soja, os teores foliares de macronutrientes na cultura da soja, a extração de macronutrientes na parte aérea das plantas de soja, a exportação de macronutrientes no grãos de soja, o acúmulo de macromacronutrientes da palhada da cultura da soja e a produtividade de grãos de soja em função da aplicação do CLE em area total (a) e nas entrelinhas (b). $YS = Y (\text{macronutriente}) + S (\text{Solo})$, $YF = Y (\text{macronutriente}) + F (\text{foliar})$, $YF = Y (\text{macronutriente}) + PA (\text{extração parte aérea})$, $YF = Y (\text{macronutriente}) + G (\text{exportação grãos})$, $YF = Y (\text{macronutriente}) + P (\text{acúmulo na palhada})$ e $PROD = \text{produtividade de grãos}$ 129
- Figura 37** - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre os teores de macronutrientes (Ca, Mg, K, P e S) no solo após o cultivo da cultura do milho, os teores foliares de macronutrientes na cultura do milho, a extração de macronutrientes na parte aérea das plantas de milho, a exportação de macronutrientes no grãos do milho, o acúmulo de macronutrientes da palhada do milho e a produtividade de grãos de milho em função da aplicação do CLE em area total (a) e nas entrelinhas (b). $YS = Y (\text{macronutriente}) + S (\text{Solo})$, $YF = Y (\text{macronutriente}) + F (\text{foliar})$, $YF = Y (\text{macronutriente}) + PA (\text{extração parte aérea})$, $YF = Y (\text{macronutriente}) + G (\text{exportação grãos})$, $YF = Y (\text{macronutriente}) + P (\text{acúmulo na palhada})$ e $PROD = \text{produtividade de grãos}$ 132
- Figura 38** - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre a matéria orgânica (MO) do solo após o cultivo da cultura da soja, o Índice de Clorifila Falker (ICF), os teores de N foliar (NF), N extraído da parte aérea (NPA), N exportados nos grãos (NG) e N acumulado na palhada (NP) e a produtividade de grãos de soja (PROD) em resposta à aplicação de CLE em area total (a) e nas entrelinhas (b). 134
- Figura 39** - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre a matéria orgânica (MO) do solo após o cultivo da cultura do milho, o Índice de Clorifila Falker (ICF), os teores de N foliar (NF), N extraído da parte aérea (NPA), N exportado nos

grãos (NG) e N acumulado na palhada (NP) e a produtividade de grãos de milho (PROD) em resposta à aplicação de CLE em área total (a) e nas entrelinhas..... 136

Figura 40 - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre os teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no solo após o cultivo da cultura da soja, os teores foliares de micronutrientes na cultura da soja, a extração de micronutrientes na parte aérea da cultura da soja, a exportação de micronutrientes nos grãos de soja, o acúmulo de micronutrientes da palhada da soja e a produtividade de grãos de soja em função da aplicação de CLE em área total (a) e nas entrelinhas (b). $YD = Y$ (micronutriente) + D (extração no solo por DTPA), $YD = Y$ (micronutriente) + M (extração no solo por Mehlich-1), $YF = Y$ (micronutriente) + F (foliar), $YF = Y$ (micronutriente) + PA (extração parte aérea), $YF = Y$ (micronutriente) + G (exportação grãos), $YF = Y$ (micronutriente) + P (acúmulo na palhada) e PROD = produtividade de grãos. 137

Figura 41 - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre os micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no solo após o cultivo da cultura do milho, os teores foliares de micronutrientes na cultura do milho, a extração de micronutrientes na parte aérea da cultura, a exportação de micronutrientes nos grãos, o acúmulo de micronutrientes na palhada e a produtividade de grãos de milho em função da aplicação de CLE em área total (a) e nas entrelinhas (b). $YS = Y$ (micronutriente) + S (Solo), $YF = Y$ (micronutriente) + F (foliar), $YF = Y$ (micronutriente) + PA (extração parte aérea), $YF = Y$ (micronutriente) + G (exportação grãos), $YF = Y$ (micronutriente) + P (acúmulo na palhada) e PROD = produtividade de grãos. 139

Figura 42 - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre o desenvolvimento da cultura, os componentes de produção e a produtividade de grãos de soja em resposta à aplicação de CLE em área total (a) e nas entrelinhas (b). AP = altura de plantas, ASP = Altura da 1ª inserção da vagem, NVP = número de vagens por planta, NGP = número de grãos por planta, MMG = massa de 1.000 grãos, POP = polpação final de plantas e PROD = produtividade de grãos. 141

Figura 43 - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre o desenvolvimento da cultura, os componentes de produção e a produtividade de grãos de soja em função da aplicação de CLE em área total (a) e nas entrelinhas (b). AP = altura de plantas, APE = Altura da 1ª espiga, DC = diâmetro do colmo, NFE = número de fileiras por espiga, NGE = número de grãos por espiga, MMG = massa de 1.000 grãos e PROD = produtividade de grãos..... 142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química e microbiológica de amostras do composto de lodo de esgoto (Média ± desvio-padrão; $n = 3$).	32
Tabela 2 - Atributos químicos ⁽¹⁾ e físicos ⁽²⁾ das amostras dos solos utilizados no experimento (Média ± desvio-padrão; $n = 3$).	34
Tabela 3 - Atributos químicos do solo, em duas profundidades, após o cultivo da cultura da soja em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE.	53
Tabela 4 - Atributos químicos do solo, em duas profundidades, após o cultivo do milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE.	57
Tabela 5 - Macronutrientes em duas profundidades do solo após o cultivo da soja em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE.	61
Tabela 6 - Macronutrientes em duas profundidades do solo após o cultivo do milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE.	64
Tabela 7 - Efeito dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE nos teores de Cu, Fe, Mn e Zn (mg dm^{-3}) extraídos por DTPA e nos teores de B extraídos por água quente em duas profundidades do solo após o cultivo da cultura da soja.....	70
Tabela 8 - Efeito dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE nos teores de Cu, Fe, Mn e Zn (mg dm^{-3}) extraídos por DTPA e nos teores de B extraídos por água quente em duas profundidades do solo após o cultivo da cultura do milho.....	75
Tabela 9 - Efeito das doses e do modo de aplicação do CLE nos teores de Cu, Fe, Mn e Zn (mg dm^{-3}) extraídos por Mehlich-1 em duas profundidades do solo após o cultivo da cultura da soja.	80
Tabela 10 - Efeito das doses e do modo de aplicação do CLE nos teores de Cu, Fe, Mn e Zn (mg dm^{-3}) extraídos por Mehlich-1 em duas profundidades do solo após o cultivo da cultura do milho.	85
Tabela 11 - Efeito das doses e do modo de aplicação do CLE nos teores de macronutrientes (g kg^{-1}) na folha diagnose das culturas de soja e milho.	90
Tabela 12 - Efeito das doses e do modo de aplicação do CLE nos teores de micronutrientes (mg kg^{-1}) na folha diagnose das culturas de soja e milho.	94
Tabela 13 - Extração de macronutrientes (kg ha^{-1}) pela parte aérea da soja e do milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE.	99
Tabela 14 - Extração de micronutrientes (g ha^{-1}) pela parte aérea da soja e do milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE.	103

Tabela 15 - Exportação de macronutrientes (kg ha^{-1}) pelos grãos de soja e de milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE.	107
Tabela 16 - Exportação de micronutrientes (g ha^{-1}) pelos grãos de soja e de milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE.	110
Tabela 17 - Acúmulo de macronutrientes (kg ha^{-1}) na palhada da soja e do milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE.	114
Tabela 18 - Acúmulo de micronutrientes (g ha^{-1}) na palhada da soja e do milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE.	117
Tabela 19 - Efeito dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE no desenvolvimento, componentes de produção e ICF da cultura da soja.	120
Tabela 20 - Efeito dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE no desenvolvimento, componentes de produção e ICF da cultura do milho.	124
Tabela 21 - Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) das culturas de soja e de milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE.	126
Tabela 22 - Aumento ou redução porcentual da produtividade de grãos de soja e de milho em relação aos tratamentos adicionais.	128

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

LE	Lodo de esgoto
CLE	Composto de lodo de esgoto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETEs	Estações de Tratamento de Esgoto
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NMP	Número mais provável
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
ST	Sólidos totais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	LODO DE ESGOTO: ASPECTOS GERAIS, COMPOSTAGEM E USO NA AGRICULTURA.....	20
2.2	CERRADO BRASILEIRO: ASPECTOS DO SOLO E PRODUÇÃO DA CULTURA DA SOJA E DO MILHO	23
2.3	EXTRATORES QUÍMICOS DE MICRONUTRIENTES DO SOLO	26
3	HIPÓTESE	28
4	OBJETIVOS	29
4.1	OBJETIVO GERAL.....	29
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
5.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	30
5.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	31
5.3	OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO	31
5.4	INSTALAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO NO PRIMEIRO ANO AGRÍCOLA (2017/18)	33
5.4.1	Cultura da soja (safra 2017/18).....	36
5.4.2	Cultura do milho (segunda safra 2017/18).....	37
5.5	DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO NO SEGUNDO ANO AGRÍCOLA (2018/19).....	39
5.5.1	Cultura da soja (safra 2018/19).....	39
5.5.2	Cultura do milho (segunda safra 2018/19).....	42
5.5.3	Informações climáticas do segundo ano agrícola (2018/19)	44
5.6	PARÂMETROS AVALIADOS NO SEGUNDO ANO AGRÍCOLA (2018/19) .	45
5.6.1	Solo.....	45
5.6.2	Planta.....	47

5.7	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	51
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
6.1	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	52
6.2	MICRONUTRIENTES NO SOLO.....	68
6.3	AVALIAÇÃO DAS CULTURAS.....	88
6.3.1	Teores de nutrientes nas folhas.....	88
6.3.2	Extração de nutrientes pela parte aérea.....	97
6.3.3	Exportação de nutrientes nos grãos.....	105
6.3.4	Acúmulo de nutrientes na palhada	112
6.3.5	Desenvolvimento das plantas, componentes de produção, ICF e produtividade.....	119
6.4	CORRELAÇÕES	128
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	143
	REFERÊNCIAS	145
	APÊNDICES.....	165

1 INTRODUÇÃO

A elevada geração de resíduos tornou-se uma das principais preocupações mundiais, já que o manuseio, o armazenamento e a disposição final desses produtos podem gerar problemas ambientais e riscos à saúde humana. Contudo, alguns desses materiais podem trazer benefícios, caso sejam utilizados de forma adequada e segura. Dentre esses, o lodo de esgoto (LE), que é um resíduo orgânico oriundo do tratamento de esgoto, destaca-se por possuir quantidades consideráveis de alguns nutrientes de plantas e matéria orgânica, podendo ser utilizado como fertilizante e/ou condicionador em solos agrícolas (BERTON; NOGUEIRA, 2010; BLOEM *et al.*, 2017).

Outras destinações também são dadas ao LE, como: deposição nos oceanos, incineração, descarte nos aterros sanitários, recuperação de área degradadas, aplicação em áreas florestais, etc. (ABREU-JUNIOR *et al.*, 2017; GUTIÉRREZ-GINÉS *et al.*, 2017; PEDROSA *et al.*, 2018). A reciclagem do LE, via utilização agrônômica, apresenta-se como uma tendência mundial. Países como Irlanda, Dinamarca, Portugal, Espanha, EUA e França, destinam mais de 50% do lodo produzido no aproveitamento agrícola (MATOS, 2018). Dessa forma, a Resolução Conama 375/06 (Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 2006), que normatiza o uso agrícola de lodos de esgoto no Brasil, considera o seu uso uma alternativa sustentável quando comparada a outras práticas.

Apesar de a Resolução ter sido elaborada há mais de 10 anos, são poucas as experiências, em escala operacional, do uso do LE em solos brasileiros. No Brasil, menos de 3% desse resíduo é destinado para o uso na agricultura (MATOS, 2018). Este fato é resultante da limitada adesão dessa alternativa pelas empresas de saneamento devido, entre outros fatores, à dificuldade de atendimento à Resolução Conama 375/06. O excesso de critérios e limites mais restritivos do que os estabelecidos pelas normas internacionais, além da desconsideração das especificidades locais e regionais pela Resolução, dificultam e, em alguns casos, tornam inviável o uso agrícola do LE que, em outros países, já está consolidado.

Quando o LE é aplicado em solos utilizando os critérios agrônômicos, traz benefícios para suas características físico-químicas e biológicas, contribuindo também para o desenvolvimento vegetal (BERTON; NOGUEIRA, 2010). No Brasil, há mais de 40 anos esse resíduo vem sendo estudado como fonte alternativa na adubação, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais e, com isso,

desempenhar um importante papel na produção agrícola e florestal, além de minimizar os custos com fertilizantes inorgânicos (SOUTO, 2007; NOGUEIRA *et al.*, 2008; NOGUEIRA *et al.*, 2013; ABREU-JUNIOR *et al.*, 2019; FLORENTINO *et al.*, 2019).

O LE apresenta em sua composição elevados teores de nitrogênio (N) e de fósforo (P) que, em quantidades excessivas, podem ser potenciais poluentes nos corpos d'água. Portanto, os cálculos das doses de lodo para aplicação em solos agrícolas são baseados no fornecimento desses elementos (CONAMA, 2006), o que pode favorecer o uso de grandes quantidades do resíduo ($t\ ha^{-1}$). Por outro lado, alguns metais pesados contidos no LE também são considerados micronutrientes de planta (Cu, Fe, Mn, Ni e Zn). Assim, se esse material for utilizado como fonte desses elementos, o volume aplicado do resíduo ($kg\ ha^{-1}$) deverá ser consideravelmente reduzido. Conseqüentemente, menor será a quantidade desses elementos tóxicos disponibilizados ao solo, viabilizando o uso de lodos, principalmente, os de regiões industriais, que apresentam na sua composição maiores teores desses elementos. Dessa forma, a utilização do LE como fonte de micronutrientes deverá ser bem vista por parte das agências de controle ambiental, que ainda tem restringido o seu uso agrícola e dificultado a aprovação de projetos para esse fim (ABREU JUNIOR *et al.*, 2008; PARADELO; VILLADA; BARRAL, 2011).

O uso sustentável do solo e, conseqüentemente, a sua "saúde" (menor acidez e teores equilibrados de nutrientes) é um importante fator para manter e promover a produção agrícola (MOSQUERA-LOSADA *et al.*, 2017). Os solos do Cerrado brasileiro, por sua vez, possuem baixa fertilidade limitando o adequado desenvolvimento das culturas agrícolas. Nestes solos, para se obterem altos rendimentos, é necessário haver reposição constante de alguns nutrientes, além da correção da acidez (MORAES; ABREU-JUNIOR; LAVRES JUNIOR, 2010). A cultura da soja e do milho, quando cultivadas nesses solos, pode apresentar certa sensibilidade à deficiência de micronutrientes (RESENDE, 2003; FANCELLI, 2010). Mesmo com as adubações anuais, é difícil aumentar a disponibilidade dos micronutrientes no solo (ALTMANN; PAVINATO, 2001). Ademais, a elevação do consumo e do custo dos fertilizantes minerais tem preocupado o setor agrícola mundial, incentivando a busca pelo uso de fontes alternativas de micronutrientes, a fim de reduzir a demanda por fertilizantes inorgânicos.

A compostagem tem sido uma saída encontrada pelas empresas que gerenciam o lodo de algumas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), visando, sobretudo, à

continuidade da reciclagem do lodo na agricultura (HARGREAVES; ADL; WARMAN, 2008). De acordo com as Instruções Normativas da Secretaria de Defesa Agropecuária nº 25, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os fertilizantes orgânicos produzidos pela compostagem do LE, são passíveis de registro, sendo estes classificados como fertilizantes orgânicos Classe “D”, (BRASIL, 2009). Todavia, ainda são escassos estudos desenvolvidos visando à avaliação de composto de lodo de esgoto (CLE) como fornecedor de micronutrientes, especialmente, para a cultura da soja e do milho cultivadas em sucessão em solo de Cerrado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 LODO DE ESGOTO: ASPECTOS GERAIS, COMPOSTAGEM E USO NA AGRICULTURA

O LE é um resíduo semissólido resultante do tratamento dos esgotos ou das águas servidas, cuja composição é predominantemente orgânica e varia em função de sua origem e do sistema de tratamento do esgoto (BERTON; NOGUEIRA, 2010). Há dois tipos de lodo residual identificados: o LE primário, originário da captura de sólidos orgânicos em suspensão por meio da sedimentação gravitacional, e o LE secundário, proveniente das lamas produzidas por microrganismos que consomem matéria orgânica (LAMASTRA; SUCIU; TREVISAN, 2018).

Estima-se que no ano de 2016, aproximadamente 500 toneladas por dia de LE desidratado foram geradas nas ETEs da região metropolitana de São Paulo, com destino final em aterros sanitários (LEITE, 2016). Visto que esse resíduo é gerado em larga escala, a sua disposição final é uma preocupação constante, principalmente, no âmbito da gestão ambiental (BELHAJ *et al.*, 2016; PEDROSA *et al.*, 2017; MELO *et al.*, 2018). Dessa forma, é importante considerar o LE como um reservatório de energia, composto de matéria orgânica, carbono, fósforo, nitrogênio, ácidos voláteis ou até mesmo proteínas, que devem ser reciclados (KACPRZAKA *et al.*, 2017).

O LE contém uma grande quantidade de nutrientes em sua composição, o que viabiliza o uso na agricultura. Esse resíduo é capaz de substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais, promovendo a manutenção da fertilidade do solo, com efeito direto na qualidade da biomassa microbiana e no aumento das atividades enzimáticas no solo, além de prevenir a contaminação e a degradação dos recursos hídricos (NOGUEIRA *et al.*, 2008; BITTENCOURT, *et al.*, 2014; ALBUQUERQUE *et al.*, 2015; HAMDÍ *et al.*, 2019).

Ao longo dos anos, o LE vem sendo amplamente utilizado em países desenvolvidos, na forma de fertilizante orgânico e/ou condicionador de solos (CATOLICO *et al.*, 2015). Em relação ao percentual produzido de LE que vem sendo aplicado na agricultura, destaca-se a Austrália, que utiliza 81% desse resíduo em área agrícola, seguida por Luxemburgo (80%), França (75%), Irlanda (70%), Espanha (70%), Reino Unido (65%), EUA (54%), Dinamarca (50%), Portugal (50%) e Alemanha (25%). No Brasil, menos de 3% do lodo de esgoto produzido é destinado ao uso na agricultura (MATOS, 2018).

Nesses países altamente industrializados, a disposição final do LE é gerida por uma logística adequada, considerando os aspectos ambiental e econômico (JANOWSKA *et al.*, 2017). Apesar de existirem alternativas seguras e mais adequadas para o destino final do LE, a maioria das ETEs brasileiras continua enviando esse resíduo para os aterros sanitários (LEITE, 2016; BITTENCOURT, 2018). Por outro lado, a elevada quantidade de lodo, aliada aos altos custos operacionais para o tratamento e a disposição final desse resíduo, fez com que muitas pesquisas fossem realizadas no Brasil com o intuito de viabilizar o uso desse resíduo em áreas agrícolas e florestais. Dessa maneira, a utilização do lodo em solos agrícolas apresenta menor custo quando comparado à incineração ou o descarte em aterro sanitário (LAMAstra; SUCIU; TREVISAN, 2018).

A aplicação do LE como fertilizante tem sido estudada em diversas culturas, como: cana-de-açúcar, eucalipto, feijão, soja, sorgo, milho, feijão, girassol e trigo (NOGUEIRA *et al.*, 2008). Essa fonte alternativa de adubação tem proporcionado à maioria dessas culturas produtividade equivalente ou superior à encontrada nos tratamentos que receberam apenas a adubação mineral (BERTON; NOGUEIRA, 2010). Algumas pesquisas também foram desenvolvidas utilizando o LE como matéria-prima para produção de fertilizantes organominerais (KOMINKO *et al.*, 2018).

Embora a utilização do LE possa trazer benefícios diretamente ao solo e, conseqüentemente, às culturas agrícolas, esse resíduo pode conter contaminantes como os metais pesados, alguns compostos orgânicos e agentes patogênicos (IVANOVÁ *et al.*, 2018; NASCIMENTO *et al.*, 2018). Dessa forma, os agentes patogênicos e os metais pesados são uma das principais razões da preocupação do uso desse resíduo em culturas alimentares (PEDROSA *et al.*, 2017). Existem muitas controvérsias que limitam o uso de lodo no solo, devido à falta de informações sobre os benefícios e os possíveis danos ambientais, como os impactos em várias funções do solo, sendo essas, a biodiversidade do solo, ciclos microbianos de matéria orgânica e nutrientes (SIEBIELEC; SIEBIELEC; LIPSKI, 2018), além da poluição de mananciais e riscos à saúde humana (RASTETTER; GERHARDT, 2017). Como consequência, a utilização do LE na agricultura tem sido alvo de constantes críticas em relação à contaminação do solo e do ambiente, tornando o seu uso ainda mais restrito. Dessa maneira, os órgãos ambientais passaram a exigir projetos que contemplem o gerenciamento do uso agrícola do lodo, como forma de resguardar a saúde humana e o ambiente (CETESB, 1999; CONAMA, 2006). Além do mais, estudos sobre os efeitos a longo prazo do uso do lodo de esgoto também são importantes para monitorar o

pedoambiente e orientar os formuladores de políticas e produtores sobre as melhores práticas para a reutilização do lodo (FLORENTINO *et al.*, 2019).

As constantes aplicações de LE em área agrícolas e florestais têm aumentado as preocupações em relação à disponibilidade de metais pesados no solo e sua transferência para as plantas, tornando crescentes os estudos sobre a dinâmica desses elementos no solo (GOMES *et al.*, 2007; NOGUEIRA *et al.*, 2008; 2010; 2013; MERLINO *et al.*, 2010; BUENO *et al.*, 2011; ZUBA JUNIO *et al.*, 2013; BITTENCOURT *et al.*, 2014; ABREU-JUNIOR *et al.*, 2019; PROTANO *et al.*, 2019). Entretanto, quando a aplicação é realizada com base nos critérios técnicos estabelecidos pela Resolução nº 375 – quantidade de N disponível no lodo e a dose de N requerida pela cultura (CONAMA, 2006), nota-se uma baixa disponibilidade de metais pesados no solo, sendo pouco significativa a quantidade acumulada desses elementos na parte aérea das culturas (BERTON; NOGUEIRA, 2010).

O cálculo das doses de LE para aplicação em solos agrícolas é baseado no fornecimento de N e P. Isso se deve ao fato de esses elementos serem encontrados em maior quantidade no resíduo, além de serem poluentes potenciais de corpos d'água. Porém, a quantidade a ser aplicada, considerando o teor de N, é de difícil determinação, devido às formas desse elemento no lodo e sua dinâmica no solo (BOEIRA; MAXIMILIANO, 2009). Todavia, se esse material for utilizado como fonte de micronutrientes, o volume aplicado será bastante reduzido. Esse fato será importante para viabilizar o uso de lodos que apresentam na sua composição maiores teores de metais pesados. Essa estratégia deverá ser bem vista por parte das agências de controle ambiental, que ainda têm restringido o uso agrícola do lodo e dificultado a aprovação de projetos para esse fim (ABREU JUNIOR *et al.*, 2008; PARADELO; VILLADA; BARRAL, 2011).

A compostagem tem sido uma saída encontrada pelas empresas que gerenciam o lodo de algumas ETES, visando, principalmente, à continuidade da reciclagem do lodo na agricultura (HARGREAVES; ADL; WARMAN, 2008). Essa técnica contribui para evitar a contaminação dos solos agrícolas, uma vez que o processo de compostagem altera a mobilidade dos metais pesados, limitando a sua solubilidade e o potencial biodisponível no solo, além de reduzir a carga patogênica presente no lodo, como a *Enterococcus* e a *Escherichia coli*, que são utilizadas como indicadores de eficácia do pré-tratamento do LE (NOGUEIRA *et al.*, 2007; HE; TIAN; LIANG, 2009; KHALIL *et al.*, 2011; PILNÁČEKA *et al.*, 2019). Portanto, a compostagem do lodo de

esgoto é um método alternativo para o gerenciamento deste resíduo, pois também ajuda a diminuir o seu volume (NGUYEN; SHIMA, 2019).

O processo da compostagem também promove a bioconversão de resíduos orgânicos num produto final estabilizado que permite usos agrícolas (BERNAL; ALBUQUERQUE; MORAL, 2009; YU *et al.*, 2019). Essa prática contempla simultaneamente a mineralização e a humificação realizadas por microrganismos, nos quais o desenvolvimento e atividade ocorrem invariavelmente na fase de dissolução na água (VIEYRA *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2019). A compostagem é um procedimento amplamente utilizado em países nos quais a mecanização em grande escala é altamente desenvolvida. Porém, em países que ainda estão em desenvolvimento, este processo pode envolver problemas relacionados à qualidade final do produto (NGUYEN; SHIMA, 2019).

O crescimento da população mundial e a preocupação com a segurança alimentar também estimularam o uso de fertilizantes. Porém, novas fontes de micronutrientes como o CLE, têm sido utilizadas em função do elevado custo desses fertilizantes e das demais questões ambientais (ALBUQUERQUE *et al.*, 2015; JAKUBUS; BAKINOWSKA, 2018). Nesse cenário, uma pesquisa recente demonstrou que o CLE pode aumentar a produtividade da cultura do arroz e do trigo (RIAZ; MURTAZA; FAROOQ, 2018).

O CLE, dependendo da sua origem, também pode apresentar em sua composição metais pesados. Entretanto, alguns desses elementos (Cu, Fe, Mn, Ni e Zn) são considerados micronutrientes para as plantas. Mesmo sendo absorvidos em pequenas quantidades, esses elementos, juntamente com o B, Cl e MO, têm papel fundamental para a sobrevivência das espécies vegetais, como: ativação de enzimas, formação de parede celular, transporte de sintetizados, fotossíntese, pressão osmótica das células, formação de auxinas, RNA (ácido desoxirribonucleico) e ribossomos, aumento no tamanho e multiplicação celular, crescimento do tubo polínico, etc. (MALAVOLTA, 2006; DECHEN *et al.*, 2018).

2.2 CERRADO BRASILEIRO: ASPECTOS DO SOLO E PRODUÇÃO DA CULTURA DA SOJA E DO MILHO

O Cerrado é o segundo bioma com maior extensão territorial da América do Sul, ocupando uma área de 2.036.448 km² do território brasileiro (cerca de 22% do território nacional), muito rica em variedade de fauna e flora (BRASIL, 2019). A região do

Cerrado brasileiro apresenta uma ampla variedade de classes de solo, sendo 60% dos solos dessa região classificados como LATOSSOLOS (WRB 2006; SOIL SURVEY STAFF 2010; BONINI *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2018). O LATOSSOLO é caracterizado por apresentar horizonte B latossólico antecedido de qualquer tipo de horizonte A superficial dentro dos primeiros 200 ou 300 cm de solo, se o horizonte superficial apresentar mais do que 150 cm de espessura (SANTOS *et al.*, 2018).

Os solos do Cerrado brasileiro são altamente intemperizados e apresentam uma elevada acidez, alta saturação por alumínio e baixa capacidade de troca de cátions, evidenciando assim uma baixa fertilidade natural (LOPES, 1983; LOPES; GUILHERME, 2016). Mesmo não sendo um solo com boa fertilidade, pode ser bastante produtivo quando se faz uso adequado de calcário, fertilizantes minerais e outros insumos (BONINI *et al.*, 2015). Com o decorrer do tempo, estes solos foram utilizados para uma agricultura convencional, que desgasta e empobrece ainda mais estes solos, os quais são naturalmente inférteis (BONETTI *et al.*, 2018). Dessa forma, devido à expansão da agricultura nessas regiões, a fertilização das lavouras com micronutrientes tornou-se uma prática indispensável para a obtenção de altas produtividades (MORAES; ABREU-JUNIOR; LAVRES JUNIOR, 2010), fazendo com que a procura por fontes alternativas de micronutrientes ganhasse espaço no setor agrícola (DOURADO NETO *et al.*, 2015).

Ainda, a exploração intensiva por meio do cultivo de variedades com alto potencial de rendimento (alta demanda por nutrientes), acompanhada de calagens e uso crescente de fertilizantes de alta concentração (menores quantidades de micronutrientes com impurezas), estão levando à deficiência dos micronutrientes no solo (GALRÃO, 2004). Tal fato pode ser verificado por análises de solos e foliares, que são importantes instrumentos para diagnosticar possíveis deficiências de micronutrientes (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007).

Uma vez que esses solos apresentam baixos teores de matéria orgânica e de nutrientes, a utilização de CLE é uma alternativa para melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Dentre os benefícios obtidos, destacam-se a elevação dos valores de pH do solo, do teor de C orgânico e da CTC, o aumento na disponibilidade de nutrientes, as melhorias nas propriedades físicas do solo, o aumento da estabilidade dos agregados e da macroporosidade e a diminuição da resistência à penetração. Entretanto, as melhorias variam de acordo com as características e tipo de solos, além das condições climáticas, do tipo de cultura explorada e da frequência das aplicações do resíduo (BERTON; NOGUEIRA, 2010). Enfim, o uso do CLE na

agricultura, além de favorecer o aumento da produtividade das culturas, é uma excelente escolha para a disposição final deste resíduo de forma sustentável (BERTON; NOGUEIRA, 2010; CAMPOS *et al.*, 2011; NASCIMENTO *et al.*, 2014; PEDROSA *et al.*, 2018).

A produção de alimentos é um desafio a ser cumprido nas próximas décadas, pois a população mundial encontra-se em ritmo alto de natalidade. Projeções demográficas apontam que, em 2100, o número de habitantes chegará a 11 bilhões de pessoas no mundo (UNITED NATIONS, 2019). Portanto, o Brasil se tornará mais responsável em produzir alimentos, fibras e energia. O Cerrado brasileiro tem uma grande importância na produção agrícola do país, concentrado aproximadamente 49% da produção nacional (CONAB, 2018). Esta região agrícola do Brasil – onde vem sendo notado o aumento nas áreas cultivadas nos últimos 30 a 40 anos – é caracterizada como produtora de grãos e fibras (RODRIGUES *et al.*, 2016). Tomando por referência as lavouras de soja e de milho, duas das principais commodities da economia nacional, é preciso considerar que tamanha participação do Cerrado, em especial na quantidade total colhida, deve ao incremento da área plantada, das pesquisas realizadas (p.e. melhoramento genético das plantas) e da adoção de tecnologias, como a correção da acidez do solo e a adubação das culturas. Todavia, apesar dos avanços científicos nessa região, as pesquisas relacionadas ao manejo de resíduos orgânicos no solo, principalmente do lodo de esgoto, ainda são incipientes.

Na safra do ano agrícola 2017/2018, a produção total brasileira de grãos foi estimada em 225,57 milhões de toneladas, com área plantada prevista em 61,01 milhões de hectares. A quantidade de soja foi estimada em 111,56 milhões de toneladas, seguida pelo milho de segunda safra, com 1,17 milhão de hectares, numa estimativa de produção de 63,26 milhões de toneladas (CONAB, 2018). A soja e o milho são culturas versáteis de alto valor econômico, com uma vasta importância na agricultura nacional e na balança comercial. A cultura de soja é considerada uma das principais no mundo; além disso tem sido empregada para diversas finalidades, entre elas, como fonte de alimento para a produção animal e extração de óleo e proteína para a alimentação humana (PINTO *et al.*, 2016). O milho é um dos cereais mais cultivados e possui papel importante para as relações socioeconômicas em várias regiões do mundo (MODESTO, 2014). O milho é consumido *in natura* e também por meio de seus derivados, sendo utilizado na indústria alimentícia, na fabricação de bebidas, na indústria química, na mecânica, em ração animal e na produção de biocombustíveis (CARDOSO *et al.*, 2011).

Estima-se que a região do Cerrado seja responsável por $\approx 60\%$ da produção de soja e de milho no Brasil (LOPES; GUILHERME, 2016). A região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), por exemplo, compreende 71 milhões de hectares de Cerrado e, atualmente, está sendo considerada uma das mais importantes fronteiras agrícolas do país, devido às características de clima, solo e preço das terras. Portanto, estima-se que nessa região a produção de grãos atinja a média de 20 milhões de toneladas nos 10 milhões de hectares ocupados pela agricultura (ROMEIRO *et al.*, 2018). Por outro lado, a maior parte dos relatos referentes à deficiência de micronutrientes, especialmente para B e Zn, refere-se às áreas de baixa fertilidade do solo da região dos Cerrados (BARBOSA FILHO *et al.*, 2001). Assim, o adequado suprimento de micronutrientes para essas culturas, seja por meio de fertilizantes orgânicos ou inorgânicos, é fundamental para o crescimento satisfatório das plantas e a obtenção de altas produtividades.

A cultura da soja e do milho apresenta sensibilidade à deficiência de B, Cu, Mn, Mo e Zn (RESENDE, 2003; FANCELLI, 2010), sendo que a carência de um desses elementos, pode resultar em uma desorganização nos processos metabólicos do vegetal bem como ocasionar a deficiência de um macronutriente (COELHO; FRANÇA, 2013). O fornecimento do CLE para essas culturas talvez possa substituir, pelo menos parcialmente, as quantidades de micronutrientes aplicados via adubo mineral, pois a liberação lenta e gradual desses elementos, oriundos do composto, poderá resultar em melhor aproveitamento dos nutrientes por essas plantas.

2.3 EXTRATORES QUÍMICOS DE MICRONUTRIENTES DO SOLO

A importância dos micronutrientes para as culturas agrícolas no Brasil é conhecida há muito tempo, principalmente na região do Cerrado ou em solos cuja formação é antiga. Os fertilizantes, que são fontes de micronutrientes, podem ser aplicados via foliar ou diretamente no solo. A aplicação via solo é realizada juntamente com a incorporação dos fertilizantes minerais NPK em baixas concentrações (ALCARTE; VALE, 2003).

Objetivando alcançar uma produtividade mais alta, produtores buscam laboratórios que expressem os teores de nutrientes mais adequados, já que o reflexo da análise de solo resulta na decisão de compra do fertilizante. A maior demanda desse serviço surge por meio do aparecimento frequente de inúmeras deficiências nutricionais das plantas, em consequência do uso de solos de baixa fertilidade ou

pastagens, do sistema produtivo agrícola e do uso de variedades mais produtivas com maiores exigências nutricionais (RAIJ *et al.*, 2001; LOMBARDI *et al.*, 2002).

Inúmeros procedimentos e metodologias são utilizados para determinar os teores de nutrientes. Desse modo, a interpretação dos resultados, geralmente, não é uniforme entre os diversos laboratórios (LOMBARDI *et al.*, 2002). No Brasil, existem três métodos oficiais para a determinação de Cu, Fe, Mn e Zn: o ácido dietilenotriamino penta acético (DTPA), adotado no Estado de São Paulo; o ácido clorídrico, usado na região sul, exceto Paraná; e o Mehlich-1, adotado em vários outros Estados como Minas Gerais, Espírito Santo e Goiás (VALLADARES *et al.*, 2009).

A quantificação dos teores de micronutrientes pode ser obtida por diferentes extratores químicos. O objetivo destes é simular a absorção dos micronutrientes disponíveis nas raízes das plantas (SILVA, 1999). Atualmente, os principais extratores são Mehlich-1 e 3, ácido clorídrico, cloreto de cálcio, DTPA, ácido etilenodiamino tetra acético (EDTA) e acetato de amônio. Os extratores químicos podem ser classificados em soluções salinas, ácidas, quelantes, oxidantes/redutoras e mistas (ABREU *et al.* 2007). Portanto, a característica do extrator resultará em uma afinidade maior ou menor com os micronutrientes avaliados. Dessa forma, os resultados dos teores podem apresentar valores diferentes em análises. O DTPA vem sendo empregado desde 1994 com estudos realizados pelo Instituto Agrônomo de Campinas, pois apresenta melhores correlações entre os micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) presentes no solo e os acúmulos nas plantas, sendo um agente quelante adequado para complexar, ou seja, solubilizar os íons que estão no coloide e combinar-se com os íons livres formando complexos solúveis (LOMBARDI *et al.*, 2002).

Outro fator que altera a quantificação do micronutriente é o tipo de solo de acordo com o nível de acidez. Em estudo realizado com o Zn, foi observado que o extrator Mehlich-1 foi mais eficiente em solos mais ácidos e o DTPA em solos mais alcalinos (GALRÃO, 1996). Em estudo realizado com os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 visando à quantificação do B em dois tipos de solo (LATOSSOLO e NEOSSOLO), foi observado que tais extratores não foram tão eficientes quanto o extrator da água quente, método mais utilizado no mundo (MOREIRA *et al.*, 2010).

3 HIPÓTESE

A aplicação do composto de lodo de esgoto em solo de “baixa” fertilidade natural, proporciona melhorias aos atributos químicos, principalmente, nos teores disponíveis de micronutrientes, favorecendo o adequado crescimento e desenvolvimento das culturas de soja e milho, aumentando a produtividade de grãos e reduzindo a quantidade de fertilizantes minerais aplicados.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Objetivou-se, com este estudo: (i) avaliar a viabilidade agronômica do composto de lodo de esgoto como fonte de micronutrientes para as culturas de soja e de milho cultivadas sucessivamente em solo de Cerrado, monitorando os efeitos nos atributos químicos do solo e suas implicações no estado nutricional, no desenvolvimento e na produtividade das culturas e, (ii) identificar o melhor local de aplicação e a dose do composto que seja viável agronomicamente.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

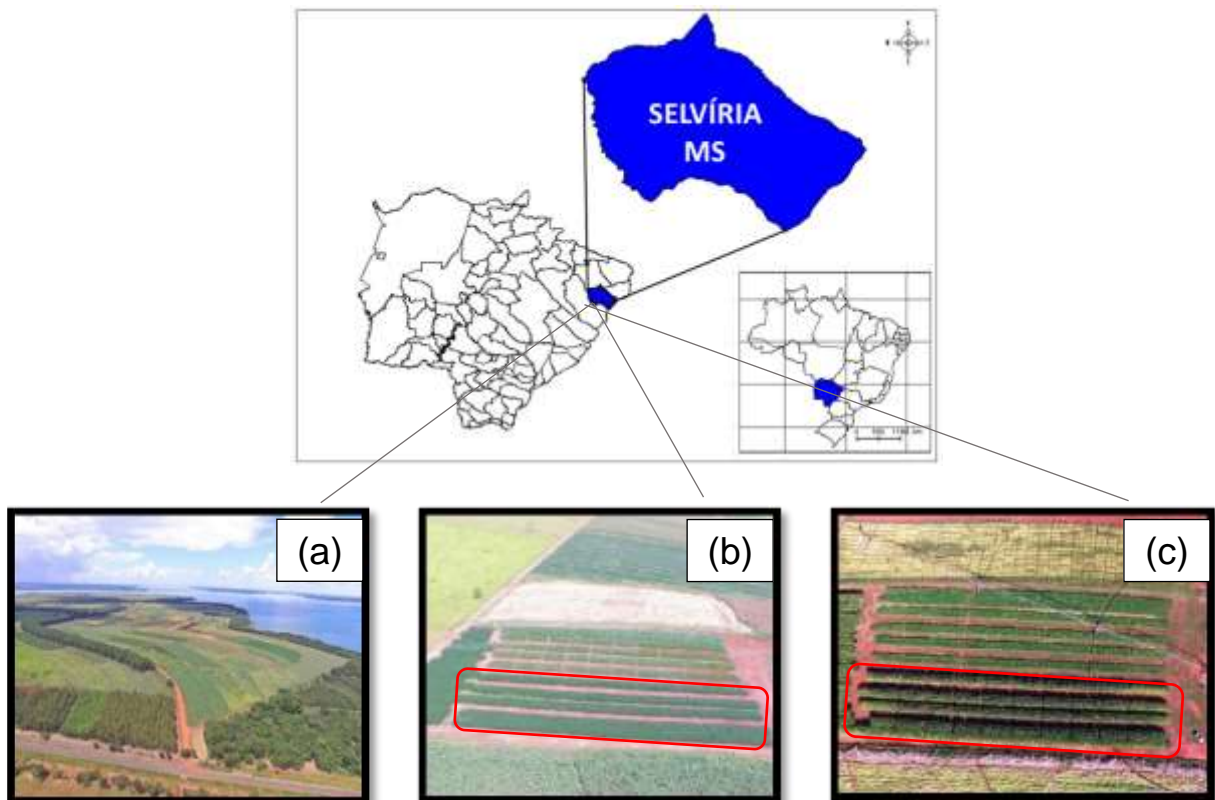
- Avaliar os atributos químicos (M.O., pH, CTC, H+Al, Al, SB, V, P, K, Ca, Mg e S) do solo nas camadas de 0–20 e 20–40 cm de profundidade, após o cultivo das culturas de soja e de milho.
- Determinar os teores disponíveis de B (extrator: água quente) e de Cu, Fe, Mn, Ni e Zn (extratores químicos: DTPA e Mehlich-1).
- *Na cultura da soja*: avaliar, no período de florescimento, o teor relativo de clorofila e o teor foliar de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn. No período de maturação fisiológica (R8), avaliar a altura da planta, a população de plantas, o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem, a massa de 1.000 grãos e a produtividade de grãos.
- *Na cultura do milho*: no período de pleno florescimento, avaliar o teor relativo de clorofila e o teor foliar de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn. Na fase de grãos pastosos, avaliar a altura de plantas, a altura da inserção da espiga e o diâmetro do colmo. No período da colheita, avaliar o número de grãos por espiga, a massa de 1.000 grãos e a produtividade de grãos.
- *Na cultura da soja e do milho*: calcular o acúmulo de nutrientes na palhada, a extração de nutrientes pela parte aérea e a exportação de nutrientes pelos grãos, por meio dos teores e da massa de matéria das culturas, sendo as quantidades extrapoladas para kg ha⁻¹.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi desenvolvido no Setor de Produção Vegetal da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), pertencente à Faculdade de Engenharia da UNESP, no município de Selvíria/MS ($20^{\circ}20'35''$ S e $51^{\circ}24'04''$ W), com altitude de 358m (Figura 1).

Figura 1 - Área experimental localizada no município de Selvíria, estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Unesp, campus de Ilha Solteira (a), área experimental cultivada com a cultura da soja (b) e do milho (c)



Fonte: Próprio autor.

O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso, mediante levantamento detalhado (DEMATTÊ, 1980) e utilizando o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SANTOS *et al.*, 2018). Anteriormente à instalação do experimento, a área experimental foi cultivada com a cultura do milho em sistema convencional e sem irrigação, por aproximadamente 10 anos.

5.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com 10 tratamentos e quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os tratamentos no primeiro ano agrícola (2017/18) foram originados de esquema fatorial $4 \times 2 + 2$, sendo: quatro doses de composto de lodo de esgoto – CLE (5,0; 7,5; 10,0 e 12,5 t ha⁻¹, base úmida), dois modos de aplicação (área total e nas entrelinhas das culturas) e dois tratamentos adicionais (*i.* controle: sem aplicação do CLE e de adubos minerais e *ii.* Adubação mineral convencional: apenas fornecimento de fertilizantes minerais). No ano agrícola 2018/19, referente ao período deste estudo, os tratamentos em doses acumuladas nos dois anos foram de 10, 15, 20 e 25 t ha⁻¹ de CLE, base úmida.

5.3 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO

O 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. A principal matéria prima que compõe o produto é o lodo de esgoto sanitário, cerca de 70% em massa, advindo do tratamento de esgotos sanitários em Jundiaí e municípios vizinhos, tais como: Campinas, Valinhos, Várzea Paulista, Campo Limpo Paulista, Itatiba, Cabreúva, Itupeva, Rio Claro, entre outros. Além do lodo de esgoto, também entra no processo de compostagem, lodos de Sistemas de Tratamento de Águas Residuárias geradas em agroindustriais, tais como cervejarias e indústrias de alimentos, restos de frutas, legumes e verduras, pré e pós consumo, segregados na fonte e coletados de forma diferenciada, restos de produtos alimentícios industrializados e inservíveis, entre outros.

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, também é aditivado, em proporções abaixo de 5 % da massa final do produto, com 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.

Para a caracterização do CLE 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 ponto de vista químico (pH, CTC, MO, C-orgânico, umidade, As, Ba, B, Cd, Ca, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, N, Na, Ni, P, Pb, S, Se e Zn) e microbiológico (coliformes termotolerantes, salmonela e ovos viáveis de helmintos), seguindo as recomendações preconizadas na Resolução nº 375 do Conama (CONAMA, 2006), sendo considerado apropriado para uso nesse estudo (Tabela 1) (Figura 2).

Tabela 1 - Composição química e microbiológica de amostras do composto de lodo de esgoto (Média \pm desvio-padrão; $n = 3$)

Característica	Unidade	2017/18	2018/19	Limite ⁽¹⁾
<i>Química</i>		———— Base úmida ————		
pH _(CaCl₂)	-	7,0 \pm 0,10	7,3 \pm 0,06	-- ⁽²⁾
Umidade (60-65 °C)	%	40,96 \pm 0,26	34,43 \pm 0,53	--
Umidade Total	%	45,46 \pm 0,22	35,77 \pm 0,61	--
Matéria Orgânica Total	g kg ⁻¹	308,65 \pm 9,95	255,0 \pm 7,37	--
Carbono Orgânico	g kg ⁻¹	153,10 \pm 4,80	128,6 \pm 3,57	--
Capacidade de troca C/N	mmol _c dm ⁻³	520 \pm 20,00	--	--
	-	12 \pm 0,81	9 \pm 0,58	--
Nitrogênio Total	g kg ⁻¹	13,85 \pm 0,25	15,3 \pm 1,53	--
Fósforo (P ₂ O ₅) Total	g kg ⁻¹	12,25 \pm 1,35	14,1 \pm 0,00	--
Potássio (K ₂ O) Total	g kg ⁻¹	6,00 \pm 2,20	8,2 \pm 0,38	--
Cálcio (Ca) Total	g kg ⁻¹	19,40 \pm 4,40	31,1 \pm 1,08	--
Magnésio (Mg) Total	g kg ⁻¹	5,20 \pm 0,50	9,9 \pm 0,21	--
Enxofre (S) Total	g kg ⁻¹	4,75 \pm 0,25	8,4 \pm 1,44	--
Sódio (Na) Total	mg kg ⁻¹	3930 \pm 32,00	3915 \pm	--
Arsênio	mg kg ⁻¹	3,15 \pm 1,76	--	20,0
Boro	mg kg ⁻¹	94 \pm 4,52	94 \pm 4,58	--
Cádmio	mg kg ⁻¹	1,00 \pm 0,01	--	3,0
Cobre	mg kg ⁻¹	237 \pm 16,54	1912 \pm 5,77	--
Chumbo	mg kg ⁻¹	18,10 \pm 1,60	--	150,0
Cromo	mg kg ⁻¹	54,25 \pm 1,75	--	--
Ferro	mg kg ⁻¹	16400 \pm 1300	14708 \pm 249	--
Manganês	mg kg ⁻¹	246 \pm 37,00	310 \pm 15,01	--
Mercúrio	mg kg ⁻¹	0,22 \pm 0,09	--	1,0
Molibdênio	mg kg ⁻¹	5,26 \pm 0,23	--	--
Níquel	mg kg ⁻¹	26,52 \pm 0,50	--	70,0
Zinco	mg kg ⁻¹	456 \pm 8,00	684 \pm 7,21	--
<i>Microbiológica</i>				
<i>Salmonella</i> sp.	NMP/10g		Ausente	
<i>Coliforme Termotolerantes</i>	NMP/g		0	
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST		0,12	

(1) Instrução normativa Nº 7 MAPA (2016). (2) Não determinado. NMP = Número mais provável.
Fonte: Próprio autor.

Figura 2 - O composto de lodo de esgoto (CLE) obtido na empresa Tera Ambiental Ltda, localizada em Jundiaí, SP



Fonte: Próprio autor.

5.4 INSTALAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO NO PRIMEIRO ANO AGRÍCOLA (2017/18)

O experimento foi instalado em condições de campo em agosto de 2017. Como plantas-teste, nos anos agrícolas 2017/18 e 2018/19, foram cultivadas em sucessão, as culturas de soja (*Glycine max* L.) na primeira safra e de milho (*Zea mays* L.) na segunda safra. Essas espécies foram escolhidas devido à importância na dieta humana e animal (LEITE *et al.*, 2017). Além de serem plantas que apresentam sensibilidade à deficiência de micronutrientes (ex.: B, Cu, Mo e Zn), especialmente, quando cultivadas em solos de Cerrado, que naturalmente apresentam baixos teores desses elementos (FANCELLI, 2010).

Antes da instalação do experimento e da aplicação dos tratamentos, foram realizadas amostragens do solo nas camadas de 0–20 e 20–40 cm de profundidade para caracterização física (EMBRAPA, 1997) e química (RAIJ *et al.*, 2001) (Tabela 2).

Tabela 2 - Atributos químicos⁽¹⁾ e físicos⁽²⁾ das amostras dos solos utilizados no experimento (Média ± desvio-padrão; $n = 3$)

Atributos	Unidade	Profundidade (cm)	
		0–20	20–40
pH (CaCl ₂)	-	4,5 ± 0,06	4,7 ± 0,06
Matéria orgânica	g dm ⁻³	19 ± 1,16	14 ± 0,58
Fósforo	mg dm ⁻³	16 ± 0,58	9 ± 0,00
Potássio	mmol _c dm ⁻³	1,7 ± 0,17	0,7 ± 0,15
Cálcio	mmol _c dm ⁻³	13 ± 0,58	11 ± 0,58
Magnésio	mmol _c dm ⁻³	12 ± 1,00	10 ± 0,00
Alumínio	mmol _c dm ⁻³	4 ± 0,00	2 ± 0,58
H+Al	mmol _c dm ⁻³	37 ± 2,31	32 ± 1,73
SB	mmol _c dm ⁻³	27,0 ± 1,69	22,1 ± 0,72
S-SO ₄	mg dm ⁻³	15 ± 0,58	8 ± 0,58
CTC	mmol _c dm ⁻³	63,7 ± 0,86	54,1 ± 2,45
V	%	42 ± 3,21	41 ± 0,58
Boro	mg dm ⁻³	0,22 ± 0,04	0,15 ± 0,02
Cobre (DTPA)	mg dm ⁻³	1,8 ± 0,05	1,4 ± 0,10
Cobre (Mehlich-1)	mg dm ⁻³	1,1 ± 0,07	1,2 ± 0,08
Ferro (DTPA)	mg dm ⁻³	15 ± 0,58	8 ± 0,58
Ferro (Mehlich-1)	mg dm ⁻³	32 ± 0,95	34 ± 2,19
Manganês (DTPA)	mg dm ⁻³	18,8 ± 0,59	7,3 ± 0,72
Manganês (Mehlich-1)	mg dm ⁻³	22,4 ± 2,43	12,4 ± 0,42
Zinco (DTPA)	mg dm ⁻³	0,6 ± 0,06	0,2 ± 0,00
Zinco (Mehlich-1)	mg dm ⁻³	0,5 ± 0,03	0,3 ± 0,05
Areia (> 0,05 mm)	g kg ⁻¹	550 ± 13	
Silte (> 0,002 e < 0,05 mm)	g kg ⁻¹	80 ± 3	
Argila (< 0,002 mm)	g kg ⁻¹	370 ± 19	
Textura	-	Argilosa	

Nota: ⁽¹⁾ Raij *et al.* (2001). ⁽²⁾ Embrapa (1997). CTC = Capacidade de troca catiônica. SB = Soma de bases. V = Saturação por bases.

Fonte: Próprio autor.

O preparo inicial da área experimental foi realizado em setembro de 2017, época em que foi realizada uma subsolagem até 30 cm de profundidade. Com base nos resultados da avaliação da fertilidade do solo, foi realizada a calagem (2,2 t ha⁻¹), por meio do calcário agrícola com PRNT de 80%, objetivando elevar a saturação por bases a 70%, sendo metade da dose do calcário aplicada antes da aração e antes da gradagem (Figura 3) (CANTARELLA; RAIJ; CAMARGO, 1997). Em seguida, aplicação de 1,8 t ha⁻¹ de gesso agrícola (RAIJ *et al.*, 1997).

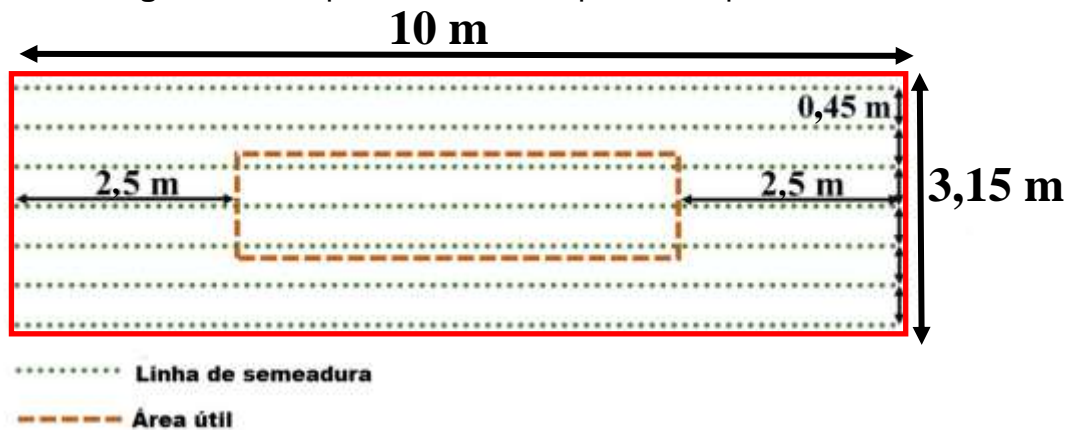
Figura 3 - Neutralização da acidez do solo da área experimental por meio da aplicação de calcário agrícola



Fonte: GENAFERT – FEIS/Unesp.

Cada unidade experimental era constituída por sete linhas da cultura da soja e do milho (espaçadas entre si de 0,45 m) de 10 metros de comprimento, totalizando 3,15 m² por parcela e 1.260 m² de área total. A área útil da parcela para as avaliações será constituída pelas três linhas centrais, sendo eliminados como bordadura 2,5 m de cada extremidade (Figura 4).

Figura 4 - Croqui da área útil na parcela experimental

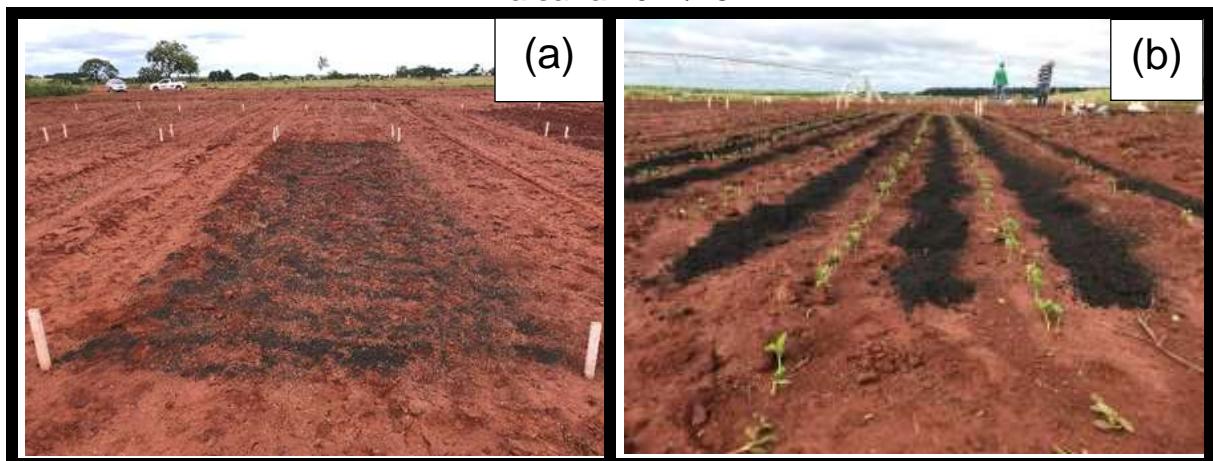


Fonte: GENAFERT – FEIS/Unesp.

5.4.1 Cultura da soja (safra 2017/18)

Antes da aplicação do CLE, aproximadamente 15 dias antes da semeadura, realizou-se a dessecação da cobertura vegetal da área previamente definida mediante a aplicação de herbicida glifosato (1.800 g ha^{-1} do i.a.) e 2,4-D (670 g ha^{-1} do i.a.). Na sequência, em função dos tratamentos, o CLE foi distribuído de forma manual na superfície do solo e sem incorporação, em área total ou nas entrelinhas das plantas de soja, levando-se em conta a umidade do material (45%). A aplicação em área total foi realizada cinco dias antes da semeadura. Já a aplicação do CLE nas entrelinhas da cultura foi realizada sete dias após a semeadura da cultura da soja (Figura 5).

Figura 5 - Aplicação de CLE em área total (a) e nas entrelinhas da cultura da soja (b) na safra 2017/18



Fonte: GENAFERT – FEIS/Unesp.

Anteriormente à semeadura da cultura (Figura 6), foi realizado o tratamento das sementes por meio dos fungicidas tiofanato metílico + piraclostrobina ($5 \text{ g} + 45 \text{ g}$ do i.a. por 100 kg de semente) e do inseticida fipronil (50 g do i.a. por 100 kg de semente). Após a secagem, as sementes foram inoculadas com estirpes: SEMIA 5019 (*Bradyrhizobium elkanii*) e SEMIA 5079 (*Bradyrhizobium japonicum*), garantia de 5×10^9 unidades formadoras de colônias (UFC) por g, na dose de 100 g de turfa para 50 kg de sementes, adicionado 1% de açúcar na calda, dentro de um misturador limpo para incorporar as sementes. Esse procedimento foi realizado uma hora antes da semeadura da soja. Também foi realizada a aplicação nas sementes 200 mL ha^{-1} do fertilizante comercial líquido GeoCoMo, aplicando $2,72 \text{ g ha}^{-1}$ de cobalto (Co) e $27,2 \text{ g ha}^{-1}$ de molibdênio (Mo), aplicações importantes para o desenvolvimento inicial das plântulas e da fixação de N.

Figura 6. Semeadura mecânica da cultura da soja na safra 2017/18



Fonte: GENAFERT – FEIS/Unesp.

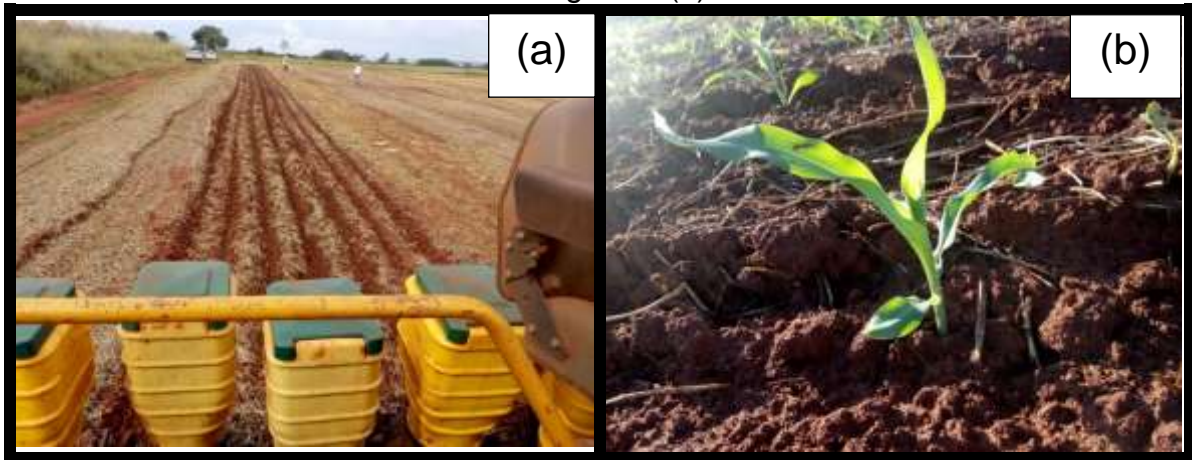
A semeadura foi realizada utilizando o cultivar de soja BMX Potência RR na safra (25/11/17) e do híbrido de milho AG 7098 na safrinha (14/04/18), foram realizadas mecanicamente, com densidade de aproximadamente 400.000 e 73.333 plantas por hectare, conforme recomendação para essas culturas.

Para o cultivo da soja todos os tratamentos com o CLE receberam a complementação mineral para o fornecimento dos macronutrientes levando-se em consideração as análises químicas do solo e as recomendações contidas no Boletim 100 (RAIJ *et al.*, 1997). Para tal, na adubação de semeadura da cultura da soja, foram aplicados 400 kg ha^{-1} da fórmula 04-20-20 (na forma de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio), respectivamente (MASCARENHAS; TANAKA, 1997), o que equivale a 16 kg ha^{-1} de N, 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 80 kg ha^{-1} de K_2O . Apenas nas parcelas referentes ao tratamento com adubação mineral convencional, foram aplicados $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de B usando-se ácido bórico (H_3BO_3) e $5,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn na forma de sulfato de zinco (ZnSO_4).

5.4.2 Cultura do milho (segunda safra 2017/18)

Durante o cultivo do milho, foi avaliado o efeito residual da aplicação do CLE. Antes da semeadura do milho (Figura 7), 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).

Figura 7 - Semeadura mecânica da cultura do milho (a), cultura do milho após a emergência (b)



Fonte: GENAFERT – FEIS/Unesp.

Na adubação de semeadura do milho de segunda safra, foram aplicados 320 kg ha^{-1} da fórmula 08-28-16 (na forma de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio), o que equivale a 26 kg ha^{-1} de N, 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 51 kg ha^{-1} de K_2O . Somente nas parcelas referentes ao tratamento com adubação convencional, foi aplicado $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de B usando-se ácido bórico (H_3BO_3) e $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn na forma de sulfato de zinco (ZnSO_4). Apenas na cultura do milho foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura (dose de 90 kg ha^{-1} de N aplicada na forma de ureia) (DUARTE; CANTARELLA; RAIJ, 1997). Essa adubação foi realizada aproximadamente 25 dias após a germinação das plantas.

A aplicação da ureia foi feita de forma manual, distribuindo-se o fertilizante sobre a superfície do solo, sem incorporação, ao lado e aproximadamente a 8 cm das linhas de semeadura, a fim de se evitar o contato do fertilizante com as plantas. Após a adubação de cobertura, a área foi irrigada via pivô central (lâmina de 14 mm) para minimizar as perdas de N por volatilização (Figura 8).

Figura 8 - Adubação nitrogenada de cobertura realizada na cultura do milho



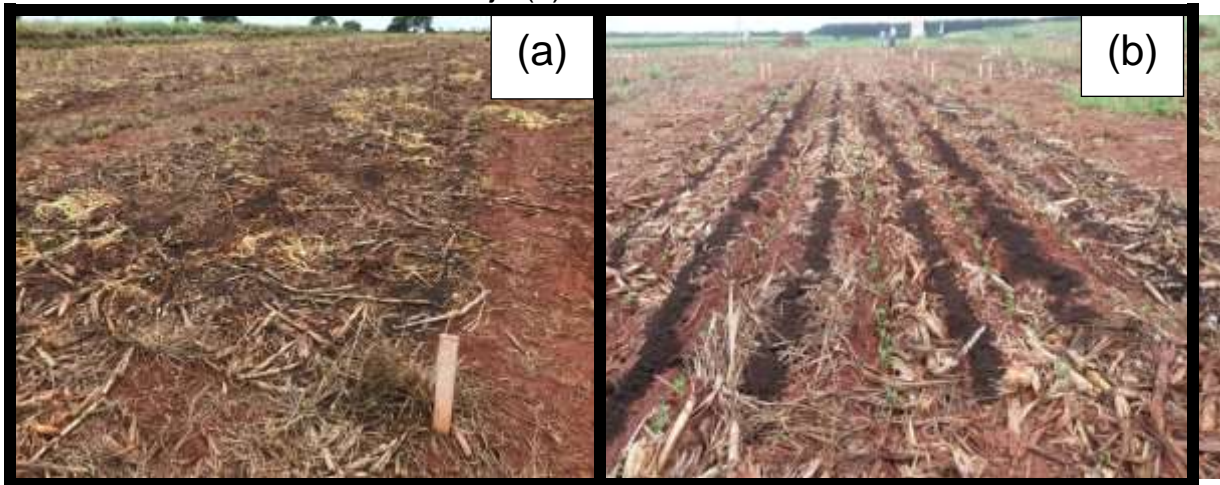
Fonte: Próprio autor.

5.5 DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO NO SEGUNDO ANO AGRÍCOLA (2018/19)

5.5.1 Cultura da soja (safra 2018/19)

Antes da aplicação do CLE foi realizada a dessecação da área experimental de forma semelhante à que foi praticada na safra 2017/18. Antes da semeadura da soja, as parcelas receberam a segunda aplicação do CLE (ver doses acumuladas no item 3.2.), quando o composto foi distribuído de forma manual na superfície do solo e sem incorporação, em área total e nas entrelinhas da cultura (Umidade 35%). A aplicação, em área total e nas entrelinhas, foi realizada um dia antes e sete dias depois da semeadura da soja, respectivamente, levando-se em conta a umidade do material (Figura 9).

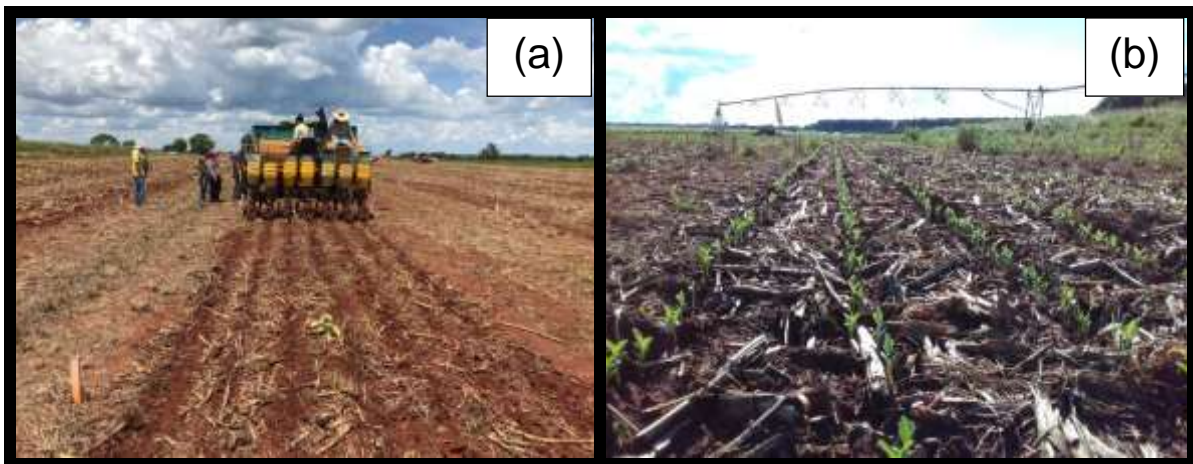
Figura 9 - Aplicação de CLE em área total (a) e nas entrelinhas da cultura da soja (b) na safra 2018/19



Fonte: próprio autor.

Foi utilizado o mesmo cultivar de soja (BMX Potência RR): semeado mecanicamente (03/11/2018) sobre a palhada do milho, mantendo a mesma densidade populacional do primeiro ano (Figura 10). No dia da semeadura, foi realizado também o tratamento de sementes e a inoculação com *Bradyrhizobium* spp (ver item 5.4.1).

Figura 10 - Semeadura mecanizada da soja (a) e emergência da cultura (b)



Fonte: Próprio autor.

Em relação à adubação, os tratamentos com o CLE também receberam a complementação mineral para o fornecimento dos macronutrientes, levando-se em consideração as análises químicas do solo referentes às amostras de solo coletados após o ciclo do milho do primeiro ano, seguindo as recomendações contidas no Boletim 100 (RAIJ *et al.*, 1997). Dessa forma, foram aplicados 400 kg ha^{-1} da fórmula 04-20-20 (na forma de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio), respectivamente (MASCARENHAS; TANAKA, 1997), o que equivale a 16 kg ha^{-1} de N, 80 kg ha^{-1} de

P_2O_5 e 80 kg ha^{-1} de K_2O . Apenas nas parcelas referentes ao tratamento com adubação mineral convencional, foi aplicado $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de B usando-se ácido bórico (H_3BO_3). Todavia, para esse cultivo, não foi necessário o fornecimento de outros micronutrientes.

Aos 24 dias após a semeadura, em V4, foi realizada a dessecação das plantas daninhas. Para tal, foi aplicado herbicida gramínico Glifosato (720 g do i.a.), e também um herbicida latifoliar Chlorimuron-ethyl (na concentração de $7,5 \text{ g do i.a.}$). Para a aplicação do herbicida, utilizou-se um trator equipado com pulverizador, com capacidade de 600 L , com barras de 6 m equipadas com bicos tipo leque, espaçados de $0,5 \text{ m}$ e calibrado para aplicação de volume de 200 L ha^{-1} de calda.

Foi realizada uma aplicação preventiva, aos 46 dias após a semeadura (R1), do fungicida Picoxistrobina + Ciproconazol ($28 \text{ g} + 70 \text{ g do i.a.}$), e também os inseticidas Metomil (129 g do i.a.) e Clorantraniliprole (12 g do i.a.). Para a aplicação dos defensivos fitossanitários, utilizou-se um trator equipado com pulverizador, com capacidade de 600 L , com barras de 6 m equipadas com bicos tipo leque, espaçados de $0,5 \text{ m}$ e calibrado para aplicação de volume de 200 L ha^{-1} de calda.

Assim como nos cultivos anteriores, a cultura da soja recebeu irrigação suplementar fornecida via pivô central, com acompanhamento periódico (Figura 11) para atender às recomendações técnicas exigidas pela cultura.

Figura 11 - Cultura da soja em diferentes fases de desenvolvimento na safra 2018/19

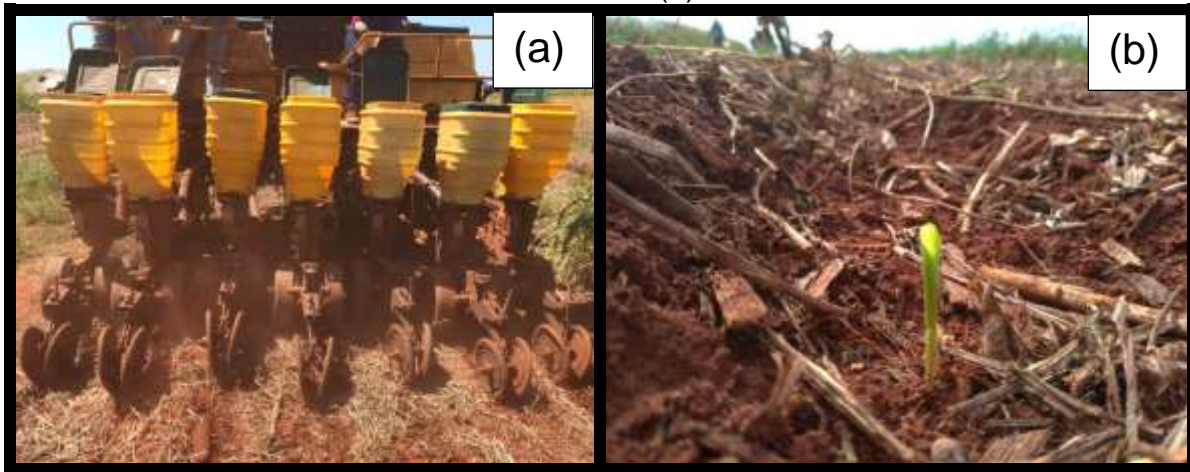


Fonte: Próprio autor.

5.5.2 Cultura do milho (segunda safra 2018/19)

Assim como no primeiro ano agrícola, a cultura do milho foi cultivada para avaliar o efeito residual da aplicação do CLE, foi utilizado o cultivar AG 7098; a escolha do material é em resposta às ótimas características agronômicas, principalmente a tolerância de doenças como cercospora, turcicum, giberella e, principalmente, o enfezamento, doença comum na área do experimento. Para o produtor, a produtividade é também um dos fatores para escolha e, na região do Cerrado, o milho AG 7098, em experimento, alcançou altas produtividades (SERAGUZI, 2016). A semeadura foi realizada mecanicamente no dia 30/04/2019, por meio da semeadura direta sobre os restos culturais da soja. Foi realizado o tratamento de sementes com 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) (Figura 12).

Figura 12 - Semeadura mecanizada do milho (a) e emergência das plantas de milho (b)



Fonte: Próprio autor.

Após o cultivo da cultura do soja, foi realizada amostragem do solo para análise de fertilidade. De acordo com os resultados obtidos das parcelas com adubação convencional, foram aplicados 320 kg ha^{-1} da fórmula 08-28-16 (na forma de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio) na sementeira, que equivalem a 26 kg ha^{-1} de N, 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 51 kg ha^{-1} de K_2O . Somente nas parcelas referentes ao tratamento com adubação convencional, foi aplicado $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de boro na forma de ácido bórico (H_3BO_3). Conforme resultados da análise do solo, não houve necessidade de aplicação de Zn. No estágio V6, foi realizada adubação nitrogenada de cobertura, sendo aplicada a dose de 90 kg ha^{-1} de N, na forma de ureia (DUARTE; CANTARELLA; RAIJ, 1997), conforme descrito anteriormente.

Aos 18 dias após a sementeira, em V5, foi realizado o controle das plantas daninhas. Para tal, foi aplicado herbicida Tembotriona (41 g do i.a) e Atrazina (400 g do i.a). Para prevenir o surgimento da doença conhecida como “enfazamento do milho”, causada pelo inseto vetor cigarrinha-do-milho, com o nome científico de *Dalbulus maidis*, foram feitas duas aplicações de Pirite ($160 \text{ g do produto comercial}$) e duas aplicações de Sperto ($60 \text{ g do produto comercial}$), realizadas de forma intercalada, começando aos 18 dias após a sementeira.

Para o controle da lagarta do cartucho, foram aplicados os inseticidas Metomil (129 g do i.a) e Clortraniliprole (12 g do i.a). Também para aplicação de todos os produtos, utilizou-se um trator equipado com pulverizador, com capacidade de 600 L , com barras de 6 m equipadas com bicos tipo leque, espaçados de $0,5 \text{ m}$ e calibrado para aplicação de volume de 200 L ha^{-1} de calda.

Nessa segunda safra, o monitoramento da irrigação e do manejo fitossanitário, foi realizado de acordo com os cultivos anteriores e conforme as recomendações técnicas para a cultura na região (Figura 13).

Figura 13 - Vista geral do desenvolvimento da cultura do milho nas parcelas experimentais

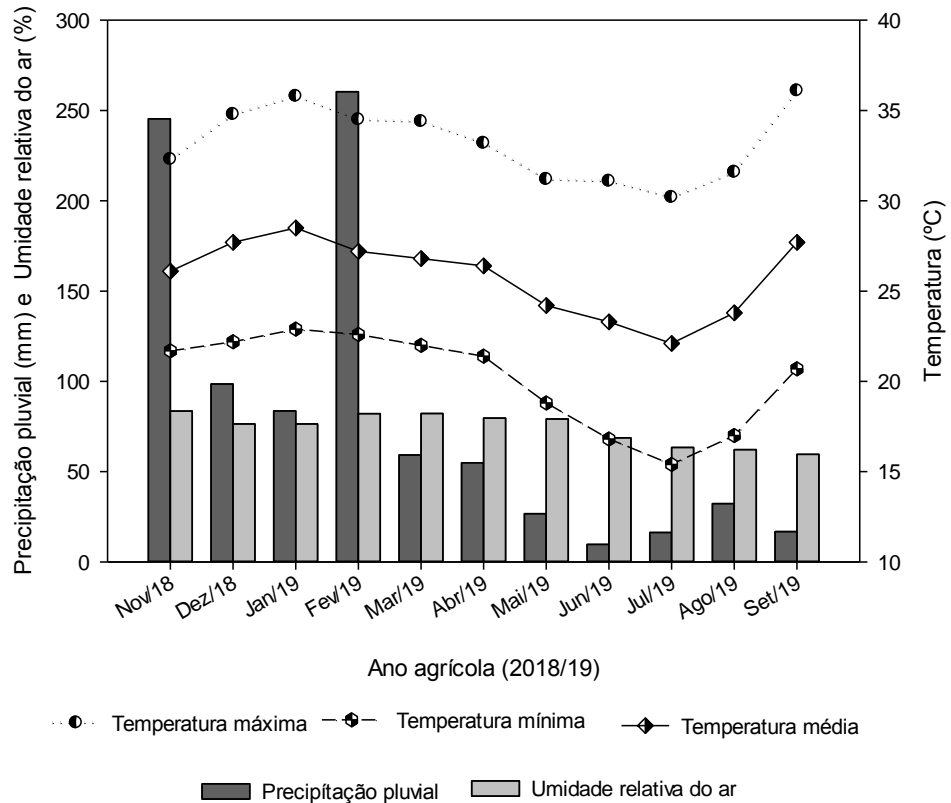


Fonte: Próprio autor.

5.5.3 Informações climáticas do segundo ano agrícola (2018/19)

Os dados climáticos (temperaturas média, máxima e mínima, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar) foram registrados durante o desenvolvimento das culturas no ano agrícola referente aos resultados apresentados neste estudo (Figura 14).

Figura 14 - Precipitação pluvial, umidade relativa do ar, temperaturas média, máxima e mínima obtidas durante o cultivo das culturas de soja e milho no ano agrícola 2018/19



Fonte: Próprio autor.

5.6 PARÂMETROS AVALIADOS NO SEGUNDO ANO AGRÍCOLA (2018/19)

5.6.1 Solo

Foi realizada a amostragem do solo nas camadas 0–20 e 20–40 cm de profundidade, no final do ciclo de cada cultura, dentro da área útil de cada parcela. Foram coletadas cinco subamostras por parcela, aleatoriamente, nas entrelinhas das culturas, para compor uma amostra composta por meio de um amostrador mecânico (marca Still) (Figura 15).

Figura 15 - Amostragem do solo realizada ao final do ciclo das culturas



Fonte: Próprio autor.

a) Avaliação dos atributos químicos

Os atributos químicos do solo foram avaliados conforme os protocolos analíticos descritos em Raij *et al.* (2001). Dessa forma, os valores de pH foram determinados potenciometricamente em suspensões de terra fina seca ao ar (TFSA) em solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ na proporção solo-solução de 1:2,5. A matéria orgânica foi determinada após oxidação com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em presença de H_2SO_4 e titulação do excesso de dicromato com a solução de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ $0,4 \text{ mol L}^{-1}$. O alumínio trocável (Al^{+3}) foi extraído com 1 mol L^{-1} e depois titulado com NaOH - $0,025 \text{ mol L}^{-1}$. O cálcio (Ca^{+2}) e magnésio (Mg^{+2}) trocável foram extraídos por resina trocadora de íons e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (EAA). O potássio (K^+) trocável e o fósforo (P) foram extraídos também por resina, sendo o K^+ determinado por fotometria de chama e o P por colorimetria. A acidez potencial (H+Al) foi estimada pelo método do pH SMP. O enxofre foi extraído por solução de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e, posteriormente, a medição da turbidez formada pela precipitação do sulfato pelo cloreto

de bário, em colorimetria. 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.

b) Teores disponíveis de micronutrientes no solo

Os teores disponíveis de Cu, Fe, Mn, Ni e Zn no solo foram obtidos por meio dos extratores químicos DTPA em pH 7,3 (ABREU *et al.*, 2001a) e Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997), sendo estes elementos quantificados por espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-AES) – Modelo Varian Vista-MPX, Varian, CA, EUA, com respectivos comprimentos de onda em nm: Cu = 324,7; Fe = 259,9; Mn = 257,6; Ni = 232,0 e Zn = 206,2. O limite de detecção para os elementos analisados foi estabelecido pela leitura do branco da amostra (areia lavada) sete vezes e calculada pela fórmula: $LD = 3.s$, onde s é o desvio padrão. Desse modo, apenas os teores de Ni no solo ($0,5 \text{ mg dm}^{-3}$) e na planta ($0,1 \text{ mg kg}^{-1}$) ficaram abaixo do limite de detecção. O teor de B no solo foi avaliado por meio de extração com cloreto de bário, usando aquecimento com forno de micro-ondas e quantificado em espectrofotômetro UV-VIS (Modelo Varian Cary-50, Varian, Victoria, Australia) a 420 nm (ABREU *et al.*, 2001b).

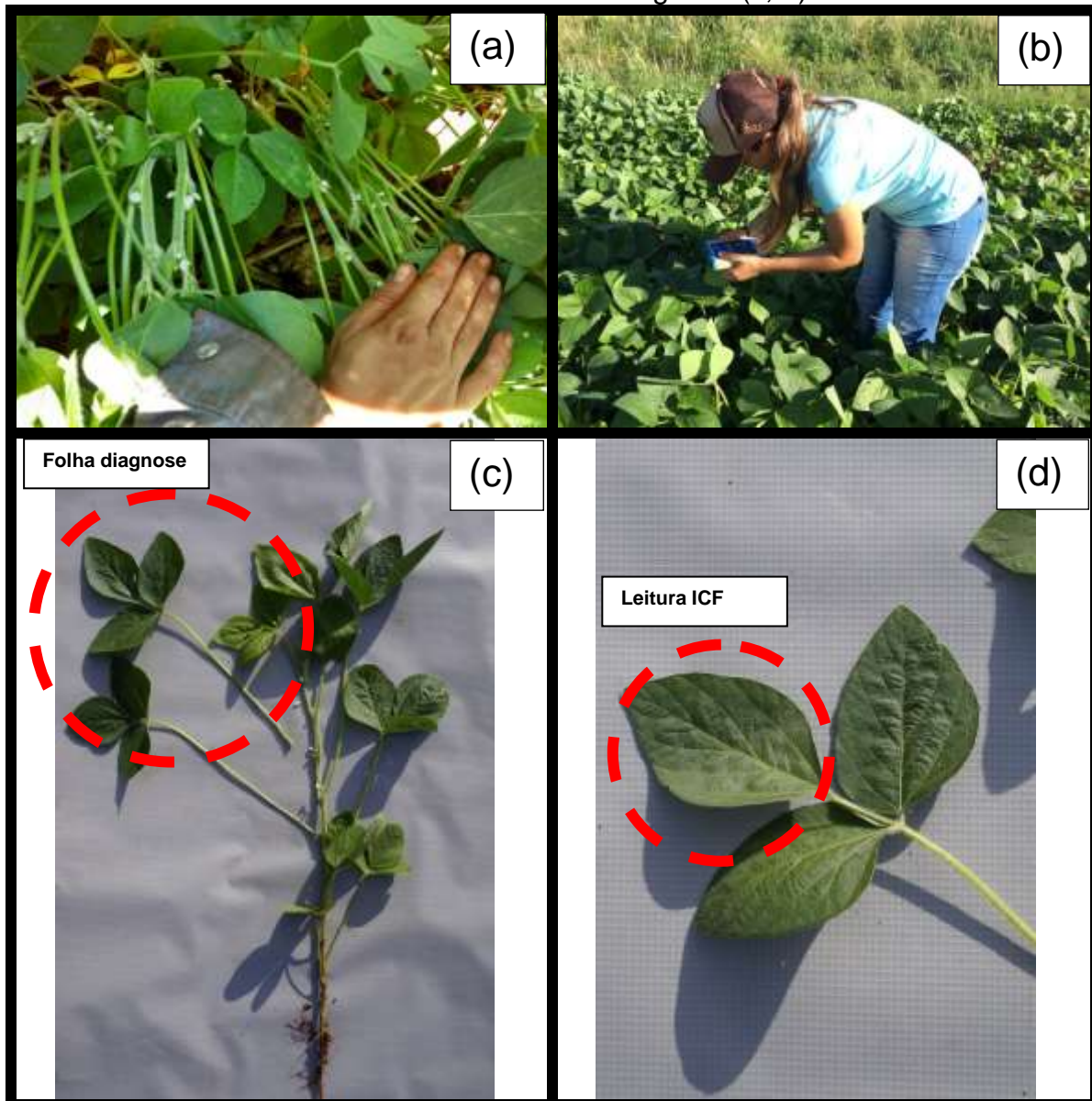
5.6.2 Planta

a) Cultura da soja

Por ocasião do florescimento pleno da cultura da soja, foram coletados aleatoriamente 30 trifólios com pecíolos por parcela (terceiras folhas, completamente desenvolvidas, a partir do ápice da haste principal para a base), para avaliar o estado nutricional das plantas, conforme recomendações de Ambrosano *et al.* (1997). Após a lavagem, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação forçada de ar, mantida a 65°C por 72 h. Esse mesmo material foi submetido à digestão por via úmida, com ácido nítrico (HNO_3) e ácido perclórico (HClO_4) (MALAVOLTA *et al.*, 1997) para a determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn; digestão com ácido sulfúrico para determinação do teor de N e, por fim, digestão por via seca (incineração em mufla) para a determinação do B. Neste mesmo estágio (R2), também foi avaliado o teor relativo de clorofila por meio do Índice de Clorofila Falker (ICF), utilizando equipamento portátil (ClorofiLOG, modelo CFL 1030

da marca Falker, Porto Alegre, RS, Brasil). As leituras foram feitas no terceiro trifólio completamente desenvolvido, a partir do ápice da planta, em 10 plantas por parcela (Figura 16), no período da manhã.

Figura 16 - Cultura da soja no estágio de florescimento pleno (a), leituras de ICF (b) e coleta das folhas diagnose (c; d)



Fonte: Próprio autor.

Após a maturidade fisiológica, foi obtida a altura das plantas (cm), avaliando 10 plantas aleatórias por parcela, medindo a distância do nível do solo ao ápice do primeiro trifólio, além da altura da inserção da primeira vagem. No mesmo estágio, foram coletadas aleatoriamente 10 plantas por unidade experimental para avaliar os componentes da produção: número de vagens por planta; número de grãos por vagem;

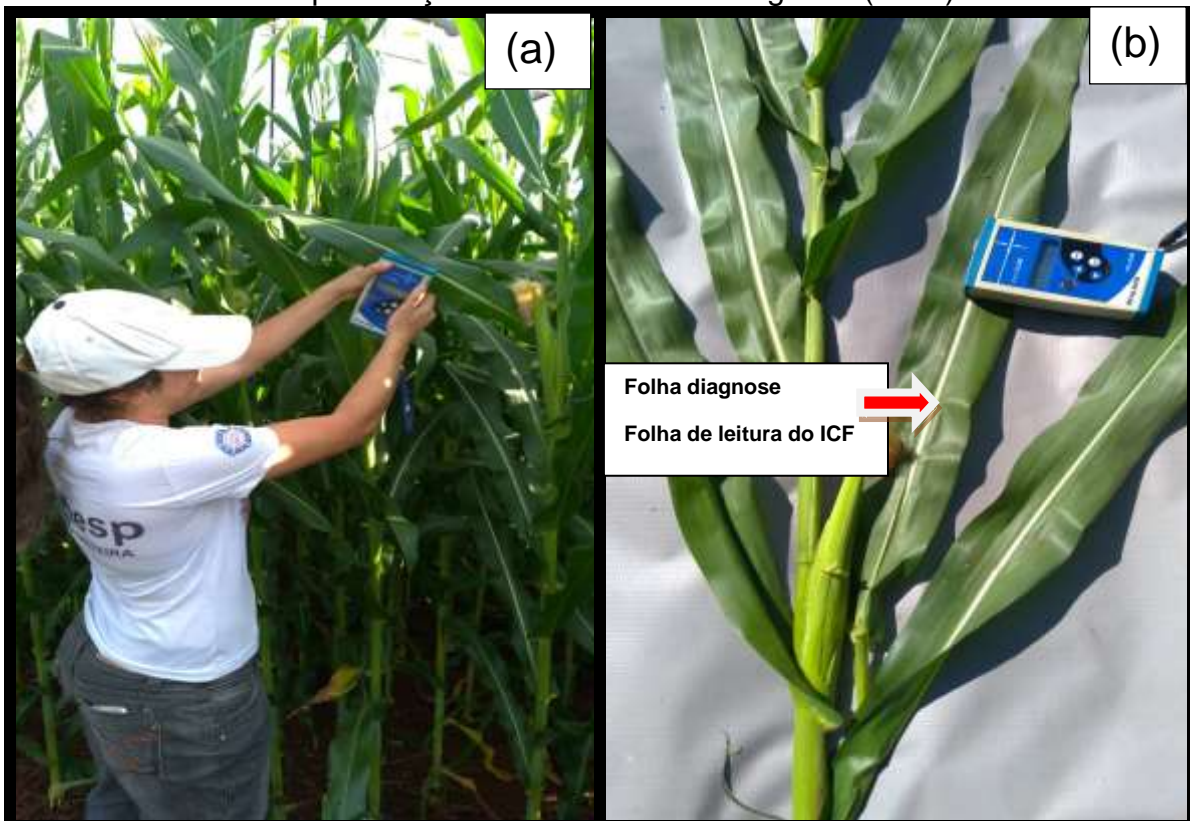
população final de plantas, altura de plantas, altura de inserção das primeiras vagens e massa de 1.000 grãos.

Para estimar a produtividade de grãos, todas as plantas da área útil da parcela foram colhidas manualmente, trilhadas mecanicamente, pesadas e, posteriormente, realizaram-se os cálculos com extrapolação para kg ha^{-1} e corrigidos para o teor de 13% de umidade (base úmida).

b) Cultura do milho

No início do florescimento e polinização, foi avaliado o teor relativo de clorofila nas folhas por meio do Índice de Clorofila Falker (ICF), utilizando o ClorofiLOG. Para tal, foram escolhidas 10 plantas nas linhas da área útil de cada parcela, para a realização das leituras a partir do terço médio da folha da base da espiga. Nessa mesma época, foram coletados em 10 plantas, o terço médio da folha da base da espiga (folha diagnose) dentro da parcela útil (RAIJ, 2011) para, posteriormente, realizar as determinações dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn, conforme metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997) (Figura 17).

Figura 17 - Leitura do ICF nas folhas do milho no início do florescimento e da polinização e coleta da folha diagnose (a e b)



Fonte: Próprio autor.

Quando a maioria das plantas apresentavam espigas com grãos pastosos, foram avaliados: altura das plantas, altura da inserção da espiga principal e diâmetro do colmo de vinte plantas consecutivas, na área útil de cada parcela, expressados em centímetros (PORTUGAL, 2015). A altura da planta foi obtida medindo-se, com auxílio de uma régua graduada, a distância entre o colo da planta e a inserção da última folha (folha bandeira). Para a altura da inserção da espiga, também com auxílio de uma régua graduada, foi medida a distância entre o colo da planta e a inserção da espiga principal. Para a obtenção do diâmetro do colmo, foi realizada uma medida no primeiro entrenó acima do solo, com o auxílio de um paquímetro digital, no sentido de disposição das folhas.

No estádio R6, foram coletadas aleatoriamente, de forma manual, dez espigas dentro da área útil da parcela, para a determinação do número de grãos por espiga. O número de grãos por espiga foi avaliado por meio da contagem do número de fileiras de grãos e do número de grãos por fileiras, obtendo-se o valor médio.

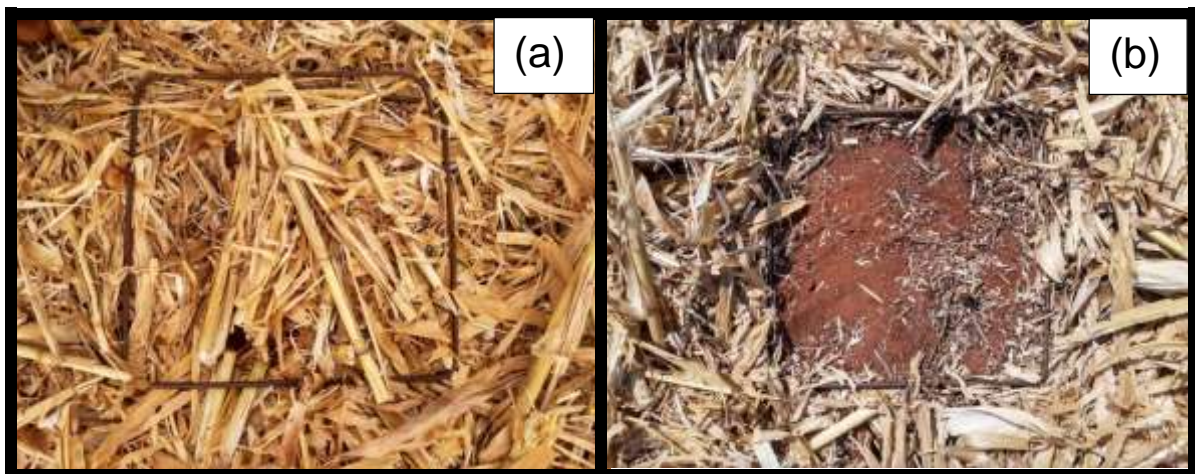
A produtividade de grãos foi obtida por meio da pesagem dos grãos de todas as espigas colhidas na área útil da parcela, corrigindo a umidade para 13% e transformando os dados em kg ha^{-1} . A massa de 1.000 grãos foi avaliada por meio de duas amostragens de mil grãos por parcela da produtividade obtida, com posterior pesagem em balança digital e a transformação dos dados para 13% de umidade.

c) Extração, exportação e acúmulo de nutrientes na palhada

Para obtenção da extração de nutrientes, por ocasião da maturação fisiológica das culturas, foram coletadas ao acaso por parcela 10 plantas de soja e cinco plantas de milho na área útil da parcela. Após a coleta, esses materiais foram devidamente identificados, secados e pesados para obtenção da massa de matéria seca total da parte aérea (excluindo os grãos de soja e de milho). A exportação de nutrientes foi avaliada por meio dos grãos coletados por ocasião da colheita. A palhada seca das plantas, depositada na superfície do solo, foi coletada ao final do cultivo das culturas para a obtenção da massa dos resíduos vegetais secos. Para tal, foram realizadas quatro coletas ao acaso por parcela utilizando um quadrado de ferro com dimensões de $50,0 \times 50,0 \text{ cm}$ ($0,25 \text{ m}^2$) recolhendo-se resíduos vegetais que estavam sobre o solo (CRUSCIOL *et al.*, 2005) (Figura 18). Todo material vegetal amostrado corresponde a cada parcela do campo, foi seco em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65°C por 72 h, pesado para obtenção da matéria seca, triturado em moinho tipo

Willey e armazenados até o momento das análises. Nessas amostras, foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn, conforme metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997). Com base nos teores e na massa de matéria seca dos respectivos tratamentos, foram calculados o acúmulo de nutrientes na palhada, a extração de nutrientes pela parte aérea e a exportação de nutrientes pelos grãos, sendo as quantidades extrapoladas para kg ha^{-1} .

Figura 18 - Amostragem da palhada no fim do cultivo da cultura do milho (a e b)



Fonte: Próprio autor.

5.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo aplicado o teste de Tukey ($P < 0,05$), nos casos em que o teste F foi significativo entre as doses de CLE aplicadas e o modo de aplicação. Ainda, por meio do teste de Dunnett ($P < 0,05$), foram verificadas as diferenças entre as doses de CLE e os tratamentos adicionais dentro de cada modo de aplicação do composto. Foram, também, realizados estudos de regressão polinomial para as interações significativas e/ou efeitos de doses do CLE e as análises de correlação de Pearson para os atributos avaliados. A análise estatística foi realizada por meio do programa SAS (SAS INSTITUTE INC., 2008).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Para os atributos químicos avaliados após o cultivo da cultura da soja na camada 0–20 cm de profundidade, verificou-se interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para: pH, acidez potencial, SB e V% (Tabela 3). Nesse sentido, notou-se que a aplicação do CLE, em área total, proveu ajuste quadrático positivo para o pH e SB, sendo as doses de 20,5 e 24,4 t ha⁻¹, as que proporcionaram maior valor de pH (5,6) e de SB (51,2 mmol_c dm⁻³), respectivamente (Apêndice A).

Ainda em relação à aplicação do CLE em área total, notou-se aumento linear na acidez potencial. Já para a aplicação do CLE nas entrelinhas, houve um ajuste quadrático positivo para a M.O., no qual a dose de 19,4 t ha⁻¹ foi a que proporcionou a maior quantidade de M.O. (19,5 g dm⁻³). Verificou-se também um aumento linear para os valores de pH, com respectivo decréscimo na acidez potencial e diminuição dos teores de Al, em função do aumento das doses de CLE (Apêndice A; Tabela 3).

Mesmo não havendo interação para a CTC, houve efeito de doses com ajuste quadrático positivo, sendo a dose de 20,3 t ha⁻¹ de CLE (base úmida) a que proporcionou o maior valor de CTC (69,2 mmol_c dm⁻³) (Figura 19).

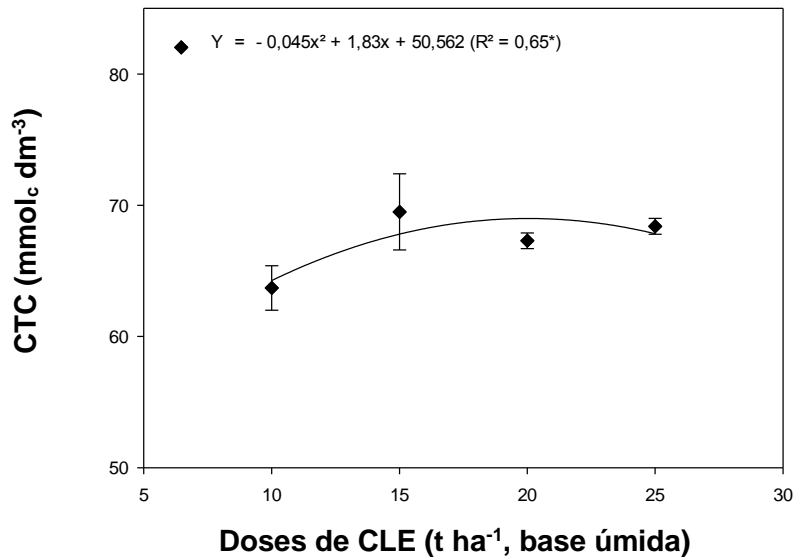
Os valores dos atributos químicos, após o cultivo da cultura da soja na camada arável (0–20 cm de profundidade), para os tratamentos adicionais, foram de: tratamento controle = MO (16,8), pH (5,2), H + Al (25,0), Al⁺³ (0,2) e SB (33,2), V (57,0) e CTC (58,2) e tratamentos que receberam a adubação mineral convencional = MO (16,8), pH (5,2), H + Al (25,0), Al (0,0) e SB (35,9), V (59,0) e CTC (60,9) (Tabela 3). Observou-se também que houve mudança de classe para pH e V dos tratamentos adicionais em comparação à análise inicial da área experimental. Pôde-se notar que o valor de pH saiu de muito ácido para médio e a saturação por bases de baixa para média (RAIJ *et al.*, 2001). Tal fato pode estar relacionado ao efeito da calagem realizada no solo para elevar o V antes da instalação do experimento, diminuindo a atividade de íons H⁺ (YAN *et al.*, 1996).

Tabela 3 - Atributos químicos do solo, em duas profundidades, após o cultivo da cultura da soja em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE

Tratamento	MO		pH		H + AI		AI		SB		V		CTC	
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL
	g dm ⁻³		CaCl ₂		mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		%		mmol _c dm ⁻³	
	0-20 cm													
Controle	16,8 ^x		5,2 ^x		25,0 ^x		0,2 ^x		33,2 ^x		57,0 ^x		58,2 ^x	
Adução mineral convencional	16,8 ^x		5,2 ^x		25,0 ^x		0,0 ^x		35,9 ^{x#}		59,0 [#]		60,9 [#]	MD
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	17,8 ^x	17,8 ^x	5,4 aA ^x	5,2 cB ^x	23,0 bB ^x	26,8 aA ^x	0,0 ^x	0,0 ^x	38,5 aA [#]	39,5 cA [#]	62,2 aA ^{x#}	59,8 bA ^{x#}	61,5 ^{x#}	66,0 [#] 63,7 b
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	18,8	18,2 ^x	5,5 aA	5,3 bcB ^x	24,2 abA ^x	25,0 aA ^x	0,0 ^x	0,2 ^x	43,2 aA	46,6 abA	63,8 aA [#]	65,0 abA	67,4	71,6 69,5 a
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	18,0 ^x	20,0	5,5 aA	5,5 abA	25,0 abA ^x	25,2 aA ^x	0,0 ^x	0,0 ^x	42,7 aA	41,5 bcA [#]	63,0 aA [#]	62,2 bA ^{x#}	67,7	66,8 67,2 ab
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	18,2 ^x	18,2 ^x	5,4 aB	5,6 aA	26,8 aA ^x	21,0 bB	0,0 ^x	0,0 ^x	40,4 aB [#]	48,7 aA	60,2 aB ^{x#}	69,8 aA	66,9	70,0 68,4 a
Teste F														
Modos de Aplicação (MA)	0,98 ^{NS}		3,83 ^{NS}		0,10 ^{NS}		0,70 ^{NS}		7,96 ^{**}		3,54 ^{NS}		8,63 ^{**}	
Doses de CLE (base úmida)	1,88 ^{NS}		7,71 ^{**}		0,65 ^{NS}		0,70 ^{NS}		7,19 ^{**}		3,29 [*]		7,30 ^{**}	
(MA) x (CLE)	2,13 ^{NS}		5,77 ^{**}		10,49 ^{**}		0,70 ^{NS}		4,00 [*]		7,10 ^{**}		1,78 ^{NS}	
CV (%)	5,9		1,8		6,8		30,0		7,0		4,5		4,0	
	20-40 cm													
Controle	14,8 ^x		5,0 ^x		26,0 ^x		1,2 ^x		24,3 ^x		48,2 ^x		50,3 ^x	
Adução mineral convencional	14,8 ^x		5,2 ^x		25,0 ^{x#}		0,8 ^x		27,2 ^{x#}		52,0 ^{x#}		52,2 ^{x#}	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	15,2 bB	16,8 aA	5,1 ^x	5,1 ^x	25,0 aB ^{x#}	28,0 bA ^x	1,0 ^x	1,0 ^x	27,2 bB ^{x#}	31,8 aA	52,0 bA ^{x#}	53,2 bA [#]	52,2 bB ^{x#}	59,8 aA
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	17,2 aA	16,0 abB	5,2 ^x	5,0 ^x	25,0 aB ^{x#}	31,0 aA	0,8 ^x	0,2 ^x	35,9 aA	31,1 aB	58,8 aA	50,0 bB ^{x#}	60,9 aA	62,1 aA
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	15,8 bA ^x	16,8 aA	5,0 ^x	5,1 ^x	25,0 aB ^{x#}	29,8 abA	1,2 ^x	0,8 ^x	26,7 bB ^{x#}	30,3 aA [#]	51,8 bA ^{x#}	50,8 bA ^{x#}	51,7 bB ^{x#}	59,8 aA
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	16,0 abA	14,8 bB ^x	5,1 ^x	5,1 ^x	25,0 aA ^{x#}	21,0 cB	0,8 ^x	1,2 ^x	29,9 bA [#]	32,4 aA	54,2 bB [#]	60,8 aA	54,9 bA [#]	53,4 bA ^{x#}
Teste F														
Modos de Aplicação (MA)	0,00 ^{NS}		0,06 ^{NS}		24,74 ^{**}		0,39 ^{NS}		4,85 [*]		0,37 ^{NS}		25,13 ^{**}	
Doses de CLE (base úmida)	4,32 [*]		0,10 ^{NS}		20,75 ^{**}		0,86 ^{NS}		10,25 ^{**}		10,80 ^{**}		17,16 ^{**}	
(MA) x (CLE)	8,32 ^{**}		1,05 ^{NS}		20,75 ^{**}		0,16 ^{NS}		9,90 ^{**}		14,88 ^{**}		9,50 ^{**}	
CV (%)	4,5		2,8		5,3		30,0		6,5		4,4		3,9	

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúscula para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. x, # Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). SB = Soma de bases. V = Saturação por bases. CTC = Capacidade de troca catiônica. Fonte: Próprio autor.

Figura 19 - Capacidade de troca catiônica (CTC) no solo após a cultura da soja na profundidade 0–20 cm em função das doses aplicadas de CLE. * – Significativo a 5% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

De modo geral, os atributos químicos, principalmente pH, SB, V% e CTC, foram incrementados com aplicação do CLE quando comparados aos tratamentos adicionais. O aumento do pH e, conseqüentemente, a redução da acidez do solo em função da aplicação do CLE, podem estar relacionados ao processo de compostagem, no qual é aplicado calcário e gesso agrícola com o objetivo de eliminar microrganismos patogênicos. Garcia *et al.* (2009) também observaram aumento nos valores do pH no solo, sendo tal fato atribuído ao tratamento do LE doméstico com cal virgem por um período de 20 dias. Já o efeito benéfico do CLE na CTC deve estar relacionado ao aumento das cargas negativas da matéria orgânica, promovendo maiores sítios de troca no solo e ampliando o seu “reservatório” nutricional, além de ser uma fonte rica em nutrientes, aumentando assim a SB e o V% por meio de cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺) (BERTOLAZI *et al.*, 2017). Ricci, Padovani e Júnior (2010), também verificaram que o aumento nos valores das SB em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico com textura argilosa leve, sendo este fato atribuído aos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ que aumentaram proporcionalmente com as doses de CLE aplicadas (0, 20, 40 e 80 t ha⁻¹).

A capacidade de fornecimento de nutrientes e melhoria das propriedades químicas do solo por meio da aplicação de fertilizante orgânico, originado de lodo de esgoto compostado, ainda não foi muito estudada em solos brasileiros. Por outro lado, diversas pesquisas já demonstraram os efeitos positivos em solos agrícolas que receberam aplicação do lodo de esgoto *in natura* (FIA; MATOS; AGUIRRE, 2005; BERTON; NOGUEIRA, 2010; PEDROSA *et al.*, 2017). Do modo similar, esse resíduo tornou-se uma ótima alternativa na recuperação de áreas degradadas, promovendo melhorias nos atributos químicos do solo, em especial, no aumento de nutrientes e matéria orgânica (KITAMURA *et al.*, 2008; MODESTO *et al.*, 2009; SAMPAIO *et al.*, 2012).

Quanto ao modo de aplicação, apenas houve diferença significativa para SB e CTC, com a aplicação nas entrelinhas obtendo maiores valores. Entretanto, avaliando de maneira geral o modo aplicação para os atributos químicos na camada arável, sugere-se que a aplicação do CLE seja realizada em área total, reduzindo, com isso, os custos de operação e facilitando a distribuição do composto na área de cultivo.

Exceto para pH e Al^{+3} , houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para os atributos químicos do solo avaliados na camada de 20–40 cm profundidade (Tabela 3). Desse modo, observou-se que houve decréscimo linear no teor de matéria orgânica aplicado nas entrelinhas e um ajuste quadrático positivo para H+Al e CTC, sendo a dose de $15,5 t ha^{-1}$ a que proporcionou maior H + Al ($31,4 mmol_c dm^{-3}$) e a dose $15,0 t ha^{-1}$ a que promoveu o maior valor de CTC ($61,9 mmol_c dm^{-3}$). Já para a saturação por bases (V%), verificou-se um ajuste quadrático negativo (Apêndice A).

Na camada subsuperficial, os valores dos atributos químicos para os tratamentos adicionais foram: tratamento controle = MO ($14,8 g dm^{-3}$), pH (5,2), H + Al ($26,0 mmol_c dm^{-3}$), Al ($1,2 mmol_c dm^{-3}$) e SB ($24,3 mmol_c dm^{-3}$), V (48,2%) e CTC ($50,3 mmol_c dm^{-3}$) e tratamento que recebeu adubação mineral convencional = MO ($14,8 g dm^{-3}$), pH (5,2), H + Al ($25,0 mmol_c dm^{-3}$), Al ($0,8 mmol_c dm^{-3}$) e SB ($27,2 mmol_c dm^{-3}$), V (52,0%) e CTC ($52,2 mmol_c dm^{-3}$) (Tabela 3). Ainda que não significativo, observou-se certo incremento nos atributos químicos dos solos que foram adubados de modo convencional em relação ao tratamento de controle (Tabela 3), talvez devido à absorção de nutrientes (K, Ca, e Mg).

Nota-se que, na camada subsuperficial, o teor de matéria orgânica foi incrementado com aplicação do CLE quando comparado aos tratamentos adicionais.

Isso também foi observado para a SB e CTC quando o CLE foi aplicado nas entrelinhas. Notou-se, ainda, aumento da acidez potencial quando o CLE foi aplicado nas entrelinhas em relação aos tratamentos adicionais.

Para o modo de aplicação, houve diferença apenas para a acidez potencial, a SB e a CTC, sendo observados maiores valores quando a aplicação do CLE foi realizada nas entrelinhas (Tabela 3). Entretanto, sugere-se que a aplicação seja realizada em área total, pois a saturação por bases V% – cuja quantidade total da soma de bases trocáveis ($SB = Ca^{2+}, Mg^{2+}$ e K^+) ocupando a CTC a pH 7 [$SB + (H+ Al)$] – foi maior quando as doses de CLE foram distribuídas em toda área da parcela. Esse atributo do solo é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, sendo utilizado até como complemento na nomenclatura dos solos (RONQUIM, 2010).

Analisando os atributos químicos em função do efeito residual da aplicação do CLE na camada arável, após o cultivo da cultura do milho, verificou-se que, exceto para a MO e Al^{+3} , houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE (Tabela 4). Dessa forma, observou-se que a aplicação do CLE em área total incrementou de modo linear a SB e a CTC. Quando o CLE foi aplicado nas entrelinhas, notou-se que a SB e a CTC apresentaram um ajuste quadrático positivo, no qual as doses de 18,4 e 18,8 t ha⁻¹ (base úmida) proporcionaram, respectivamente, os maiores valores de SB (39,9 mmol_c dm⁻³) e da CTC (61,1 mmol_c dm⁻³) (Apêndice A).

Os valores dos atributos químicos para os tratamentos adicionais foram: MO (18,2 g dm⁻³), pH (5,5), H + Al (22,0 mmol_c dm⁻³), Al (0,0 mmol_c dm⁻³) e SB (29,4 mmol_c dm⁻³), V (57,0 %) e CTC (51,8 mmol_c dm⁻³) no tratamento controle e MO (16,8 g dm⁻³), pH (5,5), H + Al (20,0 mmol_c dm⁻³), Al (0,0 mmol_c dm⁻³) e SB (32,0 mmol_c dm⁻³), V (61,8%) e CTC (52,0 mmol_c dm⁻³) no tratamento com adubação mineral convencional (Tabela 4). Assim como na maioria dos atributos químicos analisados após a cultura da soja, houve um pequeno aumento com a adubação mineral convencional, entretanto não foi notada diferença significativa.

Tabela 4 - Atributos químicos do solo, em duas profundidades, após o cultivo do milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE

Tratamento	MO		pH		H + Al		Al		SB		V		CTC	
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL
	g dm ⁻³		CaCl ₂				mmol _c dm ⁻³				%		mmol _c dm ⁻³	
	<i>0-20 cm</i>													
Controle	18,2 ^x		5,5 ^x		22,2 ^x		0,0 ^x		29,4 ^x		57,0 ^x		51,8 ^x	
Adubação mineral convencional	16,8 ^{x#}		5,5 ^x		20,0 ^{x#}		0,0 ^x		32,0 ^{x#}		61,8 ^{x#}		52,0 ^{x#}	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	18,2 ^{x#}	19,0 ^x	5,4 aA ^x	5,4 bA ^x	20,8 bA ^{x#}	20,0 bA ^{x#}	0,0 ^x	0,2 ^x	29,6 bA ^{x#}	27,3 cA ^x	58,8 abA ^{x#}	57,2 bA ^{x#}	50,3 bA ^x	47,3 cA ^x
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	18,2 ^{x#}	18,0 ^{x#}	5,3 aB ^x	5,9 aA	25,0 aA ^x	18,0 bB [#]	0,0 ^x	0,0 ^x	29,2 bB ^{x#}	40,5 aA	54,2 bB ^x	69,0 aA	54,2 bB ^x	58,5 abA
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	17,8 ^{x#}	19,2 ^x	5,5 aA ^x	5,4 bA ^x	20,8 bB ^{x#}	24,2 aA ^x	0,5 ^x	0,5 ^x	33,5 aB [#]	36,5 bA	62,0 aA ^{x#}	60,0 bA ^{x#}	54,2 bB ^x	60,9 aA
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	18,8 ^x	18,8 ^x	5,6 aA ^x	5,6 bA ^x	23,8 abA ^{x#}	21,0 abB ^{x#}	0,0 ^x	0,0 ^x	36,8 aA	33,2 bB ^{x#}	61,2 aA ^{x#}	61,5 bA ^{x#}	60,3 aA	54,2 bB ^x
Teste F														
Modos de Aplicação (MA)	2,06 ^{NS}		5,05 [*]		6,87 [*]		0,24 ^{NS}		11,32 ^{**}		10,67 ^{**}		0,29 ^{NS}	
Doses de CLE (base úmida)	0,60 ^{NS}		2,96 [*]		2,16 ^{NS}		0,89 ^{NS}		27,06 ^{**}		3,67 [*]		21,63 ^{**}	
(MA) x (CLE)	1,29 ^{NS}		8,38 ^{**}		10,68 ^{**}		1,54 ^{NS}		29,17 ^{**}		20,53 ^{**}		11,27 ^{**}	
CV (%)	5,4		2,7		8,8		30,0		5,4		4,1		4,6	
	<i>20-40 cm</i>													
Controle	14,8 ^x		5,1 ^x		26,0 ^x		0,0 ^x		16,3 ^x		38,5 ^x		42,3 ^x	
Adubação mineral convencional	13,0 [#]		5,3 ^{x#}		21,0 [#]		0,2 ^{x#}		18,7 ^x		47,0 ^x		39,7 ^x	MD
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	13,8 ^{x#}	13,8 ^{x#}	5,0 aA ^{x#}	5,0 aA ^{x#}	25,0 abA ^x	23,8 aA ^{x#}	1,2 ^{x#}	2,0 [#]	17,6 ^x	18,6 ^x	41,0 abA ^x	42,8 aA ^x	42,6 ^x	42,1 ^x 42,3 ab
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	13,8 ^{x#}	13,8 ^{x#}	4,9 aB ^x	5,2 aA ^{x#}	25,0 abA ^x	21,0 bB [#]	1,2 ^{x#}	1,0 ^{x#}	15,5 ^x	17,8 ^x	38,2 bB ^x	45,5 aA ^x	40,5 ^x	38,8 ^x 39,6 b
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	13,2 ^{x#}	14,2 ^{x#}	4,9 aA ^x	5,1 aA ^{x#}	26,0 aA ^x	25,0 aA ^x	1,2 ^{x#}	0,7 ^{x#}	17,7 ^x	20,0 ^x	40,8 abA ^x	44,0 aA ^x	43,7 ^x	45,0 ^x 44,3 a
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	13,8 ^{x#}	14,0 ^{x#}	5,2 aA ^{x#}	5,0 aA ^{x#}	23,2 bA ^{x#}	24,0 aA ^x	0,8 ^{x#}	0,8 ^{x#}	19,6 ^x	17,5 ^x	45,8 aA ^x	42,0 aA ^x	43,0 ^x	41,5 ^x 42,3 ab
Teste F														
Modos de Aplicação (MA)	1,49 ^{NS}		1,05 ^{NS}		8,05 ^{**}		0,00 ^{NS}		1,34 ^{NS}		3,81 ^{NS}		0,44 ^{NS}	
Doses de CLE (base úmida)	0,06 ^{NS}		0,84 ^{NS}		4,93 ^{**}		1,66 ^{NS}		1,87 ^{NS}		0,76 ^{NS}		4,69 ^{**}	
(MA) x (CLE)	0,85 ^{NS}		3,32 [*]		4,11 [*]		0,95 ^{NS}		2,15 ^{NS}		4,37 [*]		0,58 ^{NS}	
CV (%)	5,2		3,0		5,7		89,2		11,5		7,2		6,0	

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúsculas para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^x, [#] Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). SB = Soma de bases. V = Saturação por bases. CTC = Capacidade de troca catiônica. Fonte: Próprio autor.

Verificou-se efeito residual da aplicação do CLE nas entrelinhas da cultura da soja, uma vez que os atributos químicos SB, V% e CTC foram incrementados após o cultivo das plantas de milho (Tabela 4). A contribuição do composto na melhoria desses atributos está diretamente relacionada ao fornecimento de cátions trocáveis que fazem parte da composição química do CLE (Tabela 1).

Em relação ao modo de aplicação na camada superficial, houve diferença para os atributos pH, H + Al, SB, V% e CTC (Tabela 4). Essa diferença dependerá da dose aplicada, mas, independentemente do modo de aplicação do CLE, foi possível notar incremento no pH, SB, CTC e V%, com diminuição da acidez potencial. Diversas pesquisas já demonstraram a importância do LE como condicionador químico do solo, sendo este responsável por melhorar características como: pH, SB, CTC, V%, acidez potencial e incremento de macro e micronutrientes (ROMEIRO *et al.*, 2014; BONINI; ALVEZ; MONTANARI, 2015; FERRAZ; MOMENTEL; POGGIANI, 2016; OCIEPA, MROWIEC; LACH, 2017). Todavia, são necessários maiores estudos evidenciando os efeitos positivos nos atributos químicos de solos que receberam aplicação de CLE.

Nas amostras de terra da camada subsuperficial coletadas após o cultivo do milho, pôde-se notar interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para os atributos: pH, H+ Al e V% (Tabela 4). Assim, foi reportado um decréscimo linear para os teores de Al em função do aumento das doses de CLE nas entrelinhas da cultura. Já o pH e o V% apresentaram um ajuste quadrático negativo com a aplicação do CLE em área total.

Em relação aos tratamentos adicionais, houve diferença para a MO e para a acidez potencial entre o tratamento controle e com adubação mineral convencional (Tabela 4). Assim, observou-se que o tratamento controle apresentou maior teor de MO e maior acidez potencial em relação à adubação mineral. Apesar de existir essa diferença estatística, quando comparado aos resultados obtidos antes da implantação do experimento (Tabela 2), é possível notar que o valor da MO permaneceu o mesmo (14 g dm^{-3}), havendo uma pequena redução nos valores da acidez potencial ($32 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$) (Tabela 2). É importante destacar que os valores dos atributos químicos obtidos nos tratamentos que receberam o CLE foram similares aos observados nos tratamentos adicionais (Tabela 4). Esses resultados se diferem daqueles encontrados nas amostras de terra avaliadas no final do ciclo da soja, na camada subsuperficial (Tabela 3).

Quanto ao modo de aplicação, houve diferença significativa apenas para a acidez potencial (H + Al), já que os maiores índices de acidez potencial foram observados com a aplicação do CLE em área total. Todavia, ao analisar todos atributos químicos na camada superficial e subsuperficial, sugere-se que a aplicação do CLE seja realizada em área total.

Conforme mencionado anteriormente, a SB se dá pela soma dos elementos Ca, Mg e K trocáveis do solo. Dessa forma, observou-se que tais nutrientes foram fornecidos pelo CLE, o que provavelmente contribuiu para o aumento da SB no solo coletado na camada superficial após o cultivo da cultura da soja. Na camada mais profunda, o Ca e K também tiveram papel fundamental para incrementar a SB. Ao analisar o solo na camada arável após o cultivo do milho, pôde-se notar que o Ca também foi responsável pela elevação da SB. O aumento do Ca trocável e da SB, após os dois cultivos, deve-se ao fato de o CLE apresentar maior quantidade de Ca em relação a Mg e K (Tabela 1).

Houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE, para os teores P, Ca e S na camada superficial do solo, após o cultivo da cultura da soja (Tabela 5). Nesse sentido, constatou-se que as doses do CLE em área total aumentaram linearmente o teor P no solo e promoveram ajuste quadrático positivo no teor de Ca, sendo a dose de 17,1 t ha⁻¹ (base úmida) a que proporcionou o maior teor desse nutriente no solo (26,5 mmol_c dm⁻³). A aplicação do CLE nas entrelinhas também incrementou de forma linear os teores de P no solo. Porém, proporcionou ajuste quadrático negativo para os teores de S. Mesmo não havendo interação para os teores de K e de Mg, notou-se incremento desses elementos com o aumento das doses de CLE aplicadas em área total. Observou-se também, aumento linear nos teores de Mg por meio da aplicação do CLE nas entrelinhas (Apêndice B).

Nos tratamentos adicionais, apenas o teor de P no solo apresentou diferença significativa em relação ao tratamento com adubação mineral convencional, sendo observados maiores teores P no solo que recebeu adubação (Tabela 5). Tal fato está relacionado à aplicação do fertilizante fosfatado, que é uma importante fonte solúvel de P. Entretanto, não foi observado esse aumento nos teores de K entre os tratamentos adicionais, o que pode ser explicado pela maior absorção desse elemento pelas plantas de soja. O K foi fornecido por meio do fertilizante cloreto de potássio (KCl), que também é uma fonte de alta solubilidade e com pronta liberação de K no solo.

Desse modo, podem ter ocorrido perdas desse elemento por lixiviação, uma vez que o K é um nutriente de elevada mobilidade no solo (BORKERT *et al.*, 2005).

A aplicação do CLE incrementou significativamente os teores de macronutrientes no solo em relação aos teores encontrados nos tratamentos adicionais. O incremento substancial dos macronutrientes é de se esperar devido a quantidades significativas desses nutrientes presentes no composto (Tabela 1). Tais resultados demonstram, mais uma vez, os aspectos benéficos do uso do CLE, tornando-o uma fonte alternativa de fertilizante para a cultura da soja. Ferraz, Momentel e Poggiani (2016), avaliando a aplicação de tipos de lodo de esgoto na fertilidade do solo, no crescimento e na nutrição mineral em eucalipto, observaram uma melhora na fertilidade, com incremento dos teores de P, K Ca e Mg no solo. Entretanto, conforme estes mesmos autores, a heterogeneidade dos lodos gerados pode levar a desequilíbrios que impedem uma resposta adequada das culturas. Apesar do CLE ser um material mais estável, sua composição pode variar de acordo com a origem do LE utilizado no processo de compostagem. Portanto, a mistura do lodo de esgoto com outras fontes de nutrientes deve sempre ser avaliada, visando a manter o equilíbrio nutricional e proporcionando ganhos de produtividade, seja em cultivos agrícola ou mesmo florestais (FERRAZ; MOMENTEL; POGGIANI, 2016, MORAES *et al.*, 2019).

Tabela 5 - Macronutrientes em duas profundidades do solo após o cultivo da soja em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE

Tratamento	P-resina		K		Ca		Mg		S-SO ₄	
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL
	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³	
	<i>0-20 cm</i>									
Controle	8,6 ^x		0,5 ^x		20,0 ^x		12,8 ^x		4,0 ^x	
Adução mineral convencional	12,8 [#]		0,6 ^x		22,8 ^{x#}		12,8 ^x		MD	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	17,2 cA	16,8 dA	0,8 ^x	1,1	24,0 aA ^{x#}	24,0 bA ^{x#}	13,8 ^x	14,2 ^x	14,0 b	7,0 abB
15,0 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	20,8 cB	31,0 cA	0,8 ^x	1,1	27,0 aB [#]	31,0 aA	15,2	14,8 ^x	15,0 ab	5,0 bA ^x
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	26,0 bB	35,8 bA	1,0	1,0	25,8 aA [#]	24,0 bA ^{x#}	16,0	16,0	16,0 a	9,0 aA
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	34,8 aB	41,0 dA	1,1	1,0	24,0 aB ^{x#}	31,0 aA	15,2	16,2	15,8 a	6,0 bB ^x
Teste F										
Modos de Aplicação (MA)	86,76 ^{**}		3,02 ^{NS}		12,61 ^{**}		0,39 ^{NS}		6,40 [*]	
Doses de CLE (base úmida)	161,38 ^{**}		0,23 ^{NS}		9,81 ^{**}		5,10 ^{**}		10,46 ^{**}	
(MA) x (CLE)	12,85 ^{**}		2,06 ^{NS}		6,93 ^{**}		0,66 ^{NS}		4,06 [*]	
CV (%)	8,0		21,4		8,0		7,7		16,8	
	<i>20-40 cm</i>									
Controle	8,0 ^x		0,6 ^x		13,0 ^x		10,8 ^x		6,8 ^x	
Adução mineral convencional	10,2 ^{x#}		0,6 ^x		15,8 [#]		11,0 ^x		7,8 ^x	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	10,8 bA ^{x#}	11,8 bA ^{x#}	0,8 aB ^x	1,2 aA	15,2 bB [#]	18,0 bA	11,0 bB ^x	12,8 aA ^x	11,2 bA	9,8 cA ^x
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	19,8 aA	16,0 bA [#]	0,9 aA	0,9 abA	21,0 aA	18,8 abB	14,0 aA	11,8 aB ^x	17,0 aA	15,8 bA
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	17,0 aB [#]	23,2 aA	0,9 aA	0,8 bA ^x	14,8 bB ^{x#}	17,0 bA [#]	11,2 bA ^x	12,8 aA ^x	13,2 bA	15,2 bA
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	19,2 aA	15,0 bA ^{x#}	0,9 aA	0,8 bA ^x	16,0 bB [#]	20,0 aA	13,0 abA ^x	11,8 aA ^x	12,8 bB	19,8 aA
Teste F										
Modos de Aplicação (MA)	0,03 ^{NS}		1,10 ^{NS}		21,89 ^{**}		0,02 ^{NS}		7,18 [*]	
Doses de CLE (base úmida)	11,68 ^{**}		2,42 ^{NS}		23,73 ^{**}		1,14 ^{NS}		22,09 ^{**}	
(MA) x (CLE)	4,90 ^{**}		4,80 ^{**}		14,28 ^{**}		5,60 ^{**}		11,53 ^{**}	
CV (%)	20,7		16,1		6,0		9,9		12,8	

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúscula para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^x, [#] Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). Fonte: Próprio autor.

Mesmo com aumento nos teores macronutrientes por meio da aplicação das doses de CLE, exceto para o S, não existe alteração nas classes de teores desses elementos. Isso pode ser explicado devido aos teores iniciais no solo (Tabela 1) já serem considerados médios (P e K) e altos (Mg), conforme os limites de interpretação de teores de macronutrientes disponíveis no solo descritos por Raij *et al.* (1997). Em relação ao S, verificou-se diminuição dos teores no solo, acompanhado de alteração da classe de interpretação, passando de teor alto para teor médio (RAIJ *et al.*, 1997).

Houve diferença para os teores de P, Ca e S no solo em resposta ao modo de aplicação do CLE (Tabela 5). De modo geral, os teores estiveram mais disponíveis quando o composto foi aplicado nas entrelinhas. Todavia, conforme já mencionado, não houve alteração nas classes de interpretação dos teores disponíveis dos macronutrientes (RAIJ *et al.*, 1997), o que poderia justificar a aplicação do CLE nas entrelinhas da cultura. Dessa maneira, considerando a similaridades entre os teores disponíveis dos macronutrientes avaliados no solo, sugere-se que a aplicação do CLE seja realizada em área total, reduzindo, com isso, os custos de operação e facilitando a distribuição do composto na área de cultivo.

Houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para todos os macronutrientes na camada subsuperficial do solo (Tabela 5). Dessa forma, para a aplicação do CLE em área total, notou-se que os teores de P apresentaram incremento linear e o teor de S apresentaram ajuste quadrático positivo, sendo a dose de 17,8 t ha⁻¹ a responsável pelo maior teor de S no solo (15,7 mg dm⁻³). A aplicação do CLE nas entrelinhas proporcionou incremento linear nos teores de S e ajuste quadrático positivo nos teores de P no solo, no qual a dose 18,9 t ha⁻¹ proporcionou o maior teor desse elemento no solo (20,6 mg dm⁻³). Ainda nas entrelinhas, houve um decréscimo linear dos teores de K no solo, podendo ser atribuído ao processo de lixiviação ou utilização pelas plantas ao logo do ciclo de cultivo (Apêndice B).

Na camada subsuperficial do solo, não foi evidenciada diferença entre os tratamentos adicionais, apenas os teores de Ca foram mais elevados no tratamento com adubação mineral em relação ao tratamento controle (Tabela 5).

Quanto ao modo de aplicação, houve diferença significativa para os teores de Ca e S (Tabela 5). De modo geral, notou-se similaridade dos teores de macronutrientes nos dois modos de aplicação, sugerindo, mais uma vez, que a distribuição desse fertilizante seja feita em área total.

Exceto para o Mg, os teores de macronutrientes na camada subsuperficial foram incrementados com a aplicação do CLE. Tais resultados evidenciam que o CLE pode ser utilizado como fonte alternativa desses elementos, principalmente em solos do Cerrado que apresentam naturalmente baixos teores de nutrientes.

Avaliando o efeito residual da aplicação do CLE após o cultivo do milho, verificou-se que, exceto para os teores de K, houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para os demais macronutrientes (Tabela 6). A aplicação de doses de CLE em área total incrementou linearmente os teores disponíveis de P e Ca, além de promover um ajuste quadrático negativo nos teores de K e Mg. Em relação à aplicação do CLE nas entrelinhas, pôde-se notar incremento linear nos teores de S. Ao contrário da aplicação em área total, houve um ajuste quadrático positivo para os teores de P e Ca, no qual as doses 18,7 e 18,1 t ha⁻¹ proporcionaram os maiores teores (26,8 mg dm⁻³ e 26,8 mmol_c dm⁻³) desses elementos, respectivamente (Apêndice B).

Os teores de P e Ca foram superiores nos tratamentos com adubação mineral em relação ao tratamento controle (Tabela 6). Isso se deve ao fornecimento desses elementos via adubação com superfosfato triplo que é fonte de P, além de possuir em sua composição 7 a 12% de Ca.

Tabela 6 - Macronutrientes em duas profundidades do solo após o cultivo do milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE

Tratamento	P-resina		K			Ca		Mg		S-SO ₄			
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL			
	mg dm ⁻³		mmolc dm ⁻³			mmolc dm ⁻³		mmolc dm ⁻³		mg dm ⁻³			
	<i>0-20 cm</i>												
Controle		7,8 ^x		0,4 ^x		17,0 ^x		12,0 ^x		2,7 ^x			
Adubação mineral convencional		11,8 [#]		0,5 ^x	MD	21,0 [#]		10,8 ^{x#}		2,2 ^x			
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	18,2 cA	15,0 cB [#]	0,6 ^x	0,6 ^x	0,6 ab	16,8 bA ^x	16,0 cA ^x	12,8 aA ^{x#}	10,8 bB ^{x#}	4,2 aA ^x	4,8 bA ^x		
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	21,0 cB	24,8 aA	0,6 ^x	0,5 ^x	0,6 ab	18,2 bB ^{x#}	26,8 aA	10,2 bB ^{x#}	13,8 aA ^x	4,8 aA ^x	4,8 bA ^x		
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	25,0 bA	26,8 aA	0,5 ^x	0,5 ^x	0,5 b	22,0 aB [#]	25,0 aA	11,0 bA ^{x#}	11,0 bA ^{x#}	6,2 aA	8,0 aA		
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	30,8 aA	20,8 bB	0,8	0,6 ^x	0,7 a	23,0 aA [#]	20,0 bB [#]	13,0 aA ^x	12,8 aA ^x	4,8 aB ^x	10,0 aA		
Teste F													
Modos de Aplicação (MA)		8,03 ^{**}		4,37 [*]		12,03 ^{**}		1,10 ^{NS}		15,59 ^{**}			
Doses de CLE (base úmida)		40,14 ^{**}		3,60 [*]		32,21 ^{**}		6,76 ^{**}		10,28 ^{**}			
(MA) x (CLE)		20,09 ^{**}		1,86 ^{NS}		20,25 ^{**}		15,00 ^{**}		6,21 ^{**}			
CV (%)		9,6		17,8		7,8		7,0		25,6			
	<i>20-40 cm</i>												
Controle		4,0 ^x		0,3 ^x		8,0 ^x		8,0 ^x		3,8 ^x			
Adubação mineral convencional		4,0 ^x	MD	0,4 ^{x#}	MD	10,8 ^x		7,8 ^x	MD	7,0 [#]			
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	6,0 ^x	5,2 ^x	5,6 b	0,6 [#]	0,4 ^{x#}	0,5 ab	9,2 ^x	9,8 ^x	7,8 ^x	8,8 ^x	8,2 a	13,2 bA	10,8 cA [#]
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	5,7 ^x	6,0 ^x	5,9 b	0,5 ^{x#}	0,5 ^{x#}	0,4 b	8,9 ^x	10,0 ^x	6,2 ^x	7,2 ^x	6,8 b	13,8 bA	15,0 bA
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	7,0	8,8	7,9 a	0,4 ^{x#}	0,3 ^{x#}	0,3 c	9,8 ^x	11,0 ^x	7,8 ^x	8,8 ^x	8,2 a	17,8 aA	13,0 bcB
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	7,8	7,2	7,5 a	0,7	0,6 [#]	0,6 a	10,8 ^x	9,2 ^x	8,2 ^x	7,8 ^x	8,0 b	14,0 bB	26,2 aA
Teste F													
Modos de Aplicação (MA)		0,30 ^{NS}		10,00 ^{**}		0,35 ^{NS}		5,83 [*]		6,16 [*]			
Doses de CLE (base úmida)		10,98 ^{**}		10,57 ^{**}		0,53 ^{NS}		7,69 ^{**}		29,37 ^{**}			
(MA) x (CLE)		2,70 ^{NS}		2,08 ^{NS}		1,04 ^{NS}		2,10 ^{NS}		35,89 ^{**}			
CV (%)		15,7		19,7		18,5		9,3		13,2			

Nota: **, * e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúscula para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{x, #} Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). Fonte: Próprio autor.

As aplicações consecutivas de CLE na área experimental proporcionaram maiores teores de P no solo quando comparado aos tratamentos adicionais. Bonini, Alvez e Montanari (2015) também constataram aumento dos teores de P na camada superficial e subsuperficial do solo ao adicionar o LE. Tal fato está relacionado à quantidade de P presente no composto (Tabela 1), elevando os teores disponíveis desse nutriente no solo. Sabe-se que a MO do solo é capaz de agir liberando P-orgânico e também protegendo os colóides minerais, diminuindo a fixação desse elemento no solo. Vários estudos já demonstraram o aumento de P disponível com aplicação do LE (SILVA; RESCK; SHARMA. (2002), NASCIMENTO *et al.*, 2004; GALDO; MARIA; CAMARGO, 2004), em que esse resíduo promove a diminuição da adsorção do P ao solo, devido ao elevado conteúdo de MO presente no lodo, pelo fornecimento de ânions orgânicos que competem com o ânion fosfato, além de formação de complexos e quelatos (BACKES *et al.*, 2013).

Coscione *et al.* (2014), avaliando o efeito residual do LE, constataram aumento de cerca de 46% de Ca no um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico de textura argilosa com a aplicação de 20 t ha⁻¹ por ano de lodo seco. Moreira, Mincato e Santos (2013) observaram incremento nos teores de P, K, Ca, Mg e S com a aplicação de LE, representando um ganho de 71% na soma de bases na dose de 180 t ha⁻¹ e 55% na dose de 120 t ha⁻¹ quando comparados ao tratamento controle, com as doses baseadas no teor de metais pesados do lodo, a fim de fornecer grandes quantidades de metais ao solo e avaliar o efeito da matéria orgânica, tendo a alface como planta por ser uma cultura muito sensível à presença de metais no solo. Ricci, Padovani e Júnior (2010), também observaram que a aplicação de CLE na dose de 80 t ha⁻¹, em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, textura argilosa leve, com a implementação de árvores nativas, promoveu aumento dos teores de P, Ca, Mg e K, alterando positivamente a fertilidade e ajudando a recuperar o solo degradado.

Notou-se redução nos teores de alguns macronutrientes avaliados após o cultivo da cultura do milho (efeito residual) em relação aos teores obtidos após o cultivo da cultura da soja. Assim, observou-se mudança de classe para os teores K, saindo de teor médio para teor baixo e para os teores de S, que de altos passam a baixos (RAIJ *et al.*, 1997).

Exceto para o Mg, houve diferença significativa nos teores de macronutrientes do solo. De modo geral, os teores de P e K estiveram mais disponíveis quando o composto foi aplicado em área total. Por outro lado, verificaram-se maiores teores de

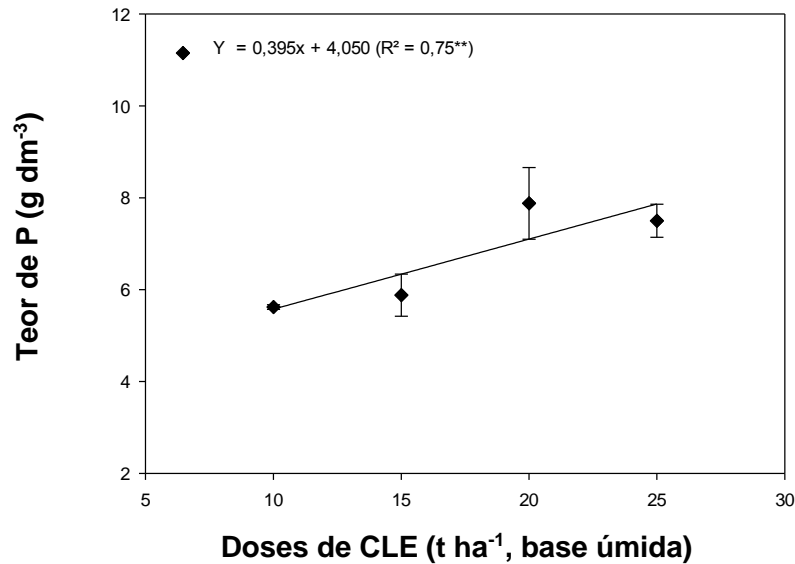
Ca e S quando o CLE foi aplicado nas entrelinhas da cultura (Tabela 6), por estar relacionado ao efeito de concentração do adubo aplicado

Para os teores de macronutrientes na camada subsuperficial, exceto para o S, não houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE (Tabela 6). Dessa forma, houve um incremento linear nos teores de S com a aplicação do CLE nas entrelinhas (Apêndice B). Foi notado também, incremento linear para os teores P e ajuste quadrático negativo para os teores de K e de Mg em função do aumento das doses de CLE em área total. Quando o CLE foi aplicado nas entrelinhas, houve um ajuste quadrático positivo para os teores de P, sendo a dose $21,9 \text{ t ha}^{-1}$ (base úmida) a que promoveu o maior teor de P ($8,1 \text{ mg dm}^{-3}$) no solo.

Trannin, Siqueira e Moreira (2008) encontraram resposta linear positiva para os teores de S na camada subsuperficial em um CAMBISSOLO Distrófico com aplicação de um bio sólido de indústria de fibras e resinas PET (polietileno tereftalato) no cultivo de milho. Esses autores verificaram incremento linear para os teores de Ca e Mg trocável. Observaram também resposta linear para os teores de P na camada superficial, chegando a um valor cinco vezes maior ao tratamento controle com a aplicação de 24 t ha^{-1} (base seca). E, na camada subsuperficial, foi observado ajuste quadrático para os teores de P no solo em resposta à aplicação do bio sólido industrial.

O aumento das doses de CLE promoveram incremento linear nos teores de P no solo da cama subsuperficial (Figura 20). Sabe-se que as doses de lodo de esgoto utilizadas na agricultura levam em consideração os teores de N e P, que geralmente são encontrados em elevadas concentrações nos lodos (BOEIRA; MAXIMILIANO, 2009; KIRCHMANN *et al.*, 2017). Por outro lado, ainda que os teores P sejam considerados muito baixos (Figura 20), notou-se que o CLE pode ser utilizado como fonte desse nutriente, principalmente em solos de Cerrado, que são considerados deficientes em termos de P-disponível. Tal fato é justificado devido à elevada capacidade de fixação de P nos óxidos de Fe e Al que geralmente estão presentes em grandes quantidades nos solos de Cerrado (NOVAIS; SMYTH; NUNES 2007; VILAR *et al.*, 2010).

Figura 20 - Teor de P no solo (camada 20–40 cm de profundidade) após o cultivo da cultura do milho em função das doses aplicadas de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

Quanto ao modo de aplicação (Tabela 6), exceto para os teores de P e Ca, houve diferença para os demais macronutrientes. Nesse sentido, constataram-se maiores teores para K e S aplicados em área total e, de modo contrário, a aplicação nas entrelinhas foi maior para os teores de Mg. Portanto, para o efeito residual, ao analisar as duas camadas em relação aos teores disponíveis de macronutrientes, recomenda-se, que o CLE seja distribuído em área total devido à maior praticidade e economia.

Todos os tratamentos com aplicação de CLE apresentaram um aumento do teor de S disponível no solo em comparação aos tratamentos adicionais. No entanto, apenas os tratamentos com as doses mais elevadas de CLE promoveram um aumento do teor de P no solo (Tabela 6). Além disso, tanto após a cultura da soja quanto a do milho, foi observado um maior teor de S acumulado na camada mais profunda. Tal fato deve-se à facilidade de movimentação do S no solo na forma iônica de sulfato (JUNIO *et al.*, 2013).

Em relação ao cultivo sucessivo da soja e milho, foi verificado maior incremento do teor de K no solo após o cultivo da cultura da soja em relação ao cultivo do milho, o que deve estar relacionado à maior absorção desse elemento pela cultura do milho, ou

às perdas por lixiviação (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

6.2 MICRONUTRIENTES NO SOLO

a) Boro extraído por água quente e Cu, Fe, Mn e Zn extraídos por DTPA

Na camada superficial do solo após o cultivo da soja, pôde-se notar interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para os teores de B, Fe e Zn no solo (Tabela 7). Os teores de Ni ficaram abaixo dos níveis de detecção. Verificou-se que o aumento das doses de CLE, aplicadas em área total, promoveu um incremento linear dos teores de B e Fe. Foi observado também um ajuste quadrático positivo em relação ao teor de Zn, em cujo tratamento com a dose de 17,4 t ha⁻¹ de CLE (base úmida), proporcionou o maior teor (2,2 mg dm⁻³) de Zn no solo. Em relação ao aumento das doses de CLE aplicadas nas entrelinhas, também houve um incremento linear para o teor de B e um ajuste quadrático positivo para os teores de Fe e Zn, sendo as doses de 17,4 e 20,1 t ha⁻¹ (base úmida) as que promoveram, respectivamente, os maiores teores no solo de Fe (21,5 mg dm⁻³) e de Zn (2,1 mg dm⁻³) no solo (Apêndice C). O aumento nos teores disponíveis de B e Zn no solo estão relacionados ao CLE que possui quantidades significativas desses elementos em sua composição (Tabela 1). Por outro lado, a redução do teor de Zn no solo com a aplicação da maior dose de CLE, deve estar relacionada ao processo de retenção desse micronutriente no solo por meio de processos de adsorção com óxidos (Fe e Mn), precipitação em função do aumento do pH e complexação com a matéria orgânica do solo (NASCIMENTO *et al.*, 2002). Ademais, sabe-se também que quantidades crescentes de matéria orgânica tendem a complexar metais, causando um aumento da concentração total desses elementos sem aumentar a disponibilidade no solo (ANTONIADIS *et al.*, 2010).

As doses de CLE aumentaram de modo linear os teores de Cu no solo e promoveram ajuste quadrático para o teor de Mn (Figura 21), sendo o maior teor de Mn (18,2 mg dm⁻³) observado na dose de 14,6 t ha⁻¹ (base úmida). A redução do teor de Mn pode estar relacionada ao aumento do pH já que houve aumento das doses do CLE (Tabela 3). De acordo com Lindsay (1972), o aumento de uma unidade de pH pode diminuir até 100 vezes a disponibilidade de Mn na solução do solo (ABREU *et al.*, 2007). Pigozzo *et al.* (2008) também verificaram que a elevação do pH faz com que ocorra a oxidação do Mn²⁺ a um estado de maior valência e menor solubilidade.

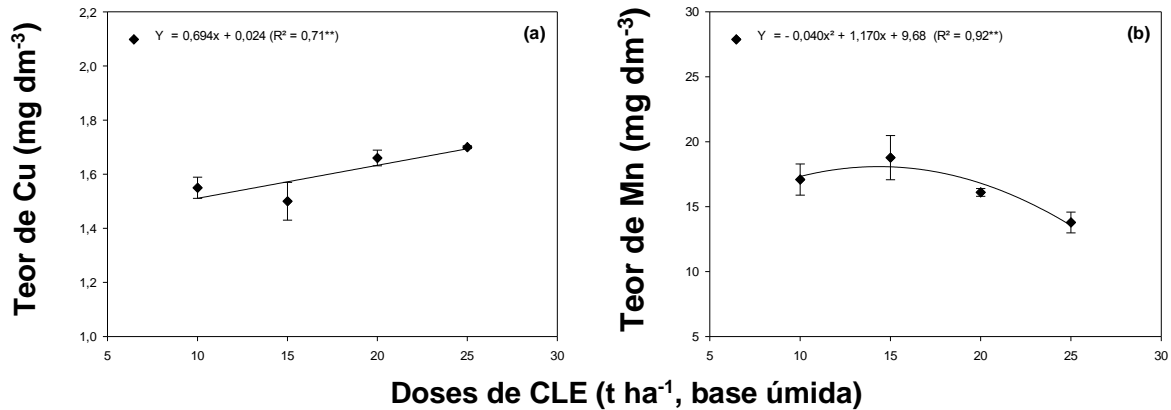
No solo cultivado com a cultura da soja, os teores de micronutrientes (mg dm^{-3}) dos tratamentos adicionais encontrados foram: controle = B (0,19), Cu (1,3), Fe (17,8), Mn (19,1) e Zn (0,6) e adubação mineral convencional = B (0,42), Cu (1,3), Fe (14,0), Mn (15,1) e Zn (1,4) (Tabela 7). Desse modo, observou-se um aumento em relação aos teores B e Zn e diminuição nos teores de Fe e Mn para o tratamento com adubação mineral convencional comparado ao tratamento controle. As doses de CLE também proporcionaram alterações nos teores de micronutrientes (mg dm^{-3}) no solo: área total = B (0,24-0,37), Cu (1,4-1,7), Fe (17,0-20,8), Mn (12,1-18,9) e Zn (1,2-2,5) e nas entrelinhas = B (0,28-0,44), Cu (1,6-1,7), Fe (15,8-23,0), Mn (15,5-18,8) e Zn (1,6-2,8). De modo geral, verificou-se que a aplicação das doses de CLE em área total ou nas entrelinhas da cultura promoveram aumento dos teores de B, Cu e Zn quando comparados aos tratamentos adicionais.

Tabela 7 - Efeito dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE nos teores de Cu, Fe, Mn e Zn (mg dm^{-3}) extraídos por DTPA e nos teores de B extraídos por água quente em duas profundidades do solo após o cultivo da cultura da soja

Tratamento	B		Cu			Fe		Mn		Zn		
	AT	EL	AT	EL		AT	EL	AT	EL	AT	EL	
<i>0-20 cm</i>												
Controle	0,19 ^x		1,3 ^x			17,8 ^x		19,1 ^x			0,6 ^x	
Adubação mineral convencional	0,42 [#]		1,3 ^x	MD		14,0 [#]		15,1 [#]	MD		1,4 [#]	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,24 bA ^x	0,28 bA	1,5 ^x	1,6	1,6 ab	17,2 bA ^{x#}	17,8 bcA ^x	17,1 ^{x#}	17,1 ^{x#}	17,1 ab	1,2 cB [#]	1,6 cA [#]
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,28 bA	0,31 bA	1,4 ^x	1,6	1,5 b	17,0 bA ^{x#}	18,8 bA ^x	18,9 ^{x#}	18,7 ^{x#}	18,8 a	1,8 bA [#]	1,7 cA [#]
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,26 bB	0,41 aA [#]	1,6	1,7	1,6 ab	17,0 bB ^{x#}	23,0 aA	16,7 ^{x#}	15,6 [#]	16,1 b	2,5 aA	2,8 aA
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,37 aB [#]	0,44 aA [#]	1,7	1,7	1,7 a	20,8 aA ^x	15,8 cB ^{x#}	12,1 [#]	15,5 [#]	13,8 c	1,2 cA [#]	2,2 bA
Teste F												
Modos de Aplicação (MA)	48,76 ^{**}		3,44 ^{NS}			2,45 ^{NS}		0,85 ^{NS}			20,97 ^{**}	
Doses de CLE (base úmida)	37,49 ^{**}		4,59 [*]			4,55 [*]		13,15 ^{**}			36,42 ^{**}	
(MA) x (CLE)	6,81 ^{**}		0,29 ^{NS}			19,11 ^{**}		2,94 ^{NS}			6,46 ^{**}	
CV (%)	9,0		8,0			8,2		9,8			14,6	
<i>20-40 cm</i>												
Controle	0,19 ^x		1,2 ^x			13,8 ^x		13,5 ^x			0,3 ^x	
Adubação mineral convencional	0,34 [#]		1,3 ^x			13,0 ^x	MD	9,1 [#]			0,6 ^{x#}	
10 ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,21 cA ^x	0,23 cA ^x	1,3 ^x	1,5	17,0	16,2	16,6 a	17,6 aA	11,2 aB ^{x#}	0,5 bB ^{x#}	1,0 abA [#]	
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,28 abA	0,24 cB	1,4 ^x	1,4 ^x	15,8 ^x	16,0	15,9 ab	19,8 aA	11,9 aB ^x	1,3 aA	0,8 bB ^{x#}	
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,25 bB	0,29 bA	1,4 ^x	1,5	13,8 ^x	15,8 ^x	14,8 bc	13,5 bA ^x	11,9 aA ^x	1,5 aA	1,5 aA	
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,30 aB	0,34 aA [#]	1,4 ^x	1,4 ^x	13,2 ^x	14,0 ^x	13,6 c	10,8 bA ^{x#}	10,9 aA ^{x#}	1,1 aA [#]	0,7 bB ^{x#}	
Teste F												
Modos de Aplicação (MA)	6,44 [*]		2,81 ^{NS}			1,78 ^{NS}		61,81 ^{**}			0,90 ^{NS}	
Doses de CLE (base úmida)	52,93 ^{**}		1,70 ^{NS}			9,69 ^{**}		18,48 ^{**}			12,14 ^{**}	
(MA) x (CLE)	11,15 ^{**}		1,52 ^{NS}			1,84 ^{NS}		14,37 ^{**}			6,21 ^{**}	
CV (%)	6,0		6,2			8,0		10,9			28,1	
<i>Limites de interpretação⁽¹⁾</i>												
Baixo	0 – 0,20		0 – 0,2			0 – 4		0 – 1,2			0 – 0,5	
Médio	0,21 – 0,60		0,3 – 0,8			5 – 12		1,3 – 5,0			0,6 – 1,2	
Alto	> 0,60		> 0,8			> 12		> 5,0			> 1,2	

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúsculas para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^x, [#] Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). ⁽¹⁾Raij *et al.* (1997). Fonte: Próprio autor.

Figura 21 - Teor de Cu (a) e de Mn (b) no solo (camada de 0–20 cm de profundidade) extraído por DTPA após o cultivo da cultura da soja em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

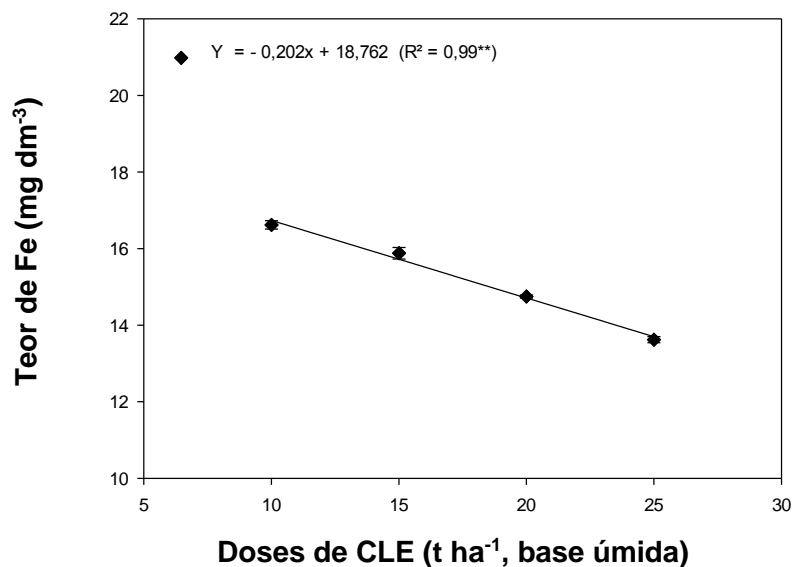
Mesmo com o aumento nos teores dos micronutrientes no solo por meio da aplicação das doses de CLE, não existiu alteração, exceto para o Zn. Isso pode ser explicado devido aos teores iniciais no solo (Tabela 1), que eram considerados médios para B e Zn e altos para Cu, Fe e Mn, conforme os limites de interpretação de teores de micronutrientes disponíveis no solo descritos por Raji *et al.* (1997). Em relação aos teores de Zn, verificou-se um aumento, passando-se de teor médio para teor alto. Esse aumento, conforme já mencionado, deve-se aos elevados teores desse micronutriente no CLE (Tabela 1). Backes *et al.* (2013), avaliando o efeito da aplicação de doses de CLE (de 0 a 48 t ha⁻¹) proveniente da ETE da cidade de Jundiaí (similar ao composto utilizado nesse estudo) em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e cultivado com grama esmeralda Imperial (*Zoysia japonica Steud.*), também verificaram aumento nos teores disponíveis de Zn no solo e igualmente justificaram-no em função da maior concentração desse micronutriente na composição do CLE.

Em relação ao modo de aplicação, apenas os teores de B e Zn apresentaram diferença significativa, sendo que nas entrelinhas obtiveram-se os maiores teores, mais uma vez podendo estar relacionado ao efeito de concentração da aplicação do CLE. Todavia, não houve alteração nas classes de interpretação dos teores disponíveis de B e Zn no solo (RAJI *et al.*, 1997), podendo, assim, justificar a aplicação do CLE nas entrelinhas da cultura. Considerando, por fim, a similaridade entre os teores disponíveis dos micronutrientes avaliados no solo, sugere-se que a aplicação do CLE seja realizada em área total, o que reduziria os custos de operação e facilitaria a distribuição do

composto na área de cultivo.

Para os teores disponíveis de micronutrientes na camada subsuperficial após a cultivo da soja, observou-se que existe interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para os teores de B, Mn e Zn no solo (Tabela 7). Desse modo, com o aumento das doses de CLE aplicadas em área total, foi observado um incremento linear para o teor de B no solo. Para os teores de Mn e Zn, notou-se um ajuste quadrático positivo, sendo as doses de 12,0 e 18,7 t ha⁻¹ (base úmida) as que proporcionaram, respectivamente, os maiores teores de Mn (18,4 mg dm⁻³) e de Zn (1,4 mg dm⁻³) no solo. O teor de B no solo aumentou linearmente quando o CLE foi aplicado nas entrelinhas da cultura da soja (Apêndice C). Pôde-se, ainda, notar que com o aumento das doses de CLE o teor de Fe no solo diminuiu (Figura 22).

Figura 22 - Teor de Fe no solo (camada 20–40 cm de profundidade) extraído por DTPA após o cultivo da cultura da soja em função das doses de CLE aplicadas. ** – Significativo a 1% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

Na dinâmica do Fe no solo, pode ocorrer decréscimo nos teores, devido à correção do pH por meio da calagem e manutenção da matéria orgânica no solo, ou seja, em solos intemperizados de pH inferior a 5, a disponibilidade deste nutriente é maior quando comparada a solos corrigidos, uma vez que a neutralização da acidez do solo torna os óxidos hidratados, como a goetita, mais estáveis (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Assim, o comportamento dos micronutrientes no solo dependerá de fatores relacionado à mineralogia (óxidos, hidróxidos, estruturas 1:1 e 2:1), textura e

fração orgânica existente (SILVA *et al.*, 2009). Dessa forma, por serem íons metálico, a sorção são envolvidos pela troca catiônica, adsorção específica, complexação orgânica e precipitação (NASCIMENTO, 2001).

Na camada subsuperficial, os teores de micronutrientes (mg dm^{-3}) nos tratamentos adicionais foram: controle = B (0,19), Cu (1,2), Fe (13,8), Mn (13,5) e Zn (0,3) e adubação mineral convencional = B (0,34), Cu (1,3), Fe (13,0), Mn (9,1) e Zn (0,6) (Tabela 7). Assim como na camada superficial, observou-se aumento em relação aos teores B e Zn para o tratamento com adubação mineral convencional, quando comparado ao tratamento controle e diminuição nos teores de Mn.

As doses de CLE proporcionaram alteração nos teores de micronutrientes no solo, sendo observada variação de (mg dm^{-3}): área total = B (0,21-0,30), Cu (1,3-1,4), Fe (13,2-17,0), Mn (10,8-19,8) e Zn (0,5-0,7) e nas entrelinhas = B (0,23-0,34), Cu (1,4-1,5), Fe (15,8-16,2), Mn (10,9-11,9) e Zn (0,7-1,5). Para a camada subsuperficial, também se verificou que, de modo geral, a aplicação das doses de CLE em área total ou nas entrelinhas da cultura, promoveram aumento nos teores de B, Cu e Zn, quando comparado aos tratamentos adicionais. Entretanto, ainda que ocorra incremento na camada subsuperficial dos teores de micronutrientes pela aplicação de CLE, estes são menores em comparação à camada superficial, pois essa observação está relacionada à baixa movimentação de Cu, Fe, Mn e Zn no perfil do solo, evidenciando que os micronutrientes estão mais disponíveis na camada superficial. Esses resultados foram igualmente observados por Santos (2017). Lobo *et al.* (2013), avaliando o efeito da aplicação de um CLE na fertilidade de um LATOSSOLO VERMELHO Escuro, também constataram que os teores de B, Cu e Mn foram superiores na camada superficial (0–20 cm de profundidade) em relação à camada mais profunda (20–40 cm de profundidade). Os elementos Cu e Zn apresentam baixa mobilidade no perfil do solo devido à forte adsorção desses metais com coloides (orgânicos e inorgânicos) do solo, evidenciando grande capacidade de retenção desses nutrientes na superfície e após uma adubação orgânica (BERTOL *et al.*, 2010).

Quanto ao modo de aplicação do CLE, houve diferença para os teores de B e Mn no solo (Tabela 7). De modo geral, os teores de B estiveram mais disponíveis quando o composto foi aplicado nas entrelinhas da cultura. Por outro lado, verificaram-se maiores teores de Mn quando o CLE foi aplicado em área total, devido à menor complexação junto aos coloides orgânicos

Analisando os teores de micronutrientes em função do efeito residual da

aplicação do CLE no cultivo da cultura do milho, na camada superficial, observou-se que para todos os micronutrientes avaliados existe interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE (Tabela 8). Desse modo, verificou-se que houve aumento linear nos teores de B e Zn no solo e decréscimo linear para os teores de Mn quando o CLE foi aplicado em área total. A aplicação do CLE nas entrelinhas da cultura promoveu um ajuste quadrático no teor de B no solo, sendo o maior teor desse elemento ($0,36 \text{ mg dm}^{-3}$) obtido com a dose de $19,0 \text{ t ha}^{-1}$ de CLE, base úmida (Apêndice C).

Tabela 8 - Efeito dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE nos teores de Cu, Fe, Mn e Zn (mg dm⁻³) extraídos por DTPA e nos teores de B extraídos por água quente em duas profundidades do solo após o cultivo da cultura do milho

Tratamento	B		Cu			Fe		Mn		Zn	
	AT	EL	AT	EL		AT	EL	AT	EL	AT	EL
<i>0-20 cm</i>											
Controle		0,17 ^x		1,1 ^x		13,8 ^x		12,0 ^x		0,4 ^x	
Adubação mineral convencional		0,40 [#]		1,3 [#]		12,0 [#]		12,7 ^{x#}		1,1 [#]	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,28 cA	0,28 bA	1,3 bB [#]	1,4 bA		17,0 aA	14,8 bB ^x	13,7 aA ^{x#}	13,7 aA ^{x#}	1,2 cA [#]	1,2 cA [#]
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,24 cB	0,35 aA	1,7 aA	1,2 cB ^{x#}		18,8 aA	11,0 cB ^{x#}	12,4 abA ^{x#}	10,6 bB ^x	1,9 bA	1,1 cB [#]
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,39 bA [#]	0,37 aA [#]	1,4 bB	1,6 aA		14,2 bB ^x	17,8 aA	11,1 bB ^{x#}	15,1 aA	2,0 bA	2,0 aA
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,49 aA	0,34 aB	1,6 aA [#]	1,3 bcB [#]		18,0 aA	10,8 cB [#]	10,7 bA ^{x#}	8,2 cB	3,1 aA	1,6 bB
Teste F											
Modos de Aplicação (MA)		2,30 ^{NS}		29,41 ^{**}		90,83 ^{**}		0,08 ^{NS}		74,93 ^{**}	
Doses de CLE (base úmida)		61,52 ^{**}		7,06 ^{**}		4,75 ^{**}		32,93 ^{**}		59,21 ^{**}	
(MA) x (CLE)		41,90 ^{**}		51,37 ^{**}		52,96 ^{**}		19,27 ^{**}		30,28 ^{**}	
CV (%)		7,0		4,8		6,9		7,8		11,7	
<i>20-40 cm</i>											
Controle		0,21 ^x		1,5 ^x		15,8 ^x		14,2 ^x		0,1 ^x	
Adubação mineral convencional		0,26 [#]		1,4 ^x	MD	14,0 ^{x#}		9,2 [#]		0,1 ^x	MD
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,22 bB ^x	0,26 aA [#]	1,4 ^x	1,5 ^x	1,5 a	14,2 abB ^{x#}	16,2 aA ^x	10,3 aB [#]	14,8 aA ^x	0,1 ^x	0,1 ^x 0,1 c
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,24 aA [#]	0,22 bB ^x	1,4 ^x	1,3	1,3 b	14,8 abA ^{x#}	11,8 cB	10,5 aA [#]	8,6 cB [#]	0,2 ^x	0,2 ^x 0,2 bc
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,24 aB [#]	0,27 aA [#]	1,5 ^x	1,5 ^x	1,5 a	15,2 aA ^{x#}	15,0 abA ^{x#}	12,0 aA ^x	13,4 aA ^x	0,3	0,3 0,3 ab
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	0,26 aA [#]	0,25 aA [#]	1,4 ^x	1,4 ^x	1,4 ab	13,0 bA [#]	13,8 bA ^{x#}	11,0 aA [#]	10,8 bA [#]	0,4	0,3 0,4 a
Teste F											
Modos de Aplicação (MA)		4,71 [*]		0,34 ^{NS}		0,14 ^{NS}		6,75 [*]		1,46 ^{NS}	
Doses de CLE (base úmida)		9,85 ^{**}		8,54 ^{**}		10,18 ^{**}		17,26 ^{**}		16,69 ^{**}	
(MA) x (CLE)		14,98 ^{**}		1,25 ^{NS}		9,77 ^{**}		14,09 ^{**}		1,46 ^{NS}	
CV (%)		4,7		4,2		6,7		8,9		34,4	
<i>Limites de interpretação⁽¹⁾</i>											
Baixo		0 – 0,20		0 – 0,2		0 – 4		0 – 1,2		0 – 0,5	
Médio		0,21 – 0,60		0,3 – 0,8		5 – 12		1,3 – 5,0		0,6 – 1,2	
Alto		> 0,60		> 0,8		> 12		> 5,0		> 1,2	

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúscula para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{x, #} Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). ⁽¹⁾ Raji *et al.* (1997). Fonte: Próprio autor.

De modo contrário ao observado no presente estudo, Jakubus e Bakinowska (2018) verificaram incremento nos teores disponíveis de Cu, Fe, Mn e Zn (avaliado pelo método DTPA), em solo médio, após a aplicação de 6 t ha⁻¹ de CLE. Backes *et al.* (2013) também evidenciaram aumento nos teores disponíveis de Cu, Fe Mn e Zn em resposta à aplicação do CLE da ETE da cidade de Jundiaí. Esse mesmo composto foi utilizado por Lobo *et al.* (2013), os quais também notaram elevação nos teores disponíveis de B, Cu, Fe, Mn e Zn em um LATOSSOLO VERMELHO Escuro. Todavia, cabe ressaltar que as doses avaliadas (variando de 12 a 60 t ha⁻¹) por esses autores são bem distintas das utilizadas no presente estudo. Cabe salientar também, que a maioria das pesquisas são realizadas com o LE *in natura*, sendo poucos os estudos que utilizaram o LE compostado. O CLE contém menores quantidades de nutrientes em relação ao lodo de origem e, conseqüentemente, ocorre uma estabilização do resíduo ocasionando baixas taxas de mineralização nos solos (BARREIRA *et al.*, 2006; BASTIDA *et al.*, 2008).

Os teores de micronutrientes (mg dm⁻³) no solo cultivado com a cultura do milho em função dos tratamentos adicionais foram de: controle = B (0,17), Cu (1,1), Fe (13,8), Mn (12,0) e Zn (0,4) e adubação mineral convencional = B (0,40), Cu (1,3), Fe (12,0), Mn (12,7) e Zn (1,1) (Tabela 8). Também, foi encontrada variação nos teores de micronutrientes no solo em função das doses de CLE aplicadas (mg dm⁻³), sendo: área total = B (0,24-0,49), Cu (1,3-1,7), Fe (14,2-18,8), Mn (10,7-13,7) e Zn (1,2-2,0) e entrelinhas = B (0,28-0,37), Cu (1,2-1,6), Fe (10,8-17,8), Mn (8,2-15,1) e Zn (1,1-1,6).

De modo geral, a aplicação das doses de CLE em área total, ou nas entrelinhas da cultura, promoveu efeitos residuais para os teores de micronutrientes no solo após o cultivo de milho (Tabela 8). Os teores de B, Cu, Fe e Zn no solo, após a aplicação do CLE, foram superiores ao tratamento controle nos dois modos de aplicação. Porém, dependendo do elemento, foram inferiores, iguais ou superiores aos teores obtidos no tratamento com adição de fertilizante mineral. Evidencia-se, ademais, que o tratamento com adubação mineral convencional recebeu suplementação de B e Zn no solo via fontes de alta solubilidade.

Foi constatado aumento nos teores de B no solo após o cultivo da cultura do milho em comparação aos teores encontrados no final do ciclo da cultura da soja. Este fato está associado à liberação desse nutriente pela matéria orgânica. A aplicação do CLE como fonte de B, gerando efeito residual, mostrou ser uma alternativa viável para os solos do Cerrado que, devido ao menor conteúdo de matéria orgânica, apresentam naturalmente baixos teores desse nutriente (SILVEIRA *et al.*, 2007). Sabe-se que a

matéria orgânica é considerada a principal fonte de B visando à adequada nutrição das plantas (ABREU *et al.*, 2007). Tal fato também pode estar relacionado ao efeito da sucessão soja-milho, aumentando a liberação de B por meio dos restos culturais da soja, o que contribuiu para elevar a disponibilidade desse elemento no solo. Carvalho *et al.* (2004) afirmam que a sucessão de cultivos de diferentes espécies auxilia na manutenção dos nutrientes no solo.

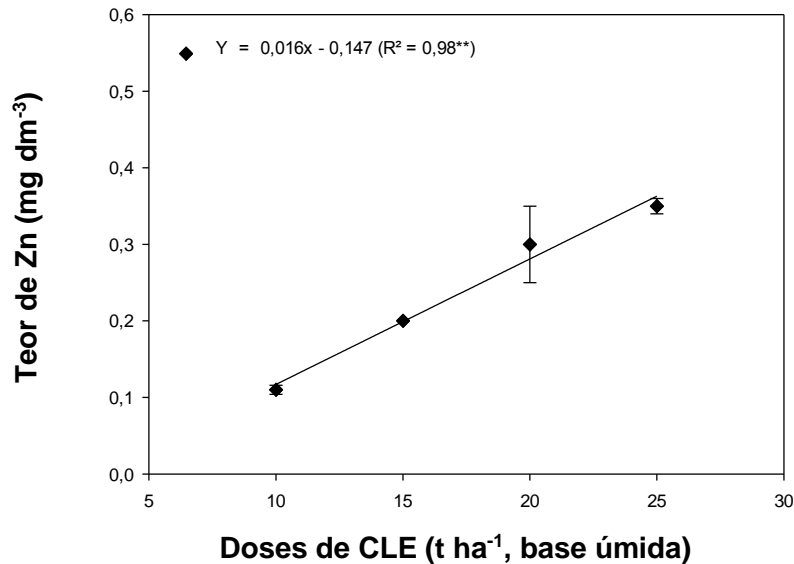
Os teores de Mn se mantiveram iguais aos dos tratamentos adicionais, independentemente do modo de aplicação do CLE. Além disso, com exceção do B e do Mn, houve diferença significativa para o modo de aplicação (Tabela 8), sendo observado, de modo geral, superioridade nos teores dos elementos em que o CLE foi aplicado em área total.

Em relação aos teores de micronutrientes no solo analisados após o cultivo da soja, em comparação aos teores avaliados após o cultivo do milho, verificou-se que não houve alteração das classes de interpretação, conforme recomendações descritas por Raij *et al.* (1997), confirmando o efeito residual das duas aplicações consecutivas de CLE nesse solo.

Em relação à camada 20–40 cm de profundidade, verificou-se que existe interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para os teores de B, Fe e Mn no solo (Tabela 8). Desse modo, constatou-se que com o aumento das doses de CLE em área total promoveu o incremento linear para os teores de B e Zn e ajuste quadrático para os teores de Mn aplicados em área total, sendo o maior teor de elemento ($15,1 \text{ mg dm}^{-3}$) obtido com a dose $16,0 \text{ tha}^{-1}$ (base úmida). Contudo, quando o CLE foi aplicado nas entrelinhas das culturas, houve aumento linear para os teores de Zn no solo (Apêndice C). Pôde-se notar, ainda, que o teor de Zn no solo aumentou linearmente com a elevação das doses de CLE (Figura 23), evidenciando, mais uma vez, a capacidade do CLE em disponibilizar esse nutriente no solo pra as plantas.

Figura 23 - Teor de Zn no solo (camada 20–40 cm de profundidade) extraído por DTPA após o cultivo da cultura do milho em função das doses de CLE aplicadas.

** – Significativo a 1% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

Em relação aos tratamentos adicionais, verificou-se que os teores de micronutrientes (mg dm⁻³) na camada subsuperficial do solo com a cultura do milho, foram de: controle = B (0,21), Cu (1,5), Fe (15,8), Mn (14,2) e Zn (0,1) e adubação mineral convencional = B (0,26), Cu (1,4), Fe (14,0), Mn (9,2) e Zn (0,1) (Tabela 8). Também foi encontrada variação nos teores de micronutrientes no solo em função das doses de CLE aplicadas (mg dm⁻³), sendo: área total = B (0,22-0,26), Cu (1,4-1,5), Fe (14,2-15,2), Mn (10,3-12,0) e Zn (0,1-0,4) e entrelinhas = B (0,22-0,27), Cu (1,3-1,5), Fe (13,8-16,2), Mn (8,6-14,8) e Zn (0,1-0,3).

Considerando o efeito residual da aplicação do CLE na camada mais profunda, constatou-se que, de modo geral, houve incremento nos teores de B e Zn no solo, fazendo com que o composto possa ser considerado uma importante fonte no fornecimento desses elementos. Tais resultados são de grande importância já que a deficiência desses micronutrientes causam grande impacto negativo na produtividade de culturas como a soja e o milho em solos da região do Cerrado (RESENDE *et al.*, 2019).

b) Teores de Cu, Fe, Mn e Zn extraídos por Mehlich-1

Na camada superficial, após o cultivo da soja, verificou-se que houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para os teores de Cu e Zn (Tabela 9). Observou-se, também, que com aumento das doses de CLE aplicadas em área total elevou de modo linear os teores de Cu e proporcionou um ajuste quadrático para os teores de Zn, no qual a dose $17,6 \text{ t ha}^{-1}$ (base úmida) resultou no maior teor de Zn no solo ($2,7 \text{ mg dm}^{-3}$). Em relação à aplicação do CLE nas entrelinhas da cultura da soja, notou-se haver um ajuste quadrático para o teor de Zn no solo. A dose de $19,1 \text{ t ha}^{-1}$ de CLE (base úmida) aplicada nas entrelinhas foi a responsável pelo maior teor ($2,8 \text{ mg dm}^{-3}$) desse elemento no solo (Apêndice D). Notou-se que o aumento das doses de CLE incrementaram os teores de Fe no solo na camada de 0–20 cm de profundidade, independentemente do modo de aplicação (Figura 24).

Os teores de micronutrientes (mg dm^{-3}) disponíveis no solo (camada superficial), obtidos pelo extrator Mehlich-1, nos tratamentos adicionais foram de: controle = Cu (2,3), Fe (103,0), Mn (30,3) e Zn (1,3) e adubação mineral convencional = Cu (2,0), Fe (88,2), Mn (21,3) e Zn (2,0) (Tabela 9). Os teores de micronutrientes (mg dm^{-3}) no solo em função das doses de CLE aplicadas variaram de: na área total = Cu (2,1-2,4), Fe (82,5-99,0), Mn (23,0-27,3) e Zn (1,7-2,9) e nas entrelinhas = Cu (2,0-2,4), Fe (81,0-96,8), Mn (26,8-30,0) e Zn (2,2-3,1). Dessa forma, observou-se que, de modo geral, com a aplicação de CLE, houve incremento nos teores de Zn e os teores de Cu, Fe e Mn foram similares aos tratamentos adicionais.

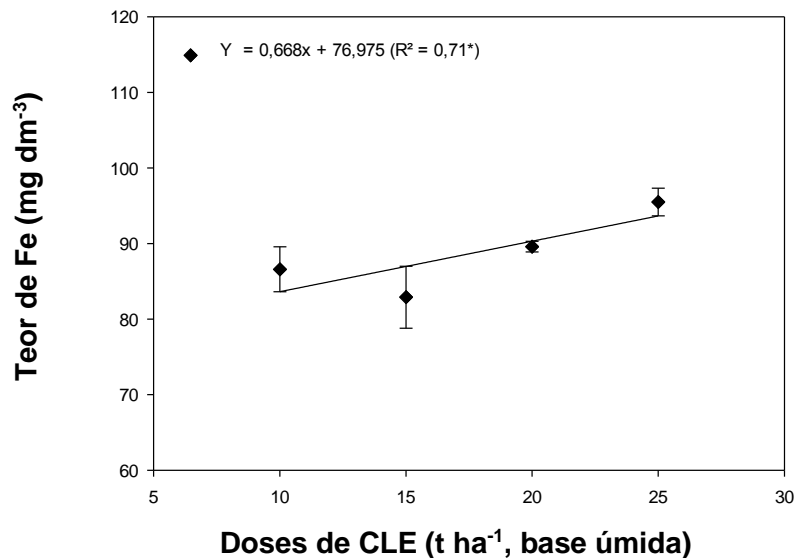
Tabela 9 - Efeito das doses e do modo de aplicação do CLE nos teores de Cu, Fe, Mn e Zn (mg dm^{-3}) extraídos por Mehlich-1 em duas profundidades do solo após o cultivo da cultura da soja

Tratamento	Cu		Fe			Mn		Zn	
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	
<i>0-20 cm</i>									
Controle		2,3 ^x		103,0 ^x			30,3 ^x		1,3 ^x
Adubação mineral convencional		2,0 [#]		88,2 ^{x#}		MD	21,3 [#]		2,0 [#]
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	2,1 cB ^{x#}	2,4 aA ^x	84,8 [#]	88,5 ^{x#}	86,6 ab	23,0 ^{x#}	30,0 ^x	1,7 bB ^{x#}	2,2 bA [#]
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	2,4 bA ^x	2,0 bB [#]	84,8 [#]	81,0 [#]	82,9 b	26,5 ^{x#}	27,7 ^{x#}	2,4 aA [#]	2,3 bA [#]
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	2,3 bcA ^x	2,3 aA ^x	82,5 [#]	96,8 ^{x#}	89,6 ab	25,2 ^{x#}	26,8 ^{x#}	2,9 aA [#]	3,1 aA [#]
25,0 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	2,6 aA	2,4 aB ^x	99,0 ^{x#}	92,0 ^{x#}	95,5 a	27,3 ^{x#}	27,8 ^{x#}	1,8 bB [#]	2,4 bA [#]
Teste F									
Modos de Aplicação (MA)		5,40 [*]		0,38 ^{NS}			5,38 [*]		11,30 ^{**}
Doses de CLE (base úmida)		13,33 ^{**}		3,33 [*]			0,38 ^{NS}		29,04 ^{**}
(MA) x (CLE)		16,14 ^{**}		2,60 ^{NS}			1,78 ^{NS}		3,52 [*]
CV (%)		4,3		9,2			11,9		10,7
<i>20-40 cm</i>									
Controle		1,8 ^x		93,2 ^x			15,1 ^x		0,5 ^x
Adubação mineral convencional		2,0 ^{x#}		82,0 [#]			12,6 ^{x#}		1,4 [#] MD
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	2,2 [#]	2,0 ^{x#}	77,0 bA [#]	71,0 bA	14,6 bA ^{x#}	13,8 bA ^{x#}	1,1 ^{x#}	1,2 [#]	1,1 b
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	2,1 ^{x#}	1,9 ^{x#}	101,0 aA ^x	75,0 bB [#]	22,0 aA	15,7 abB ^{x#}	2,1 [#]	1,5 [#]	1,8 a
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	2,0 ^{x#}	2,1 ^{x#}	82,2 bB [#]	110,0 aA	17,1 bA ^x	18,3 aA ^x	1,7 [#]	2,0 [#]	1,9 a
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	2,4 [#]	2,0 ^{x#}	102,0 aA	105,7 aA	15,7 bA ^{x#}	16,5 abA ^{x#}	1,7 [#]	1,6 [#]	1,7 ab
Teste F									
Modos de Aplicação (MA)		7,50 [*]		0,01 ^{NS}			4,16 ^{NS}		0,26 ^{NS}
Doses de CLE (base úmida)		1,98 ^{NS}		72,92 ^{**}			10,34 ^{**}		4,67 ^{**}
(MA) x (CLE)		2,21 ^{NS}		55,83 ^{**}			7,61 ^{**}		1,72 ^{NS}
CV (%)		8,2		4,7			11,0		28,2
<i>Limites de interpretação⁽¹⁾</i>									
Muito baixo		≤ 0,3		≤ 8			≤ 2		≤ 0,4
Baixo		0,4 – 0,7		9 – 18			3 – 5		0,5 – 0,9
Médio		0,8 – 1,2		19 – 30			6 – 8		1,0 – 1,5
Bom		1,3 – 1,8		31 – 45			9 – 19		1,6 – 2,2
Alto		> 1,8		> 45			> 12		> 2,2

Nota: **, * e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúscula para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{x, #} Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). ⁽¹⁾ Alvarez *et al.* (1999).

Fonte: Próprio autor.

Figura 24 - Teor de Fe no solo (camada 0–20 cm de profundidade) extraído por Mehlich-1 após o cultivo da cultura da soja em função das doses de CLE aplicadas. * – Significativo a 5% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

Os teores de Cu, Fe, Mn e Zn no solo extraídos por Mehlich-1 (Tabela 9) foram superiores aos teores desses elementos obtidos pelo extrator DTPA (Tabela 7). Silva *et al.* (2009), avaliando os teores de micronutrientes em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, também verificaram maiores teores de Mn e Zn extraídos por Mehlich-1 quando comparados ao extrator DTPA. Ortiz *et al.* (2007) também observaram maiores teores de Cu, Mn e Zn em LATOSSOLOS de textura franco arenosa, quando esses elementos foram extraído por Mehlich-1. Vários trabalhos demonstraram, principalmente para Mn e Zn, maior extração pelo método Mehlich-1 (ORTIZ *et al.*, 2007; CUNHA *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2009). Todavia, embora o Mehlich-1 tenha apresentado maior extração, o método é criticado por extrair formas de nutrientes não-disponíveis ligados a sítios de adsorção específica (ARAÚJO; NASCIMENTO, 2005). Portanto, vários pesquisadores afirmam que o método de extração por DTPA tem o melhor comportamento para avaliar a disponibilidade destes elementos para as plantas (BORGES; COUTINHO, 2004; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2005). Além disso, como Mehlich-1 atua por uma dissolução ácida, as estimativas de teores disponíveis de Cu, Mn e Zn podem superestimar ou não conseguir extrair os nutrientes recentemente adicionados via fertilizante, em função das reações químicas de dissolução dos mesmos (SOBRAL *et al.*, 2013).

Com a aplicação do CLE, notou-se que os teores de micronutrientes extraídos por Mehlich-1 apresentaram mudanças de classe em relação aos teores iniciais (Tabela 2). Dessa forma, verificaram-se alterações dos teores de Cu (de médio para alto), de Fe (de bom para alto) e de Zn (de baixo para bom) no solo. Como os teores iniciais de Mn no solo já eram elevados, não foi observada alteração de classe (ALVAREZ *et al.*, 1999). Dessa maneira, constatou-se que o CLE é de fato uma importante fonte alternativa de Cu e Zn. Tal fertilizante pode ser aplicado em solos deficientes com objetivo de nutrir adequadamente as culturas.

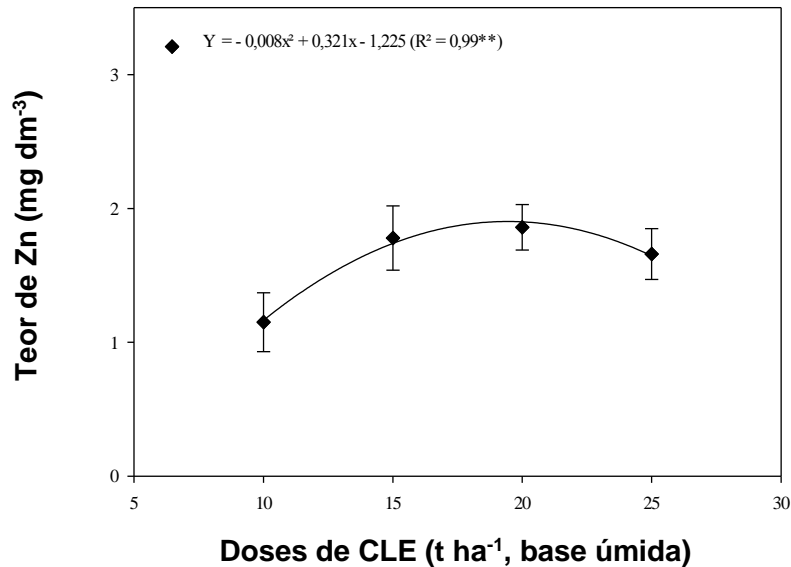
Exceto para o teor de Fe, houve diferença entre o modo de aplicação do CLE, no qual os maiores teores de Mn e Zn foram obtidos com a aplicação do CLE nas entrelinhas das culturas, enquanto verificaram-se maiores teores de Cu quando o CLE foi aplicado em área total (Tabela 9). Entretanto, como os teores de Mn e Zn aplicados em área total estão na mesma classe de resposta (teores altos) que os aplicados nas entrelinhas (RAIJ *et al.*, 1997), não se justifica a aplicação nas entrelinhas da cultura.

De acordo com o método Mehlich-1, a análise dos teores de micronutrientes na camada subsuperficial, após a cultura da soja, demonstrou que para os teores de Fe e Mn houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE (Tabela 9). No entanto, observou-se que, para o teor de Cu, o aumento das doses aplicadas em área total resultou em um ajuste quadrático negativo. Enquanto para os teores de Mn e Zn, foi observado um ajuste quadrático positivo, sendo as doses 17,4 e 18,0 t ha⁻¹ (base úmida) as que proporcionaram os maiores teores de Mn (20,2 mg dm⁻³) e de Zn (1,8 mg dm⁻³) no solo, respectivamente (Apêndice D).

Em relação à aplicação do CLE nas entrelinhas, verificou-se que o aumento das doses incrementou os teores de Fe no solo e proporcionou um ajuste quadrático positivo para o teor de Mn, sendo a dose de 20,4 t ha⁻¹ (base úmida) a que proporcionou o maior teor (17,5 mg dm⁻³) desse elemento no solo (Apêndice D). Notou-se ainda que o aumento das doses CLE promoveu um ajuste quadrático nos teores de Zn, sendo o maior teor desse elemento (2,0 mg dm⁻³) obtido com a aplicação de 20,1 t ha⁻¹ de CLE (base úmida) (Figura 25).

Figura 25 - Teor de Zn no solo (camada 20–40 cm de profundidade) extraído por Mehlich-1 após o cultivo da cultura da soja em função das doses de CLE aplicadas.

** – Significativo a 1% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

Na camada subsuperficial, verificou-se que os teores de micronutrientes (mg dm⁻³) dos tratamentos adicionais foram de: controle = Cu (1,8), Fe (93,2), Mn (15,1) e Zn (0,5) e adubação mineral convencional = Cu (2,0), Fe (82,0), Mn (12,6) e Zn (1,4) (Tabela 9). Também foi encontrada variação nos teores de micronutrientes no solo em função das doses de CLE aplicadas (mg dm⁻³), sendo: área total = Cu (2,0-2,4), Fe (82,2-102,0), Mn (14,6-17,1) e Zn (1,1-2,1) e nas entrelinhas = Cu (1,9-2,1), Fe (71,0-110,0), Mn (13,8-18,3) e Zn (1,1-2,0). De modo geral, os teores de Cu e Mn com aplicação de CLE não apresentaram diferença dos tratamentos adicionais. Porém, para o teor de Mn, houve incremento em relação à aplicação nas entrelinhas. Em relação ao teor de Zn no solo, os valores foram similares à adubação mineral convencional, sendo este um importante resultado.

Em relação à classe de resposta para a camada mais profunda analisada, constatou-se que houve mudança para os teores de micronutrientes com a aplicação de CLE. Portanto, o teor de Cu mudou de médio para alto; o teor de Fe, de bom para alto; e o teor de Zn, de muito baixo para bom (ALVAREZ *et al.*, 1999). Dessa forma, a aplicação de CLE foi importante também para aumentar os teores na camada mais

profunda do solo, apesar de a aplicação do CLE nesse estudo ter sido realizada superficialmente, fator importante para a nutrição das plantas com sistema radicular mais profundo.

Quanto ao modo de aplicação do CLE, apenas o teor de Cu apresentou diferença, com a aplicação em área total sendo superior à aplicação nas entrelinhas (Tabela 9). Tal fato torna a aplicação em área total mais recomendada. Ademais, ao observar os teores extraídos na camada subsuperficial, verificou-se também que todos os teores de micronutrientes catiônicos no solo foram maiores em relação ao método de extração por DTPA.

Cabe ressaltar que o método adotado (DTPA) para a avaliação dos teores disponíveis no solo, mesmo sendo amplamente utilizado, consegue estimar apenas uma pequena fração desses elementos no solo (ABREU *et al.*, 2007). Assim, metodologias que usam ácidos fortes para a obtenção de teores semitotais (HCl + HNO₃ - USEPA, 2007) e avaliam as ligações (fracionamentos químicos do solo e da matéria orgânica) desses íons no solo (NOGUEIRA *et al.*, 2010), também são de grande importância para identificar a dinâmica dos micronutrientes no solo após aplicação de resíduos orgânicos. Esse fato se torna ainda mais importante para solos em que há maior participação de óxidos na adsorção desses micronutrientes em função da presença da matéria orgânica (ácidos húmicos, fúlvicos, polifenóis, etc.), que contribui para a complexação desses metais, diminuindo consideravelmente a disponibilidade no solo e absorção pelas culturas (KABATA-PENDIAS; MUKHERJEE, 2007). Nogueira *et al.* (2013) descreveram que o método de extração escolhido é importante para auxiliar no monitoramento dos solos alterados com resíduos orgânicos, tendo como objetivo entender o mecanismo de retenção para um determinado elemento e em uma determinada fração do solo.

Para a camada superficial, após a cultura do milho, não houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para os teores de micronutrientes extraídos por Mehlich-1 (Tabela 10). Entretanto, houve efeito de doses para o Mn, apresentando um decréscimo linear com aumento das doses de CLE (Figura 26).

Tabela 10 - Efeito das doses e do modo de aplicação do CLE nos teores de Cu, Fe, Mn e Zn (mg dm^{-3}) extraídos por Mehlich-1 em duas profundidades do solo após o cultivo da cultura do milho

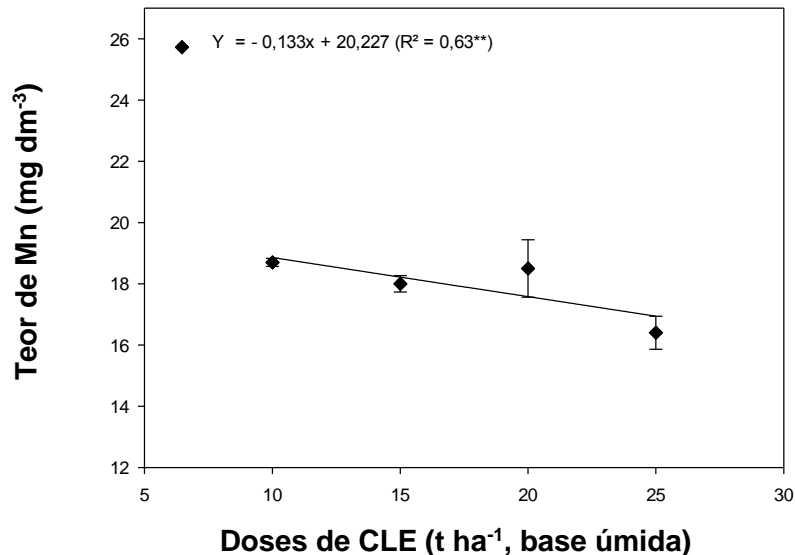
Tratamento	Cu		Fe		Mn		Zn		
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	
<i>0-20 cm</i>									
Controle		1,2 ^x		41,5 ^x		15,0 ^x		1,0 ^x	
Adubação mineral convencional		1,4 ^{x#}		44,7 ^x		15,6 ^{x#}	MD	2,1 ^x	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	1,7 [#]	1,4 ^{x#}	46,7 ^x	44,1 ^x	18,2 [#]	19,3	18,7 a	1,9 ^x	1,5 ^x
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	1,3 ^{x#}	1,3 ^{x#}	42,2 ^x	44,4 ^x	18,3 [#]	17,6 ^{x#}	18,0 ab	2,0 ^x	1,6 ^x
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	1,4 ^{x#}	1,3 ^{x#}	43,2 ^x	38,9 ^x	18,6	18,4	18,5 a	1,8 ^x	1,4 ^x
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	1,3 ^{x#}	1,2 ^{x#}	42,4 ^x	40,9 ^x	16,3 ^{x#}	16,4 ^{x#}	16,4 b	1,9 ^x	1,3 ^x
Teste F									
Modos de Aplicação (MA)		3,21 ^{NS}		0,84 ^{NS}		0,03 ^{NS}		3,47 ^{NS}	
Doses de CLE (base úmida)		2,85 ^{NS}		1,32 ^{NS}		4,44 [*]		0,14 ^{NS}	
(MA) x (CLE)		1,13 ^{NS}		0,65 ^{NS}		0,56 ^{NS}		0,03 ^{NS}	
CV (%)		14,6		11,2		8,3		43,6	
<i>20-40 cm</i>									
Controle		1,2 ^x		39,1 ^x		10,4 ^x		0,3 ^x	
Adubação mineral convencional		1,2 ^x		43,0 ^{x#}		10,8 ^x		0,4 ^x	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	1,1 ^x	1,3 ^x	43,4 ^{x#}	40,5 ^{x#}	9,6 ^x	10,8 ^x	0,4 ^x	0,3 ^x	
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	1,2 ^x	1,2 ^x	40,7 ^{x#}	43,6 ^{x#}	11,5 ^x	10,4 ^x	0,4 ^x	0,2 ^x	
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	1,2 ^x	1,2 ^x	39,6 ^{x#}	41,4 ^{x#}	9,8 ^x	12,1 ^x	0,4 ^x	0,3 ^x	
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	1,1 ^x	1,1 ^x	47,6 [#]	41,5 ^{x#}	11,7 ^x	12,0 ^x	0,3 ^x	0,2 ^x	
Teste F									
Modos de Aplicação (MA)		1,40 ^{NS}		0,72 ^{NS}		1,21 ^{NS}		4,56 [*]	
Doses de CLE (base úmida)		1,87 ^{NS}		1,73 ^{NS}		1,15 ^{NS}		1,07 ^{NS}	
(MA) x (CLE)		2,23 ^{NS}		2,74 ^{NS}		1,38 ^{NS}		0,52 ^{NS}	
CV (%)		7,6		8,5		16,2		40,4	
<i>Limites de interpretação⁽¹⁾</i>									
Muito baixo		≤ 0,3		≤ 8		≤ 2		≤ 0,4	
Baixo		0,4 – 0,7		9 – 18		3 – 5		0,5 – 0,9	
Médio		0,8 – 1,2		19 – 30		6 – 8		1,0 – 1,5	
Bom		1,3 – 1,8		31 – 45		9 – 19		1,6 – 2,2	
Alto		> 1,8		> 45		> 12		> 2,2	

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúscula para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^x, [#] Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). ⁽¹⁾ Alvarez *et al.*, (1999).

Fonte: Próprio autor.

Figura 26 - Teor de Mn no solo (camada 0–20 cm de profundidade) extraído por Mehlich- 1 após o cultivo da cultura da soja em função das doses de CLE aplicadas.

** – Significativo a 1% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

Os teores de micronutrientes (mg dm⁻³) dos tratamentos adicionais em função do efeito residual da aplicação do CLE na camada superficial, foram: controle = Cu (1,2), Fe (41,5), Mn (15,0) e Zn (1,0) e adubação mineral convencional = Cu (1,4), Fe (44,7), Mn (15,6) e Zn (2,1) (Tabela 10). Os teores de micronutrientes (mg dm⁻³) no solo, em função das doses de CLE aplicadas, variaram de: área total = Cu (1,3-1,7), Fe (42,2-46,7), Mn (16,3-18,6) e Zn (1,8-2,0) e nas entrelinhas = Cu (1,2-1,4), Fe (38,9-44,4), Mn (16,4-19,3) e Zn (1,3-1,6). Dessa maneira, observou-se que, apesar da diminuição dos teores de Fe, Mn e Zn em área total, estes permaneceram na mesma classe de resposta após o ciclo da cultura da soja. Os teores de Cu e Zn tiveram suas classes alteradas de teor alto para teor bom e de teor bom para teor médio (ALVAREZ *et al.*, 1999), respectivamente, quando o CLE foi aplicado nas entrelinhas da cultura da soja. Essa diminuição nos teores de Zn pode estar relacionada à maior absorção desse elemento pela cultura do milho.

A análise da aplicação de CLE, confirmou que os teores de Cu, Fe e Zn foram semelhantes aos tratamentos adicionais. Entretanto, quanto ao teor de Mn, a aplicação do CLE foi semelhante à adubação mineral ou superior aos tratamentos adicionais. Tal

fato demonstra que, em relação à extração por DTPA, os teores de Cu, Fe e Zn com aplicação de CLE foram superiores em relação aos teores dos tratamentos adicionais. É importante destacar também que os teores de Fe e Mn extraídos por DTPA foram menores em relação aos teores extraídos por Mehlich-1.

Não houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para os teores de micronutrientes extraídos por Mehlich-1 na camada subsuperficial (Tabela 10). Mesmo não havendo interação, pôde-se notar que o teor de Cu no solo apresentou, com o aumento das doses do CLE em área total, ajuste quadrático positivo, em que a dose de $19,6 \text{ t ha}^{-1}$ (base úmida) proporcionou o maior teor ($1,3 \text{ mg dm}^{-3}$) de Cu no solo. Porém, para o teor de Fe, obteve-se um ajuste quadrático negativo. A aplicação do CLE nas entrelinhas promoveu um decréscimo linear nos teores de Cu no solo (Apêndice D).

Os teores de micronutrientes (mg dm^{-3}) dos tratamentos adicionais na camada subsuperficial foram de: controle = Cu (1,2), Fe (39,1), Mn (10,4) e Zn (0,3) e adubação mineral convencional = Cu (1,2), Fe (43,0), Mn (10,8) e Zn (0,4) (Tabela 10). Já no solo, em função das doses de CLE aplicadas, variaram de: área total = Cu (1,1-1,2), Fe (39,6-47,6), Mn (9,6-11,7) e Zn (0,3-0,4) e nas entrelinhas = Cu (1,1-1,3), Fe (40,5-43,6), Mn (10,4-12,1) e Zn (0,2-0,2). Desse modo, ao analisar a mudança de classe, observou-se que em relação às classes encontradas após o cultivo da cultura da soja, o teor de Cu retornou para médio e o teor de Zn passou de alto para muito baixo (ALVAREZ *et al.*, 1999).

Quanto ao efeito residual do CLE em relação à camada subsuperficial, verificou-se que os teores de micronutrientes originados por meio da aplicação do CLE não apresentaram diferença em relação aos tratamentos adicionais, aproximando-se dos resultados obtidos pelo método DTPA. Observou-se também que os teores de Cu e Mn extraídos pelo método DTPA foram menores e que os teores de Fe e Zn foram mais altos.

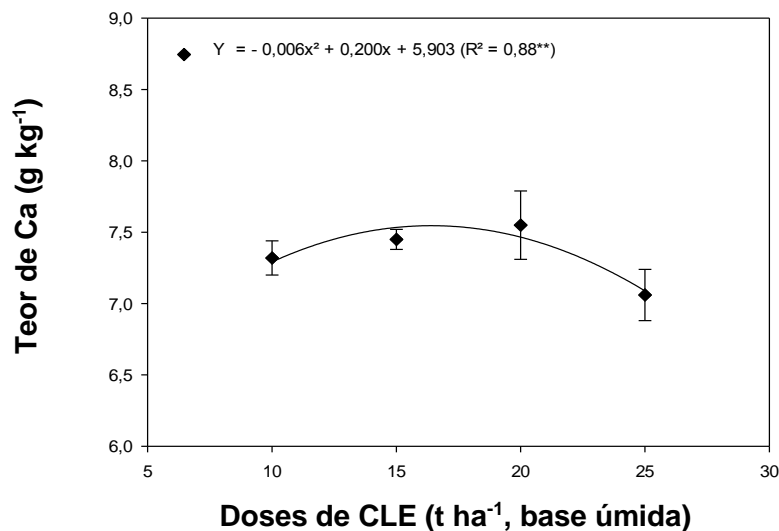
No que se refere ao modo de aplicação, apenas para o teor de Zn foi observada uma diferença significativa, com destaque à aplicação do CLE em área total (Tabela 10). Portanto, ao observar os teores extraídos por Mehlich-1, destaca-se a importância da aplicação em área total, mesmo para os teores que não tenham obtido diferença nos dois modos de aplicação. Como já mencionado, tal fato deve-se, principalmente, à maior praticidade e ao menor custo de aplicação.

6.3 AVALIAÇÃO DAS CULTURAS

6.3.1 Teores de nutrientes nas folhas

Apenas os teores de Mg e S nas folhas da soja apresentaram interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE (Tabela 11). Houve decréscimo linear nos teores de Mg nas folhas, podendo estar relacionado a processos de inibição, devido à quantidade fornecida de Ca^{+2} e K^+ e ajuste quadrático para os teores de Ca foliar (dose máxima = 16 t ha^{-1} , base úmida e maior teor de $7,6 \text{ g kg}^{-1}$) em função da aplicação de CLE nas entrelinhas da cultura da soja. Notou-se também que o aumento das doses, independentemente do modo de aplicação do CLE, proporcionou um ajuste quadrático positivo nos teores de Ca nas folhas, sendo a dose de $16,7 \text{ t ha}^{-1}$ (base úmida) a que proporcionou o maior teor foliar ($7,5 \text{ g kg}^{-1}$) (Figura 27).

Figura 27 - Teor de Ca nas folhas da cultura da soja em resposta à aplicação de doses CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

Os teores foliares de macronutrientes (g kg^{-1}) para a cultura da soja variaram de acordo com o modo de aplicação do CLE, sendo: área total = N (45,8-48,0), P (3,2-3,6), K (22,4-22,6), Ca (7,3-7,5), Mg (3,2-3,4) e S (2,2-2,5) e entrelinhas = N (48,1-49,3), P (3,1-3,5), K (17,3-20,5), Ca (6,8-7,6), Mg (2,8-3,5) e S (2,3-2,5). Também foi observada uma variação nos teores desses elementos (g kg^{-1}) nos tratamentos adicionais: controle = N (49,0), P (3,0), K (17,7), Ca (3,5), Mg (3,5) e S (2,2); adubação mineral

convencional = N (45,4), P (3,4), K (22,8), Ca (7,2), Mg (3,5) e S (2,4). Dessa forma, verificou-se que os teores dos macronutrientes foram mantidos dentro da faixa considerada adequada para o bom estado nutricional da cultura da soja (AMBROSANO *et al.*, 1997) (Tabela 11). Assim, a presença de macronutrientes em teores equilibrados é fundamental para que a cultura tenha um aproveitamento eficiente dos nutrientes (DOMINGOS; LIMA; BRACCINI, 2015).

Quanto ao modo de aplicação do CLE, uma diferença significativa foi observada em relação ao teor de N, com a aplicação nas entrelinhas obtendo maior teor foliar (Tabela 11). Todavia, apesar de N ser o macronutriente mais absorvido pela cultura da soja (MORAIS *et al.*, 2019), verificou-se que o seu teor estava dentro dos limites adequados nos dois modos de aplicação. É importante lembrar que a maior parte do N absorvido pela cultura da soja é originado da fixação biológica, portanto, apesar de o CLE apresentar grande quantidade de N em sua composição, não seria a principal fonte de N para a cultura da soja.

Tabela 11 - Efeito das doses e do modo de aplicação do CLE nos teores de macronutrientes (g kg⁻¹) na folha diagnose das culturas de soja e milho

Tratamento	N		P		K		Ca		Mg		S			
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL		
<i>Soja</i>														
Controle	49,0 ^x		3,0 ^x			17,7 ^x		7,7 ^x		3,5 ^x		2,2 ^x		
Adubação mineral convencional	45,4 ^x		3,4 [#]		MD	22,8 [#]		7,2 ^{x#}		3,5 ^x		2,4 ^{x#}		
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	45,8 ^x	48,7 ^x	3,3 [#]	3,4 [#]	3,4 ab	22,6 [#]	20,2 ^{x#}	7,3 ^{x#}	7,3 ^{x#}	7,3 ab	3,2 aB ^x	3,5 aA ^x	2,2 aB ^{x#}	2,5 aA [#]
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	46,7 ^x	48,1 ^x	3,2 ^{x#}	3,2 ^{x#}	3,2 b	22,4 [#]	20,5 ^{x#}	7,5 ^{x#}	7,4 ^{x#}	7,4 a	3,4 aA ^x	3,1 bA	2,5 aA ^{x#}	2,3 aA ^{x#}
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	48,0 ^x	49,3 ^x	3,6 [#]	3,5 [#]	3,5 a	23,4 [#]	20,3 ^{x#}	7,5 ^{x#}	7,6 ^{x#}	7,5 a	3,3 aA ^x	3,4 abA ^x	2,4 aA ^{x#}	2,4 aA ^{x#}
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	46,6 ^x	48,9 ^x	3,4 [#]	3,1 ^{x#}	3,3 b	22,5 [#]	17,3 ^x	7,3 ^{x#}	6,8 [#]	7,1 b	3,3 aA ^x	2,8 cB	2,4 aA ^{x#}	2,3 aA ^{x#}
Teste F														
Modos de Aplicação (MA)	8,22 ^{**}		1,10 ^{NS}			18,25 ^{**}		1,87 ^{NS}		1,17 ^{NS}		0,06 ^{NS}		
Doses de CLE (base úmida)	0,82 ^{NS}		8,47 ^{**}			1,39 ^{NS}		5,88 ^{**}		6,49 ^{**}		0,20 ^{NS}		
(MA) x (CLE)	0,31 ^{NS}		2,43 ^{NS}			0,98 ^{NS}		2,78 ^{NS}		8,81 ^{**}		4,10 [*]		
CV (%)	4,0		4,0			9,9		3,3		5,4		6,0		
Faixa de interpretação de teores ⁽¹⁾	40 – 54		2,5 – 5,0			17 – 25		4 – 20		3,0 – 10,0		2,1 – 4,0		
<i>Milho</i>														
Controle	27,0 ^x		2,1 ^x			19,4 ^x		3,1 ^x		2,3 ^x		1,7 ^x		
Adubação mineral convencional	28,6 ^{x#}		2,5 [#]		MD	20,4 ^{x#}		3,2 ^x		2,3 ^x		1,8 ^x		
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	31,0	29,6 [#]	2,4 [#]	2,3 [#]	2,3 b	21,2 aA [#]	20,7 abA ^{x#}	2,5 cA	2,6 cA	1,7 bA	1,9 abA	1,8 ^x	1,8 ^x	
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	29,5 [#]	29,7 [#]	2,5 [#]	2,4 [#]	2,4 ab	21,0 aA ^{x#}	20,6 abA ^{x#}	3,0 abA ^x	3,0 abA ^x	2,1 aA ^x	2,1 abA ^x	1,8 ^x	1,8 ^x	
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	30,0 [#]	30,5 [#]	2,4 [#]	2,4 [#]	2,4 ab	21,5 aA [#]	19,5 bB ^{x#}	2,7 bcB	3,3 aA ^x	1,9 abB	2,2 aA ^x	1,9 ^x	1,9 ^x	
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	29,7 [#]	30,5 [#]	2,6 [#]	2,4 [#]	2,5 a	21,4 aA [#]	22,0 aA [#]	3,2 cA ^x	2,9 bcB ^x	2,1 aA ^x	1,9 bB	1,8 ^x	1,9 ^x	
Teste F														
Modos de Aplicação (MA)	0,00 ^{NS}		4,90 [*]			3,59 ^{NS}		2,40 ^{NS}		2,17 ^{NS}		1,20 ^{NS}		
Doses de CLE (base úmida)	0,58 ^{NS}		3,91 [*]			2,83 ^{NS}		11,21 ^{**}		4,21 [*]		1,65 ^{NS}		
(MA) x (CLE)	1,41 ^{NS}		2,82 ^{NS}			3,19 [*]		6,89 ^{**}		5,03 ^{**}		0,29 ^{NS}		
CV (%)	4,0		4,0			4,1		6,6		8,2		6,2		
Faixa de interpretação de teores ⁽²⁾	27 – 35		2,0 – 4,0			17 – 35		2,5 – 8,0		1,5 – 5,0		1,5 – 3,0		

Nota: **, * e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúscula para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^x, [#] Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). CLE em base úmida. Faixa de teores adequados conforme ⁽¹⁾ Ambrosano *et al.* (1997) e ⁽²⁾ Raji (2011).

Fonte: Próprio autor.

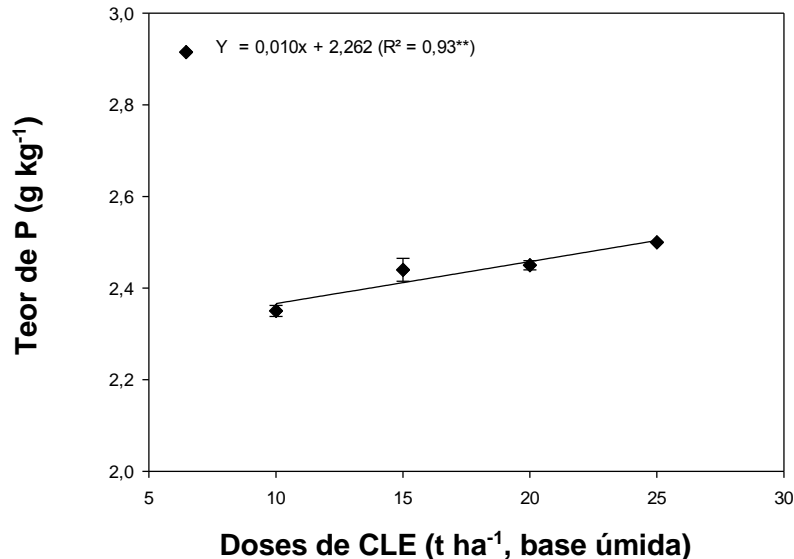
Para os tratamentos adicionais, apenas os teores foliares de P e K apresentaram diferença estatística (Tabela 11). A maior absorção ocorreu por meio da fertilização mineral, devido à aplicação por meio de fontes solúveis no solo, corroborando com os altos teores disponíveis encontrados no solo.

Notou-se que os teores de macronutrientes são similares aos encontrados nos tratamentos que receberam aplicação de CLE, sendo que, para os teores de P e K, os tratamentos aplicados com o CLE se aproximaram dos teores obtidos para a fertilização mineral. Entretanto, como na cultura da soja os tratamentos com CLE também receberam fertilização com NPK na semeadura, visto que o intuito era avaliar o CLE como fonte de micronutrientes, pôde-se notar que não houve aumento no teor foliar de P e K com a aplicação do CLE.

Quanto aos teores foliares de macronutrientes na cultura do milho, houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para os teores de K, Ca e Mg (Tabela 11). O aumento das doses de CLE aplicadas em área total aumentou linearmente os teores de Ca foliar. Ainda que não tenha sido observada interação para os teores de P, verificou-se aumento linear desse nutriente em função do aumento das doses aplicadas do CLE em área total.

A aplicação do CLE nas entrelinhas da cultura da soja proporcionou um ajuste quadrático negativo no teor de K e um ajuste quadrático positivo para os teores de Ca e Mg, sendo que as doses de 21,1 e de 19,1 t ha⁻¹ (base úmida) promoveram os maiores teores desses elementos (3,5 e 2,4 g kg⁻¹, respectivamente) no tecido foliar. Observou-se ainda que o aumento das doses do CLE aumentou linearmente o teor de P nas folhas (Figura 28), independentemente do modo de aplicação

Figura 28 - Teor de P nas folhas da cultura do milho em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

Quanto ao efeito residual da aplicação do CLE, verificou-se que não houve diferença para o modo de aplicação em relação a todos os teores foliares de macronutrientes na cultura do milho (Tabela 11). Dessa forma, fica evidente que o modo de aplicação não influenciou na absorção pelas plantas de milho.

Os teores (g kg⁻¹) foliares de macronutrientes para a cultura do milho apresentaram variação de acordo com o modo de aplicação do CLE, sendo: área total = N (29,5-31,0), P (2,4-2,6), K (21,0-21,5), Ca (2,5-3,2), Mg (1,7-2,1) e S (1,8-1,9) e nas entrelinhas = N (29,6-30,35), P (2,3-2,4), K (21,0-21,5), Ca (2,5-3,2), Mg (1,7-3,5) e S (1,8-1,9). Para os tratamentos adicionais também foi observada variação nos teores (g kg⁻¹) desses micronutrientes: controle = N (27,0), P (2,1), K (19,4), Ca (3,1), Mg (2,3) e S (1,7) e adubação mineral convencional = N (28,6), P (2,5), K (20,4), Ca (3,2), Mg (2,3) e S (1,8). Dessa maneira, verificou-se que os teores dos macronutrientes na folha do milho estiveram dentro da faixa considerada adequada (Tabela 11) (RAIJ, 2011).

Apesar do efeito residual da aplicação do CLE, os teores foliares de N, P e K na cultura do milho demonstraram ser similares aos teores obtidos com a fertilização mineral. Para o alto rendimento do milho de segunda safra cultivado em solos do Cerrado, é importante o manejo adequado de N e K, sendo estes os macronutrientes mais requeridos pela a cultura do milho (RESENDE *et al.*, 2019). Nesse contexto, nota-se que o CLE pode ser fonte complementar de N, P e K. Junio *et al.* (2013), avaliando a

aplicação do CLE na cultura do milho, observaram um incremento nos teores de N, P e K nas folhas, sendo encontrados em concentrações adequadas para a boa nutrição e consequente aumento da produtividade da cultura. Gonçalves *et al.* (2019) avaliaram os efeitos da cultura do milho com LE e observaram que os teores de N e P, além da produção de matéria seca, aumentaram, indicando que o esse resíduo pode ser utilizado como fonte de nutriente para essa cultura. Pesquisa com a cultura do azevém, também mostrou aumentou dos teores de N, P e K com o uso do CLE como parte do substrato (CHENG *et al.*, 2007). Esses autores concluíram que a utilização do CLE na agricultura, não apenas reduz a necessidade de nutrientes, mas também proporciona adequado destino para esses resíduos.

Mesmo com o CLE contendo N em sua composição, não foi notado um aumento do teor de N foliar (Tabela 11). Tal fato se deve à baixa relação C/N do composto (~10), de modo que a disponibilidade de N se torna menor, devido à baixa taxa de mineralização, já que se trata de um produto que sofreu um processo de compostagem (BACKES *et al.*, 2013).

Em relação aos teores foliares de micronutrientes na cultura da soja, houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para os teores de Fe, Mn e Zn (Tabela 12). Os teores de Ni na planta estavam abaixo do limite de quantificação. Dessa forma, pôde-se notar que o aumento das doses de CLE em área total promoveram um ajuste quadrático positivo no teor foliar de Fe, sendo a dose 18,2 t ha⁻¹ (base úmida) a que propiciou o maior teor foliar de Fe (36,5 mg kg⁻¹). Com o aumento das doses do CLE nas entrelinhas, houve um ajuste quadrático positivo para o teor de Mn, sendo que a maior dose desse nutriente na cultura da soja (39,3 mg kg⁻¹) foi obtida com a dose de 21,3 t ha⁻¹ (base úmida) (Apêndice F). Independente do efeito da interação, foi notado incremento linear no teor foliar de B em função do aumento das doses de CLE nas entrelinhas da cultura. Quanto ao modo de aplicação, houve diferença para os teores foliares na cultura da soja para o B, Fe e Zn. Observou-se que para os três houve maior teor quando o CLE foi aplicado em área total.

Os teores (mg kg⁻¹) foliares de micronutrientes para a cultura da soja variaram de acordo com o modo de aplicação do CLE, sendo: área total = B (30,5-35,5), Cu (4,6-5,0), Fe (34,2-50,0), Mn (36,1-39,0) e Zn (31,1-34,9) e nas entrelinhas = B (27,7-31,5), Cu (4,9-5,2), Fe (28,6-38,5), Mn (31,5-38,7) e Zn (28,4-30,7).

Tabela 12 - Efeito das doses e do modo de aplicação do CLE nos teores de micronutrientes (mg kg⁻¹) na folha diagnose das culturas de soja e milho

Tratamento	B		Cu		Fe		Mn		Zn		
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	
<i>Soja</i>											
Controle	23,5 ^x		5,2 ^x		37,5 ^x		38,0 ^x		28,8 ^x		
Adubação mineral convencional	34,0 [#]	MD	5,3 ^x		30,8 ^x		42,9 [#]		31,6 ^{x#}		
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	34,7 [#]	28,4	31,5 ab	4,6 ^x	4,9 ^x	34,2 bA ^x	34,8 aA ^x	36,1 aA ^x	31,5 bB	31,4 bA ^{x#}	28,4 aB ^{x#}
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	30,5 [#]	27,7 ^x	29,1 b	5,0 ^x	4,6 ^x	40,2 abA ^x	36,2 aA ^x	37,4 aA ^x	37,0 aA ^x	31,1 bA ^{x#}	29,3 aA ^{x#}
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	35,5 [#]	29,5	32,5 a	4,9 ^x	5,2 ^x	50,0 aA	28,6 aB ^x	39,0 aA ^{x#}	38,7 aA ^x	31,7 bA ^{x#}	30,7 aA ^{x#}
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	34,9 [#]	31,5 [#]	33,2 a	4,6 ^x	4,4	35,9 bA ^x	38,5 aA ^x	37,7aA ^x	38,1 aA ^x	34,9 aA [#]	29,8 aB ^{x#}
Teste F											
Modos de Aplicação (MA)	41,63 ^{**}		0,00 ^{NS}		9,11 ^{**}		3,46 ^{NS}		30,36 ^{**}		
Doses de CLE (base úmida)	6,16 ^{**}		2,93 ^{NS}		1,24 ^{NS}		11,46 ^{**}		4,86 ^{**}		
(MA) x (CLE)	1,52 ^{NS}		2,07 ^{NS}		8,86 ^{**}		3,12 [*]		3,26 [*]		
CV (%)	6,6		7,2		14,2		4,9		4,6		
<i>Faixa de interpretação de teores</i> ⁽¹⁾	21 – 55		10 – 30		50 – 350		20 – 100		20 – 50		
<i>Milho</i>											
Controle	5,0 ^x		7,2 ^x		86,5 ^x		35,6 ^x		28,2 ^x		
Adubação mineral convencional	5,5 ^x		5,8 ^x		90,0 ^x		37,2 ^{x#}		24,2 ^{x#}	MD	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	4,6 aB ^x	12,8 aA	6,0 aA ^x	6,1 bA ^x	98,7 bA [#]	87,7 bB ^{x#}	27,9 aA	21,9 cB	24,1 ^{x#}	26,6 ^{x#}	25,3 b
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	4,6 aA ^x	4,7 cA ^x	7,1 aA ^x	7,0 bA ^x	89,7 bB ^{x#}	104,0 aA	28,9 aA	30,1 abA ^x	27,3 ^{x#}	26,2 ^{x#}	26,7 ab
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	4,4 aB ^x	8,7 bA	6,4 aB ^x	10,9 aA	116,5 aA	101,7 aB	27,1 aB	35,3 aA ^{x#}	28,8 ^{x#}	29,3 ^{x#}	29,0 a
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	4,9 aA ^x	5,4 cA ^x	6,9 aA ^x	6,4 bA ^x	89,0 bB ^{x#}	98,5 abA [#]	28,9 aA	24,7 bcA	28,2 ^{x#}	27,2 ^x	27,7 ab
Teste F											
Modos de Aplicação (MA)	37,77 ^{**}		6,33 [*]		0,06 ^{NS}		0,03 ^{NS}		0,07 ^{NS}		
Doses de CLE (base úmida)	11,78 ^{**}		7,46 ^{**}		14,08 ^{**}		6,94 ^{**}		3,78 [*]		
(MA) x (CLE)	13,03 ^{**}		8,22 ^{**}		13,51 ^{**}		9,11 ^{**}		1,15 ^{NS}		
CV (%)	24,6		16,4		5,8		10,1		8,4		
<i>Faixa de interpretação de teores</i> ⁽²⁾	10 – 25		6 – 20		30 – 250		20 – 200		15 – 100		

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúscula para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^x, [#] Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). CLE em base úmida. Faixa de teores adequados conforme ⁽¹⁾ Ambrosano *et al.* (1997) e ⁽²⁾ Raji (2011).
Fonte: Próprio autor.

Foi observada variação nos teores (mg kg^{-1}) dos micronutrientes nos tratamentos adicionais: controle = B (23,5), Cu (5,2), Fe (37,5), Mn (38,0) e Zn (28,8) e adubação mineral convencional = B (34,0), Cu (5,3), Fe (30,8), Mn (42,9) e Zn (31,6). Exceto o teor de Cu nas folhas, notou-se que os teores de micronutrientes estiveram dentro da faixa considerada para o adequado estado nutricional da cultura da soja (Tabela 12). Todavia, mesmo com o teor de Cu estando abaixo da faixa adequada (AMBROSANO *et al.*, 1997), não foram observados sintomas visuais de deficiência desse micronutriente na cultura da soja.

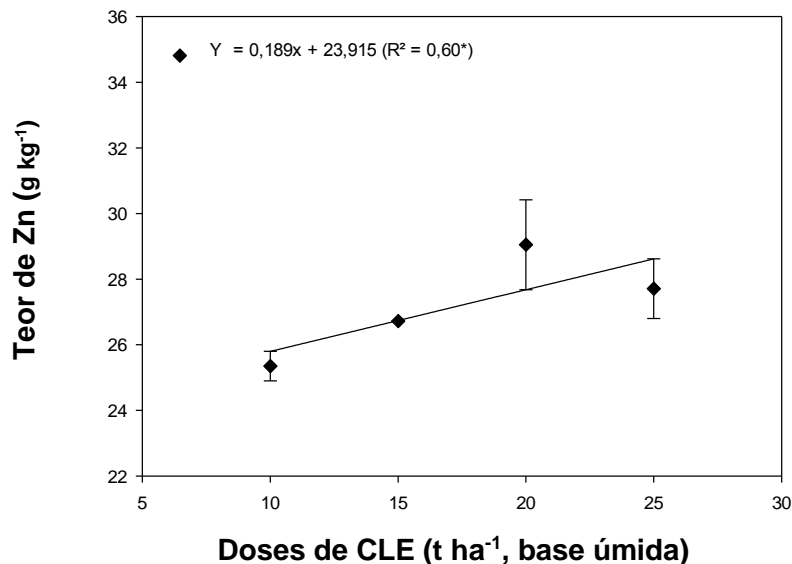
Ainda sobre a cultura da soja, com exceção dos teores de B e Mn, não foi observada diferença nos teores foliares de micronutrientes entre os tratamentos adicionais. Ademais, os teores desses elementos são similares aos encontrados nos tratamentos que receberam os dois modos de aplicação de CLE (Tabela 12). Notou-se também que, mesmo existindo incremento nos teores de B e Zn no solo por meio da aplicação de CLE, não foi observado aumento nos teores de micronutrientes nas folhas da cultura da soja. Tal fato pode estar relacionado a diversos processos bioquímicos e fisiológicos da planta, os quais auxiliam nos mecanismos de tolerância em resposta ao excesso desses micronutrientes no solo (MENDOZA-CÓZATIL *et al.*, 2011).

Na cultura do milho, exceto para o Zn, reportou-se interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para os teores foliares de micronutrientes (Tabela 12). O aumento das doses do CLE aplicadas em área total elevaram linearmente os teores de Zn nas folhas. Já com aumento das doses aplicadas nas entrelinhas, houve um ajuste quadrático negativo para o teor de B e um ajuste quadrático positivo para os teores de Cu, Fe e Mn, sendo as doses de 18,2, 19,5 e 18,2 t ha^{-1} (base úmida) as que proporcionaram os maiores teores (9,2, 106,4 e 57,1 mg kg^{-1} , respectivamente) desses elementos (Apêndice F). Observou-se também que, com o aumento das doses de CLE, independentemente do modo da aplicação, incrementaram-se de modo linear os teores de Zn nas folhas da cultura do milho (Figura 29), o que se deve ao aumento da disponibilidade de Zn.

Os teores (mg kg^{-1}) foliares de micronutrientes para a cultura do milho apresentaram variação de acordo com o modo de aplicação do CLE, sendo: área total = B (4,6-4,9), Cu (6,0-7,1), Fe (89,0-116,5), Mn (27,1-28,9) e Zn (24,1-28,8) e nas entrelinhas = B (4,7-12,8), Cu (6,1-10,9), Fe (87,7-104,0), Mn (21,9-35,3) e Zn (26,2-29,0). Para os tratamentos adicionais, foram observados os seguintes teores (mg kg^{-1}) desse micronutrientes: controle = B (5,0), Cu (7,2), Fe (86,5), Mn (35,6) e Zn (28,6) e

adubação mineral convencional = B (5,5), Cu (5,8), Fe (90,0), Mn (3,8) e Zn (24,2). Exceto para o B, notou-se um adequado estado nutricional da cultura do milho em relação aos teores de micronutrientes (Tabela 12). Entretanto, mesmo o teor de B estando abaixo da faixa adequada para a cultura do milho (RAIJ *et al.*, 2011), não foram observados sintomas visuais de deficiência. Além disso, apesar de o teor foliar estar abaixo do limite adequado na folha do milho, verificou-se que os teores no solo foram considerados adequados para os tratamentos que receberam aplicação do CLE. Sabe-se que a matéria orgânica é considerada a principal fonte de B e a absorção desse nutriente pelas plantas se deve à sua mineralização (ABREU *et al.*, 2007). Resende *et al.* (2019) reportaram que o B não constitui reservas significativas com as adubações, devido à tendência de esse elemento ser carregado em profundidade como molécula neutra ($H_3BO_3^0$). Portanto, o teor de B continua sendo fator crítico mesmo em áreas bem adubadas.

Figura 29 - Teor de Zn nas folhas da cultura do milho em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 5% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

Vale destacar também que para os tratamentos com aplicação de CLE, os teores foliares de Mn foram menores em relação aos tratamentos adicionais. Conforme já destacado anteriormente, isso pode estar relacionado à diminuição da disponibilidade dos teores de Mn no solo, devido ao aumento do pH pela aplicação do CLE. Além do pH, outro fator importante é a matéria orgânica, que pode complexar

com o Mn no solo, diminuindo a sua disponibilidade (BORKERT; PAVAN; BATAGLIA, 2001; PIGOZZO *et al.*, 2008).

Quanto ao modo de aplicação do CLE, houve diferença apenas para os teores foliares de B e Cu (Tabela 12), com ambos os elementos tendo a maior absorção quando o composto foi aplicado nas entrelinhas. Considerando que, para os dois modos de aplicação, os teores foliares dos micronutrientes estudados estavam adequados conforme o nível crítico para a cultura (RAIJ, 2011), sugere-se que a aplicação seja realizada em área total.

Notou-se que aplicação de CLE não influenciou o aumento dos teores foliares de micronutrientes na cultura do milho, principalmente, para os teores de Zn, apesar dos altos teores disponíveis no solo em função da aplicação de CLE. Praticamente são inexistentes estudos evidenciando o fornecimento de Zn para culturas agrícolas por meio da aplicação de CLE. Por outro lado, diversas pesquisas realizadas com o uso do LE demonstraram aumento nos teores foliares de Zn na cultura do milho, em função da grande quantidade deste elemento no resíduo (SILVA *et al.*, 2002; GALDOS *et al.*, 2004; NASCIMENTO *et al.*, 2004).

De modo geral, ao analisar macro e micronutrientes a partir da aplicação de CLE, não foi possível encontrar um padrão de incremento nos teores de nutrientes nas folhas de soja e de milho em função do aumento das doses aplicadas de ambos os modos. Tal fato foi também observado por Bertolazi *et al.* (2017), em pesquisa com aplicação do CLE no cultivo inicial de eucalipto

6.3.2 Extração de nutrientes pela parte aérea

Em relação aos macronutrientes extraídos pela parte aérea da cultura da soja, observou-se interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para o N, P e S (Tabela 13). Na aplicação nas entrelinhas, o aumento das doses gerou um ajuste quadrático negativo para o P extraído e um aumento linear de S (Apêndice G). Backes *et al.* (2010), avaliando nutrientes exportados na grama esmeralda, constataram um aumento nos teores extraídos de S relacionado ao aumento das doses de LE. Esse aumento foi atribuído ao fato de o resíduo apresentar uma quantidade considerável de S em sua composição.

Para o modo de aplicação, houve maior extração de N, P, Ca e S em função da aplicação do CLE em área total (Tabela 13). Dessa forma, é evidente que o maior

aproveitamento dos macronutrientes, provenientes da aplicação do CLE na cultura do milho, deve-se à aplicação em área total, o que pode estar relacionado à maior distribuição e conseqüente aumento da área de absorção radicular, tanto é que muitos nutrientes no solo se sobressaíram na aplicação nas entrelinhas.

Entre os tratamentos adicionais, apenas P e K extraídos foram significativamente maiores para a fertilização mineral, devido à aplicação de fontes solúveis destes elementos. Entretanto, para a extração de N, não foi observada diferença entre os tratamentos devido à inoculação de organismos fixadores de N para todos os tratamentos. Apesar do aumento – principalmente de N, P e K – dos nutrientes extraídos com a aplicação do CLE, observou-se que não houve diferença entre os tratamentos adicionais.

Tabela 13 - Extração de macronutrientes (kg ha⁻¹) pela parte aérea da soja e do milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE

Tratamento	N		P		K		Ca		Mg		S		
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	
<i>Soja</i>													
Controle	86,5 ^x		13,8 ^x		99,8 ^x		46,1 ^x		35,0 ^x		7,8 ^x		
Adubação mineral convencional	137,0 ^{x#}		35,3 [#]		167,0 [#]		68,9 ^x		57,1 [#]		9,8 ^x		
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	123,0 bA ^{x#}	145,5 aA [#]	19,7 bA	20,2 aA	163,0 [#]	140,0 ^{x#}	54,2 ^x	53,4 ^x	38,5 ^{x#}	33,9 ^x	10,1 aA ^x	6,1 bB ^x	
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	210,0 aA	123,8 aB ^{x#}	32,9 aA [#]	18,5 aB ^x	158,2 ^{x#}	128,0 ^{x#}	74,0 ^x	54,7 ^x	49,3 ^{x#}	34,8 ^x	12,0 aA ^x	6,4 bB ^x	
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	117,2 bA ^{x#}	93,0 aA ^{x#}	18,5 bA ^x	17,2 aA ^x	118,0 ^{x#}	121,2 ^{x#}	55,5 ^x	51,0 ^x	34,5 ^x	34,5 ^x	9,0 aA ^x	8,2 abA ^x	
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	233,2 aA	114,8 aB ^{x#}	19,8 bA	21,3 aA	138,2 ^{x#}	158,8 [#]	68,9 ^x	54,3 ^x	40,5 ^{x#}	39,1 ^{x#}	10,2 aA ^x	11,6 aA ^x	
Teste F													
Modos de Aplicação (MA)	22,89 ^{**}		12,95 ^{**}		0,66 ^{NS}		4,29 [*]		2,29 ^{NS}		6,11 [*]		
Doses de CLE (base úmida)	8,66 ^{**}		12,41 ^{**}		2,55 ^{NS}		1,37 ^{NS}		1,00 ^{NS}		1,77 ^{NS}		
(MA) x (CLE)	8,53 ^{**}		15,42 ^{**}		1,68 ^{NS}		0,83 ^{NS}		0,92 ^{NS}		2,98 [*]		
CV (%)	22,0		12,3		18,4		23,1		24,3		28,4		
<i>Milho</i>													
Controle	6,6 ^x		0,5 ^x		11,3 ^x		4,4 ^x		3,8 ^x		0,8 ^x		
Adubação mineral convencional	11,9 [#]		MD		0,8 [#]		16,0 [#]		3,0 [#]		0,9 ^{x#}		
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	13,3 [#]	15,3	14,3 a	0,7 abB ^{x#}	1,3 aA	17,1 aB [#]	23,5 aA	4,5 aA ^x	5,2 abA ^x	4,3 ^x	5,1	1,0 ^{x#}	1,2 [#]
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	11,6 [#]	13,2 [#]	12,4 b	0,9 aA [#]	0,8 bA [#]	18,9 aA [#]	15,4 bB [#]	4,9 aA ^x	4,3 bA ^x	4,4 ^x	5,1	1,2 [#]	1,1 ^{x#}
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	14,3 [#]	14,8	14,4 a	0,5 bB ^x	1,0 bA [#]	18,8 aA [#]	16,1 bA [#]	3,1 b [#]	5,2 ab ^x	5,1	4,9	1,2 [#]	1,3
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	12,0 [#]	13,8 [#]	12,9 ab	0,9 aB [#]	1,3 aA	17,2 aB [#]	24,8 aA	5,5 aB	6,2 aA	4,4 ^x	5,4	1,2 [#]	1,4
Teste F													
Modos de Aplicação (MA)	10,18 ^{**}		84,51 ^{**}		5,91 [*]		14,46 ^{**}		12,55 ^{**}		2,61 ^{NS}		
Doses de CLE (base úmida)	5,28 ^{**}		14,85 ^{**}		6,02 ^{**}		15,11 ^{**}		0,62 ^{NS}		2,34 ^{NS}		
(MA) x (CLE)	0,58 ^{NS}		15,23 ^{**}		13,70 ^{**}		8,67 ^{**}		2,93 ^{NS}		1,47 ^{NS}		
CV (%)	10,3		12,3		12,5		11,5		10,0		13,7		

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúscula para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{x, #} Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). CLE em base úmida. Fonte: Próprio autor.

De modo geral, a quantidade de macronutrientes extraídos na cultura da soja obedeceu a seguinte ordem: $N > K > Ca > Mg > P > S$. No entanto, Caires e Fonseca (2000) determinaram em seus estudos que o P foi um dos elementos mais absorvidos pela soja, ficando na posição de terceiro macronutriente mais extraído. Teixeira (2017), estudando áreas de alto rendimento da cultura da soja nos municípios Castro (PR), Montividiu (GO), Primavera do Leste (MT) e Manborê (PR), constatou que os macronutrientes N e P estavam disponíveis em maiores quantidades. Contudo, as quantidades de Ca e Mg extraídas foram maiores para os tratamentos com CLE, sendo que para K e S as quantidades extraídas foram similares nos municípios de Montividiu e Primavera do Leste.

Quanto aos macronutrientes extraídos pela parte aérea na cultura do milho, observou-se interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para P, K, Ca e Mg (Tabela 13). Dessa maneira, foi verificado um ajuste quadrático negativo para o P, K e Ca, aplicados nas entrelinhas (Apêndice G). O S extraído não apresentou interação com o aumento das doses aplicadas nas entrelinhas, ocorrendo um incremento linear na parte aérea da cultura do milho.

Exceto para o S, houve diferença de acordo com o modo de aplicação, já que o CLE nas entrelinhas promoveu as maiores extrações dos macronutrientes (Tabela 13).

Ao analisar os tratamentos adicionais, como era esperado, verificou-se que as quantidades extraídas de N, P, K e Ca para o tratamento com adubação mineral convencional foram maiores do que o tratamento controle (Tabela 13). Além do mais, pôde-se notar que a quantidade extraída de N, P, K e S para os tratamentos com aplicação de CLE foram similares ao observado para a fertilização mineral. Nesse contexto, infere-se que a adubação com o CLE é uma ótima alternativa como fonte de macronutrientes para cultura do milho, considerando ainda o efeito residual do CLE. Destaca-se, ainda que o Mg extraído no tratamento que recebeu aplicação do CLE nas entrelinhas foi maior que o encontrado nos tratamentos adicionais.

De modo geral, observou-se a seguinte ordem de macronutrientes extraídos na parte aérea da cultura do milho: $K > N > Ca > Mg > S > P$. Rosa (2017) avaliando híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense*, observou que independente do híbrido e da inoculação, a ordem de macronutrientes extraídos permanecia a seguinte: $N > K > Ca > P > Mg > S$. Silva (2016) também evidenciou que o N e o K são os elementos mais extraídos pela parte aérea da cultura do milho. Esses macronutrientes são fundamentais em vários processos do ciclo da planta. O N é

constituente da molécula de clorofila, aminoácidos, bases nitrogenadas, coenzimas, enzimas e ácidos nucléicos. Já o K não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica, mas atua em muitos processos fisiológicos no vegetal como: manutenção da turgescência das células, regulação da abertura e fechamentos dos estômatos, participação no transporte e armazenamento dos carboidratos, atuação na fotossíntese, etc. (TAIZ; ZEIGER, 2004; MEURER; TIECHER MATIELLO, 2018).

Observa-se também que P na cultura do milho é bem menos exigido do que os macronutrientes N e K, que são aplicados por meio de fertilizantes minerais. Entretanto, é o elemento que mais limita a produtividade; devido a isso, as doses recomendadas para a adubação são altas, pois o P é fortemente adsorvido aos coloides nos solos e pode sofrer reações de precipitação, sobretudo em solos com teores elevados de alumínio e ferro (NOVAIS *et al.*, 2007; SILVA, 2016), além de ser um nutriente muito exportado, pois se acumula nos grãos da soja na forma de fitatos (SILVA, *et al.*, 2011)

Em relação aos micronutrientes extraídos na parte aérea da cultura da soja, foi observada interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE apenas para o B e Zn (Tabela 14). Com o aumento das doses de CLE aplicadas em área total, observou-se um incremento linear do B extraído pela parte aérea da cultura. No caso da aplicação nas entrelinhas, constatou-se um ajuste quadrático negativo para extração de B e Zn (Apêndice G).

Quanto ao modo de aplicação, exceto para o Cu, não houve diferença na quantidade extraída pela parte aérea da cultura da soja (Tabela 14). Dessa maneira, fica evidente a escolha da aplicação em área total para obter maiores nutrientes extraídos pela planta.

O B, Mn e Zn extraídos pela parte aérea foram maiores nos tratamentos que receberam adubação mineral, quando comparado ao tratamento controle. Essa maior extração de B e Zn era esperada pela aplicação mineral de uma fonte solúvel para o tratamento com fertilização. Com relação à aplicação do CLE, as quantidades extraídas de micronutrientes foram similares aos tratamentos adicionais. Entretanto, para o Mn, as quantidades extraídas foram similares ao tratamento controle e inferiores aos tratamentos que receberam adubação mineral.

Observou-se a seguinte ordem para os micronutrientes extraídos pela cultura da soja: B > Mg > Fe > Zn > Cu. Teixeira (2017) verificou a seguinte ordem de extração dos micronutrientes: Fe > Zn > B > Mn > Cu. Já para o estudo de Caires e Fonseca (2000), avaliaram-se apenas Cu, Mn e Zn e a ordem de extração foi: Mn > Zn > Cu.

Ainda em relação ao estudo de Teixeira (2017), para a extração de micronutrientes observados nos municípios com alta produtividade da cultura da soja, conforme comentado anteriormente, o B e o Mn extraídos nos tratamentos que receberam a aplicação do CLE foram similares aos observados nos municípios de Castro e Montividiu. O Cu e o Zn extraídos nas plantas cultivadas em área que recebeu CLE e estas apresentaram valores similares para os municípios de Montividiu e Primavera do Leste. Em relação à quantidade extraída de micronutrientes para a cultura do milho, exceto para o Cu, observou-se interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE (Tabela 14).

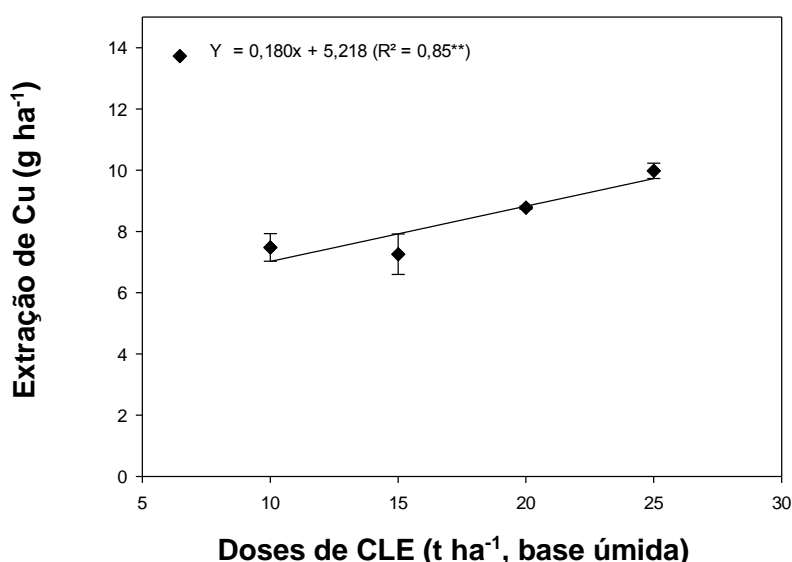
Tabela 14 - Extração de micronutrientes (g ha⁻¹) pela parte aérea da soja e do milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE

Tratamento	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL
<i>Soja</i>										
Controle	232,0 ^x		27,7 ^x		1308 ^x		176,5 ^x		93,2 ^x	
Adubação mineral convencional	312,5 [#]		37,7 ^x		1565 ^x		349,0 [#]		213,5 [#]	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	204,5 bA ^x	252,0 aA ^{x#}	28,6 ^x	36,2 ^x	1398 ^x	1630 ^x	202,2 ^x	163,2 ^x	119,5 bA ^x	108,8 abA ^x
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	282,8 aA ^{x#}	174,0 bB ^x	43,7 ^x	28,4 ^x	1447 ^x	1055 ^x	213,0 ^x	200,8 ^x	185,2 aA [#]	103,2 abB ^x
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	253,0 abA ^{x#}	224,8 abA ^x	35,2 ^x	28,5 ^x	1232 ^x	1141 ^x	164,2 ^x	155,2 ^x	103,0 bA ^x	88,0 bA ^x
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	285,2 aA ^{x#}	279,2 aA ^{x#}	39,5 ^x	27,5 ^x	1519 ^x	1112 ^x	195,5 ^x	209,5 ^x	104,0 bB ^x	158,0 aA ^{x#}
Teste F										
Modos de Aplicação (MA)	2,84 ^{NS}		5,47 [*]		1,91 ^{NS}		0,33 ^{NS}		1,27 ^{NS}	
Doses de CLE (base úmida)	3,29 [*]		0,46 ^{NS}		1,42 ^{NS}		1,13 ^{NS}		3,13 [*]	
(MA) x (CLE)	5,25 ^{**}		2,69 ^{NS}		1,61 ^{NS}		0,29 ^{NS}		5,42 ^{**}	
CV (%)	16,0		25,0		25,1		28,2		26,4	
<i>Milho</i>										
Controle	10,9 ^x		5,7 ^x		282 ^x		62,5 ^x		24,2 ^x	
Adubação mineral convencional	5,4 [#]		6,2 ^{x#}		MD		41,6 ^{x#}		15,5 [#]	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	7,7 bA [#]	8,9 bA ^x	7,1 ^{x#}	7,8	7,5 c	216 aA [#]	204 bA [#]	49,3 abB ^{x#}	66,0 bA ^x	16,4 cB ^{x#}
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	13,1 aA ^x	9,4 bB ^x	7,3 [#]	7,2 [#]	7,2 c	265 aA ^{x#}	180 bB [#]	67,2 aA ^x	42,0 cB ^{x#}	25,0 bA ^x
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	13,1 aA ^x	9,2 bB ^x	8,5	9,0	8,8 b	202 aB [#]	279 aA ^{x#}	30,5 bB [#]	65,6 bA ^x	22,4 bcA ^{x#}
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	9,3 bB ^x	13,8 aA ^x	10,4	9,6	10,0 a	223 aA ^{x#}	198 bA [#]	59,4 aB ^{x#}	89,4 aA ^x	32,4 aA
Teste F										
Modos de Aplicação (MA)	0,73 ^{NS}		0,10 ^{NS}		0,88 ^{NS}		14,86 ^{**}		3,26 ^{NS}	
Doses de CLE (base úmida)	7,80 ^{**}		24,04 ^{**}		1,44 ^{NS}		9,31 ^{**}		14,03 ^{**}	
(MA) x (CLE)	13,93 ^{**}		1,79 ^{NS}		7,75 ^{**}		13,79 ^{**}		5,70 ^{**}	
CV (%)	15,3		9,2		15,0		18,1		14,4	

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúscula para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^x, [#] Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). Fonte: Próprio autor.

Independente do efeito da interação, foi notado o incremento linear para o Cu extraído pela parte aérea em função dos dois modos de aplicação. Verificou-se, igualmente, que o aumento das doses aplicadas em área total promoveu um incremento linear para as quantidades de Cu e Zn extraídos. Para o B, ocorreu um ajuste quadrático positivo, sendo a maior extração de B ($13,9 \text{ g ha}^{-1}$) obtida com a dose de $18,1 \text{ t ha}^{-1}$ (base úmida). Em relação à aplicação do CLE nas entrelinhas, houve incremento linear para o B e ajuste quadrático negativo para o Mn e o Zn extraídos. Foi similarmente observado que o aumento das doses de CLE promoveram aumento linear para o teor de Cu (Figura 30).

Figura 30 - Extração de Cu pela parte aérea da cultura do milho em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

Quanto ao modo de aplicação do CLE, notou-se diferença para as quantidades extraídas de Mn na parte aérea da cultura do milho, sendo encontrada uma maior quantidade desse nutriente nos tratamentos que receberam aplicação nas entrelinhas.

As quantidades de micronutrientes extraídos na parte aérea das culturas de milho e soja com a aplicação do CLE foram similares aos valores observados nos tratamentos adicionais. Entretanto, para o Cu, com a aplicação do CLE nas entrelinhas, foram constatados valores superiores aos encontrados nos tratamentos adicionais.

A ordem dos micronutrientes extraídos na parte área da cultura do milho foi: Fe > Mn > Zn > B > Cu. Resultados semelhantes foram encontrados por Maggio (2006), avaliando os micronutrientes de acordo com o estado fenológico de plantas de milho doce híbrido “tropical”. No recente estudo de Rosa (2017), exceto para o B e o Cu, a mesma ordem de extração de micronutrientes na cultura do milho também foi observada.

Independente da ordem de extração dos micronutrientes, o B e o Cu foram os nutrientes menos requeridos. Entretanto, a deficiência de um deles pode causar problemas no crescimento e no desenvolvimento das plantas, influenciando na qualidade e na produtividade (DECHEN *et al.*, 2018).

6.3.3 Exportação de nutrientes nos grãos

Os macronutrientes exportados nos grãos de soja não apresentaram interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE (Tabela 15). Apesar de ter sido notado o efeito da aplicação de doses para os macronutrientes extraídos, não houve ajuste linear ou quadrático em função do aumento das doses de CLE.

Para o modo de aplicação do CLE, houve diferença para todos os macronutrientes exportados nos grãos da soja. De modo geral, a aplicação em área total apresentou maior exportação de macronutrientes nos grãos, evidenciando a importância da aplicação do CLE em área total para o fornecimento de macronutrientes para a cultura da soja, com grãos mais ricos ou com maiores quantidades de nutrientes.

Com a aplicação de CLE, a exportação de macronutrientes nos grãos da soja foi similar ao observado nos tratamentos adicionais. De modo geral, verificou-se que a ordem de macronutrientes exportados foi a seguinte: N > K > P > Ca > S > Mg. Esses resultados corroboram os encontrados por Teixeira (2017); entretanto, notou-se que os valores dos macronutrientes exportados foram maiores neste estudo em relação aos encontrados no estudo de Teixeira (2017). Dessa forma, a absorção dos nutrientes pelas culturas tende a refletir na sua extração e, posteriormente, na sua exportação. Assim, conhecer a demanda nutricional e a exportação de nutrientes torna-se importante para assegurar o rendimento das culturas ao longo do tempo, visando à reposição de nutrientes para as culturas subsequentes com o manejo adequado da fertilidade (MORAES *et al.*, 2019). Ademais, quanto maior for a produtividade, maior

será a quantidade de nutrientes exportados, indicando a necessidade de adequação da adubagem para aumentar a eficiência técnica e econômica (LACERDA *et al.*, 2015).

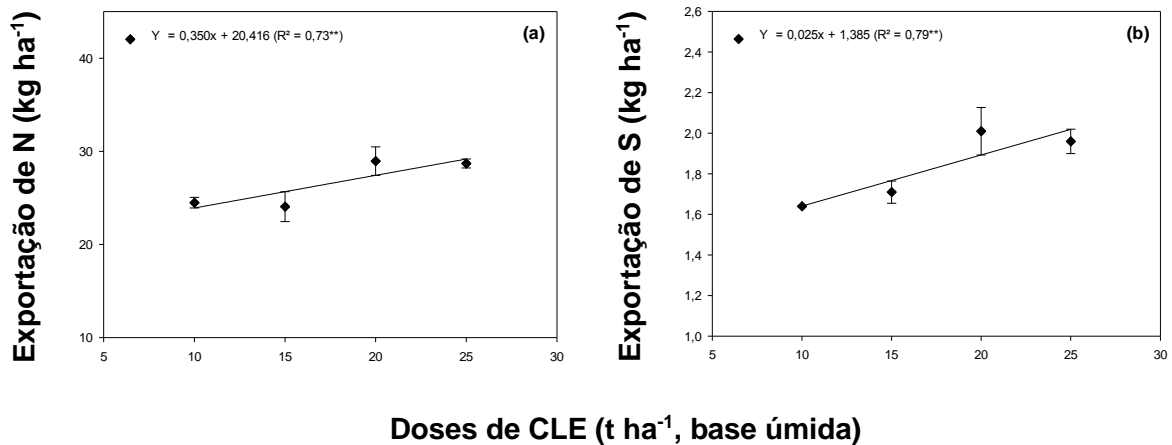
Tabela 15 - Exportação de macronutrientes (kg ha⁻¹) pelos grãos de soja e de milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE

Tratamento	N		P		K		Ca		Mg		S							
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL						
<i>Soja</i>																		
Controle	288 ^x		26,0 ^x		119 ^x		19,2 ^x		11,7 ^x		16,1 ^x							
Adubação mineral convencional	399 ^{x#}	MD	33,2 ^{x#}	MD	86 ^{x#}	MD	25,0 ^{x#}	MD	14,9 ^{x#}	MD	20,2 ^{x#}	MD						
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	457 [#]	397 ^{x#}	427 ab	38,9 ^{x#}	36,0 ^{x#}	37,4 ab	134 [#]	117 ^{x#}	125 ab	28,7 [#]	23,9 ^{x#}	26,3 a	16,8 [#]	14,7 ^{x#}	15,7 a	23,7 [#]	20,7 ^{x#}	22,1 ab
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	390 ^{x#}	333 ^{x#}	362 b	34,1 ^{x#}	27,9 ^{x#}	31,0 b	114 ^{x#}	95 ^{x#}	104 b	22,9 ^{x#}	17,8 ^{x#}	20,3 b	13,4 ^{x#}	11,4 ^{x#}	12,9 b	20,4 ^{x#}	16,5 ^{x#}	18,5 b
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	475 [#]	423 [#]	449 a	41,7 [#]	36,0 ^{x#}	38,9 a	145 [#]	123 ^{x#}	134 a	29,4 [#]	24,5 ^{x#}	27,0 a	17,7 [#]	15,6 ^{x#}	16,6 a	24,9 [#]	22,0 ^{x#}	23,5 a
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	443 [#]	391 ^{x#}	417 ab	36,4 [#]	33,9 ^{x#}	35,1 ab	126 ^{x#}	118 ^{x#}	122 ab	23,2 ^{x#}	20,1 ^{x#}	21,6 b	15,5 ^{x#}	14,4 ^{x#}	14,9 ab	21,6 ^{x#}	20,0 ^{x#}	20,8 ab
Teste F																		
Modos de Aplicação (MA)	6,99*		5,98*		6,90*		15,71**		8,50**		7,28*							
Doses de CLE (base úmida)	3,19*		3,74*		3,95*		8,77**		5,05**		4,08*							
(MA) x (CLE)	0,01 ^{NS}		0,28 ^{NS}		0,24 ^{NS}		0,17 ^{NS}		0,28 ^{NS}		0,21 ^{NS}							
CV (%)	14,7		14,6		15,1		13,5		13,7		14,5							
<i>Milho</i>																		
Controle	17,1 ^x		4,8 ^x		7,8 ^x		3,0 ^x		2,2 ^x		1,3 ^x							
Adubação mineral convencional	22,1 ^{x#}	MD	5,9 ^{x#}	MD	22,8 [#]	MD	3,8 ^{x#}	MD	2,8 ^{x#}	MD	1,3 ^x	MD						
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	23,5 [#]	25,5 [#]	24,5 b	5,6 bA ^{x#}	6,1 bcA [#]	10,0 bA ^x	10,7 bA ^x	4,5 aA [#]	3,8 bB ^{x#}	2,9 bA ^{x#}	3,1 aA [#]	1,6 ^x	1,7	1,6 b				
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	23,3 [#]	24,8 [#]	24,1 b	4,3 cB ^x	6,0 cA ^{x#}	14,8 aA	13,4 abA	4,3 aA [#]	3,6 bA ^{x#}	1,9 cB ^x	3,2 aA [#]	1,6 ^x	1,8	1,7 b				
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	27,7	30,2	29,0 a	7,5 aA	7,3 abA	9,0 bB ^x	15,2 aA	4,4 aA [#]	5,0 aA	3,9 aA	3,2 aB [#]	2,0	2,0	2,0 a				
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	26,1 [#]	31,3	28,7 a	5,4 bcB ^{x#}	7,9 aA	9,8 bB ^x	12,5 abA	4,3 aA [#]	4,4 abA [#]	2,5 bcB ^{x#}	3,2 aA [#]	1,9	2,1	2,0 a				
Teste F																		
Modos de Aplicação (MA)	8,10**		23,79**		13,27**		0,96 ^{NS}		8,06**		5,51*							
Doses de CLE (base úmida)	7,30**		19,31**		8,05**		3,78*		8,46**		8,30**							
(MA) x (CLE)	0,74 ^{NS}		7,26**		7,88**		3,76*		7,98**		0,25 ^{NS}							
CV (%)	11,0		10,5		12,8		11,8		13,8		10,5							

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúsculas para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^x, [#] Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). Fonte: Próprio autor.

Em relação à exportação nos grãos da cultura do milho, exceto para o N e o S, foi observada interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE (Tabela 15). Desse modo, observou-se que a aplicação do CLE nas entrelinhas incrementou linearmente a exportação de P. Para o K exportado houve ajuste quadrático positivo, no qual a dose de 18,9 t ha⁻¹ (base úmida) foi a que proporcionou o maior valor de K exportado (14,8 kg ha⁻¹) nos grãos de milho (Apêndice 18). O aumento das doses de CLE incrementou de modo linear o N e o S exportados nos grãos de milho (Figura 31).

Figura 31 - Exportação de N (a) e de S (b) nos grãos de milho em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

Quanto ao modo de aplicação, exceto para Ca, houve diferença para os teores exportados nos grãos da cultura do milho. Entretanto, ao contrário do observado em relação à cultura da soja, verificou-se que a aplicação do CLE nas entrelinhas proporcionou maiores exportações dos macronutrientes. Como se trata do efeito residual da aplicação do CLE, tal resultado pode estar relacionado à maior absorção desses elementos pela cultura da soja.

O N, o Ca e o Mg exportados nos grãos de milho das plantas cultivadas no solo com aplicações de CLE têm valores semelhantes aos observados no tratamento com adubação mineral. Já para o S exportado nos grãos, principalmente em função da aplicação do CLE nas entrelinhas, obteve-se valor superior aos tratamentos adicionais. O CLE contém quantidades significativas de S ligado à matéria orgânica. A maior proporção S no solo, cerca de 95%, encontra-se na matéria orgânica (VITTI *et al.*, 2018), confirmando a importância do composto como fornecedor de S, principalmente nas camadas mais superficiais do solo (BACKES *et al.*, 2010).

Verificou-se que, de modo geral, a ordem dos macronutrientes exportados nos grãos de milho foi: $N > K > P > Ca > Mg > S$. De forma quase semelhante, Rosa (2017) observou que a ordem de macronutrientes exportados nos grãos do milho foi de: $N > K > P > Mg > S > Ca$. Já Silva *et al.* (2015), descreveram que a ordem de exportação média encontrada foi: $N > K > P > S > Mg$. Conforme Dorneles (2011) e Ritchie *et al.* (2003), o S é o macronutriente requerido em menor quantidade pela cultura do milho.

Um fator importante a se destacar diz respeito à maior quantidade de P ter sido exportada nos grãos, quando comparada à quantidade extraída na parte aérea. Von Pinho *et al.* (2009) e Bender *et al.* (2013), confirmam que a maior parte do P absorvido durante o ciclo é redistribuído para os grãos, podendo chegar a até 90%, seguido por N, S, Mg, K e Ca (75, 58, 60, 20 e de 3 a 7 %, respectivamente). Mais uma vez, torna-se clara a necessidade da reposição desses elementos para a obtenção de altas produtividades das culturas. Silva *et al.* (2018) relataram também que as quantidades de P, K e S nos grãos foram inferiores às relatadas na literatura, sendo necessária a atualização dos dados sobre as necessidades nutricionais do milho, com o objetivo de adequar os padrões de fertilização com base na substituição de nutrientes removidos dos campos.

Em relação aos micronutrientes exportados nos grãos da cultura da soja, verificou-se que não houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE (Tabela 16). Dessa forma, apenas apresentou efeito de doses para as quantidades exportadas de B, Cu e Zn, sendo que a dose de 10 t ha^{-1} de CLE (base úmida) apresentou os maiores valores exportados.

Exceto para o Fe, houve diferença para o modo de aplicação do CLE. De modo geral, assim como para os macronutrientes exportados, houve maior exportação dos micronutrientes nos tratamentos que receberam aplicação do CLE em área total.

Foi observado aumento nas quantidades exportadas de B e Zn nos grãos de soja em função da aplicação do CLE (Tabela 16), o que está diretamente relacionado ao fato de o CLE possuir quantidades significativas desses elementos em sua composição (Tabela 1).

Tabela 16 - Exportação de micronutrientes (g ha⁻¹) pelos grãos de soja e de milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE

Tratamento	B		Cu		Fe		Mn		Zn				
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL			
	<i>Soja</i>												
Controle	93 ^x		38,6 ^x		368 ^x		106 ^x		215 ^x				
Adubação mineral convencional	157 [#]	MD	47,0 ^{x#}	MD	423 ^x		135 ^{x#}		291 ^{x#}	MD			
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	149 [#]	133 ^{x#}	141 b	52,7 ^{x#}	45,7 ^{x#}	49,2 ab	577 ^x	520 ^x	156 [#]	130 ^{x#}	346 [#]	303 [#]	325 a
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	147 [#]	121 ^{x#}	134 b	45,4 ^{x#}	35,3 ^{x#}	40,4 b	443 ^x	281 ^x	131 ^{x#}	108 ^{x#}	293 ^{x#}	232 ^{x#}	263 b
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	196 [#]	174 [#]	186 a	54,8 [#]	49,6 ^{x#}	52,2 a	415 ^x	401 ^x	157 [#]	132 ^{x#}	367 [#]	318 [#]	343 a
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	162 [#]	129 ^{x#}	145 b	47,9 ^{x#}	43,0 ^{x#}	45,5 ab	514 ^x	365 ^x	142 ^{x#}	127 ^{x#}	321 [#]	290 ^{x#}	306 ab
Teste F													
Modos de Aplicação (MA)	8,95 ^{**}		7,74 ^{**}		3,72 ^{NS}		9,20 ^{**}		8,95 ^{**}				
Doses de CLE (base úmida)	8,35 ^{**}		4,31 [*]		2,55 ^{NS}		2,42 ^{NS}		5,04 ^{**}				
(MA) x (CLE)	0,19 ^{NS}		0,24 ^{NS}		0,52 ^{NS}		0,09 ^{NS}		0,16 ^{NS}				
CV (%)	15,7		15,1		32,5		15,8		14,5				
	<i>Milho</i>												
Controle	3,3 ^x		5,4 ^x		38,0 ^x		17,1 ^x		54,2 ^x				
Adubação mineral convencional	3,1 ^{x#}		17,7 [#]		39,9 ^x		22,8 [#]		MD		42,1 ^{x#}		
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	3,9 abA ^{x#}	3,1 bA ^{x#}	11,7 ^{x#}	7,8 ^x	43,9 ^x	45,0 ^x	26,6 [#]	24,6 [#]	25,6 b	55,8 aA ^{x#}	59,2 bcA ^x		
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	4,1 abA ^{x#}	4,1 abA ^{x#}	7,2 ^x	7,2 ^x	49,3 ^x	47,8 ^x	23,4 [#]	24,7 [#]	24,0 b	59,2 aA ^x	47,3 cB ^{x#}		
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	4,8 aA	4,5 aA ^x	9,3 ^x	8,5 ^x	55,9	52,9 ^x	27,1 [#]	25,1 [#]	26,1 ab	69,9 aA	76,0 aA		
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	3,1 bB ^{x#}	4,5 aA ^x	6,9 ^x	10,8 ^x	46,6 ^x	47,1 ^x	29,3 [#]	29,4 [#]	29,4 a	59,5 aB ^x	73,2 abA		
Teste F													
Modos de Aplicação (MA)	0,12 ^{NS}		0,03 ^{NS}		0,07 ^{NS}		0,55 ^{NS}		1,01 ^{NS}				
Doses de CLE (base úmida)	4,80 ^{**}		0,85 ^{NS}		2,69 ^{NS}		6,48 ^{**}		9,88 ^{**}				
(MA) x (CLE)	3,76 [*]		1,96 ^{NS}		0,14 ^{NS}		0,86 ^{NS}		3,67 [*]				
CV (%)	16,9		34,9		15,6		9,9		13,3				

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúsculas para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^x, [#] Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). Fonte: Próprio autor.

Os micronutrientes exportados nos grãos da soja seguiram a seguinte ordem: Fe > Zn > B > Mn > Cu. Assim como para os macronutrientes exportados nos grãos da soja, a ordem dos micronutrientes foi a mesma verificada por Teixeira (2017). Oliveira Junior *et al.* (2014) observaram a seguinte ordem de exportação de micronutrientes nos grãos de soja: Fe > Zn = Mn > B > Cu. Averiguou-se também que os valores exportados de B, Fe, Mn e Zn com a aplicação CLE, foram maiores em relação aos relatados no trabalho de Teixeira (2017) e Oliveira Junior *et al.* (2014). Moraes *et al.* (2019) verificaram que em média 41% dos micronutrientes extraídos pela cultura da soja são levados pelos grãos; dessa forma, torna-se importante o manejo desses nutrientes, tendo a aplicação do CLE como uma alternativa para evitar deficiências desses elementos, principalmente na região do Cerrado, que apresenta baixos teores de micronutrientes no solo.

Quando para o efeito residual, houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para a exportação de B e Zn nos grãos da cultura do milho (Tabela 16). Dessa maneira, verificou-se que para o B, apresentou-se ajuste quadrático positivo com aumento das doses aplicadas em área total, sendo a dose 16,5 t ha⁻¹ (base úmida) a responsável pela maior exportação de B (5,1 g ha⁻¹). Quando o CLE foi aplicado nas entrelinhas, houve incremento linear na quantidade de B e Mn exportados pelos grãos de milho (Apêndice H).

Para o modo de aplicação, não houve diferença para os micronutrientes exportados nos grãos da soja (Tabela 16). Dessa forma, para o efeito residual da aplicação do CLE, o modo de aplicação não influencia a exportação de micronutrientes nos grãos de milho.

Em relação aos tratamentos adicionais, a exportação de Cu e Mn nos grãos foram maiores para o tratamento com adubação mineral quando comparado com o tratamento controle. Desse modo, com a aplicação do CLE, o Mn exportado foi similares aos resultados obtidos com a adubação mineral. O Cu apresentou valores inferiores. Pôde-se notar ainda que mesmo havendo aumento nos valores exportados de B, Fe e Zn, os mesmos ainda são similares aos valores observados nos tratamentos adicionais. Entretanto, para os tratamentos que receberam 20 e 25 t ha⁻¹ de CLE (base úmida), os valores exportados de Zn foram maiores estatisticamente quando comparados aos tratamentos adicionais. Lobo (2010), avaliando a cultura do feijão, observou maior exportação de Zn em função da adubação com LE. Tal fato deve-se à

grande quantidade Zn que o CLE tem em sua composição. Desde que aplicado com critérios agronômicos, o CLE pode se tornar uma fonte alternativa de Zn, substituindo, ainda que parcialmente, a aplicação desse elemento via adubação mineral.

A ordem dos micronutrientes exportados nos grãos da cultura do milho foi: Fe > Zn > Mn > Cu > B. Exceto para o Zn, que foi o micronutriente mais exportado no trabalho de Rosa (2017), os demais elementos seguiram a mesma ordem. Conforme Gutiérrez *et al.* (2015), a ordem de exportação média de micronutrientes foi de Zn > Mn > Fe > Cu. Esses autores comentam que as variações na exportação de micronutrientes via colheita são influenciadas pelo nível de produtividade alcançado e pelas diferenças entre híbridos modernos de milho em relação aos teores desses nutrientes presentes nos grãos. Em solos do Cerrado, para o manejo nutricional, os micronutrientes estão na importância relativa de: Zn, B, Cu, Mn e Fe (RESENDE *et al.*, 2019). Entretanto, esses mesmos autores relataram que as quantidades absorvidas podem variar muito conforme o elemento, as características do solo, a produção de biomassa e o manejo da fertilidade. Segundo Bender *et al.* (2013) e Gutiérrez (2016), as proporções exportadas de micronutrientes podem variar de: B (23%), Cu (23 a 29%), Fe (5% a 18%), Mn (8% a 13%) e Zn (42% a 62%).

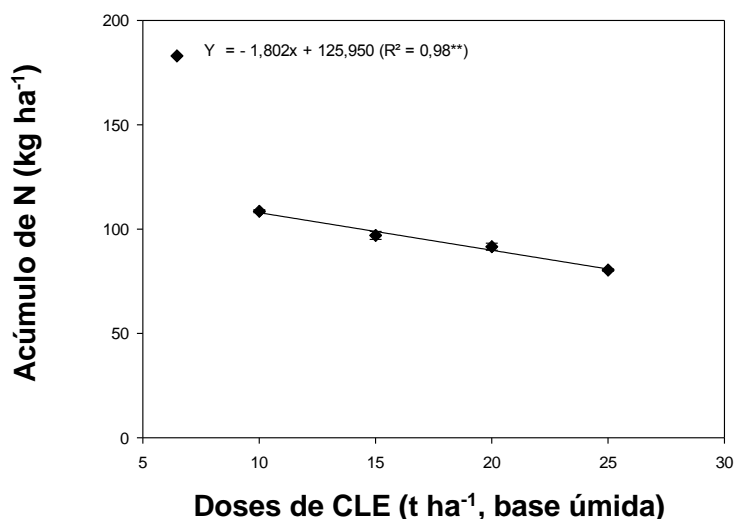
Ao analisar as quantidades de macro e micronutrientes nos grãos de soja e de milho, observou-se que houve uma elevada quantidade de nutrientes exportados pelos grãos de soja, ou seja, nutrientes que foram removidos da área de cultivo. Dessa forma, é importante haver o monitoramento da fertilidade do solo e observar o efeito residual do CLE como fonte de nutrientes à cultura sucessora, nesse caso, a soja.

6.3.4 Acúmulo de nutrientes na palhada

Exceto para acúmulo de K na palhada da soja, não foi observada interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE (Tabela 17). Independente do efeito da interação, foi notado, para aplicação do CLE em área total, ajuste quadrático positivo para o acumulado de P na palhada (maior dose 15,5 t ha⁻¹ e maior acúmulo de 16,3 kg ha⁻¹) da cultura da soja em função do aumento das doses de CLE (Apêndice I). Ainda, pôde-se notar que o aumento das doses promoveu decréscimo linear na quantidade acumulada de N na palhada da cultura da soja (Figura 32). Esse decréscimo pode estar relacionado ao efeito negativo da adubação do CLE em relação às atividades dos

microrganismos fixadores de N presentes na soja.

Figura 32 - Acúmulo de N na palhada da cultura da soja em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

Não houve diferença entre o modo de aplicação do CLE em relação aos macronutrientes acumulados nos restos culturais da soja. Observou-se ainda que as quantidades de macronutrientes acumuladas na palhada das plantas que receberam CLE são iguais aos valores acumulados nos tratamentos adicionais. A ordem decrescente de macronutrientes acumulados na palhada da soja foi: N > K > Ca > Mg > P > S.

Já para os acúmulos de macronutrientes nos restos culturais do milho, exceto para o P, houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE (Tabela 17). A aplicação do CLE em área total incrementou de modo linear para as quantidades acumuladas de N e proporcionou ajuste quadrático positivo para os acúmulos de Ca, Mg e S, sendo as doses de 20,9 t ha⁻¹, 17,8 t ha⁻¹ e 19,2 t ha⁻¹ (base úmida) as que promoveram os maiores acúmulos de Ca (31,5 kg ha⁻¹), de Mg (19,0 kg ha⁻¹) e de S (6,8 kg ha⁻¹), respectivamente, na palhada do milho. O aumento das doses de CLE, incrementou linearmente o acúmulo de P na palhada da cultura da soja (Figura 33).

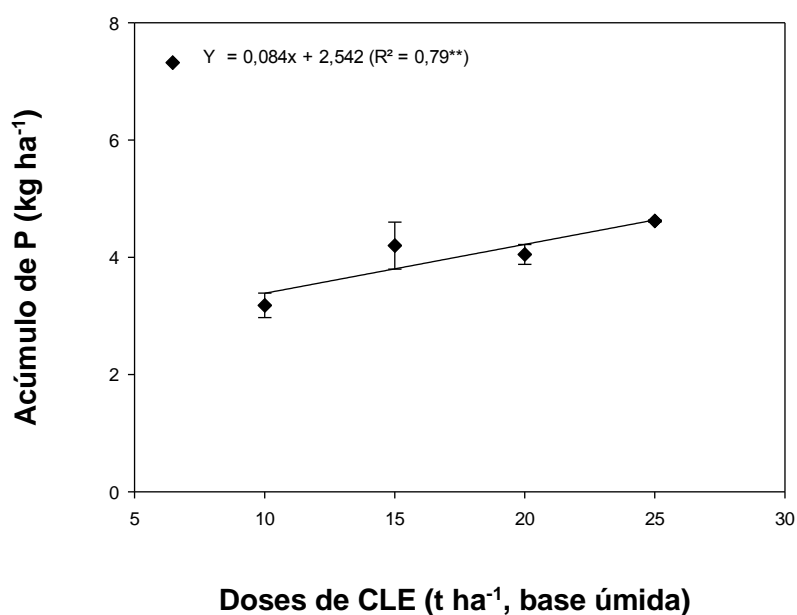
Tabela 17 - Acúmulo de macronutrientes (kg ha⁻¹) na palhada da soja e do milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE

Tratamento	N		P		K		Ca		Mg		S		
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	
<i>Soja</i>													
Controle	91 ^x		12,5 ^x		50,7 ^x		22,3 ^x		21,4 ^x		8,6 ^x		
Adubação mineral convencional	126 ^x		MD		60,4 ^x		32,2 ^x		17,0 ^x		11,0 ^x		
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	117 ^x	100 ^x	108 a	14,6 ^x	14,0 ^x	67,8 aA ^x	52,7 aA ^x	26,9 ^x	25,7 ^x	16,7 ^x	18,7 ^x	10,8 ^x	9,6 ^x
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	91 ^x	102 ^x	97 ab	15,9 ^x	13,1 ^x	51,3 aB ^x	67,0 aA ^x	25,0 ^x	25,8 ^x	20,0 ^x	18,4 ^x	10,5 ^x	10,0 ^x
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	100 ^x	83 ^x	92 ab	15,6 ^x	13,3 ^x	66,7 aA ^x	60,8 aA ^x	28,2 ^x	27,8 ^x	19,6 ^x	20,9 ^x	11,1 ^x	10,5 ^x
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	79 ^x	82 ^x	80 b	10,5 ^x	13,7 ^x	52,2 aA ^x	61,1 aA ^x	27,8 ^x	28,0 ^x	21,0 ^x	20,2 ^x	9,0 ^x	10,9 ^x
Teste F													
Modos de Aplicação (MA)	0,66 ^{NS}		0,51 ^{NS}		0,06 ^{NS}		0,01 ^{NS}		0,03 ^{NS}		0,04 ^{NS}		
Doses de CLE (base úmida)	3,36 [*]		1,77 ^{NS}		0,63 ^{NS}		0,53 ^{NS}		0,93 ^{NS}		0,31 ^{NS}		
(MA) x (CLE)	1,29 ^{NS}		2,32 ^{NS}		3,50 [*]		0,07 ^{NS}		0,40 ^{NS}		1,13 ^{NS}		
CV (%)	18,6		18,1		17,7		18,7		19,6		18,0		
<i>Milho</i>													
Controle	22,2 ^x		2,5 ^x		23,7 ^x		11,6 ^x		12,8 ^x		2,6 ^x		
Adubação mineral convencional	39,6 [#]		4,4 [#]		MD		28,0 ^{x#}		20,2 [#]		17,7 [#]		
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	54,1 bB	75,0 aA	3,2 ^{x#}	3,2 ^{x#}	3,2 b	36,4 cB [#]	45,7 bA	17,7 bA [#]	14,4 bA ^x	15,4 bA ^{x#}	12,7 bB ^x	3,6 bA ^{x#}	3,7 bA ^{x#}
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	72,0 aA	56,3 bcB	4,5 [#]	3,9 ^{x#}	4,2 ab	66,2 aA	50,0 abB	29,4 aA	11,1 bB ^x	18,3 aA [#]	17,4 aA [#]	6,4 aA	3,4 bB ^{x#}
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	56,8 bA	48,1 cB [#]	3,9 ^{x#}	4,2 [#]	4,0 ab	54,7 bA	44,8 bB	29,1 aA	25,3 aA [#]	19,0 aA [#]	16,3 aB [#]	6,6 aA	6,0 aA [#]
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	77,6 aA	60,3 bB	4,6 [#]	4,6 [#]	4,6 a	70,3 aA	57,4 aB	29,6 aA	21,3 aB [#]	15,8 bB [#]	18,0 aA [#]	5,7 aA [#]	6,1 aA [#]
Teste F													
Modos de Aplicação (MA)	11,15 ^{**}		0,11 ^{NS}		13,47 ^{**}		73,10 ^{**}		5,96 [*]		8,00 ^{**}		
Doses de CLE (base úmida)	20,48 ^{**}		5,25 ^{**}		24,38 ^{**}		26,89 ^{**}		17,64 ^{**}		18,74 ^{**}		
(MA) x (CLE)	32,63 ^{**}		0,46 ^{NS}		8,06 ^{**}		12,51 ^{**}		7,49 ^{**}		7,97 ^{**}		
CV (%)	7,9		19,3		12,0		13,2		7,3		15,9		

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúsculas para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{x, #} Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL).

Fonte: Próprio autor.

Figura 33 - Acúmulo de P na palhada da cultura do milho em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

Ao contrário da cultura da soja, para os restos da cultura do milho, exceto para o acúmulo de P, houve diferença para o modo de aplicação do CLE (Tabela 17). A aplicação em área total foi a que apresentou maiores acúmulos de macronutriente. Objetivando a reciclagem dos nutrientes para culturas subsequentes, nota-se que a aplicação em área total é a melhor alternativa, devido aos maiores acúmulos, pela facilidade de aplicação e pela melhor distribuição do composto no local, visando aos diferentes espaçamentos para um possível plantio direto por meio da rotação de culturas.

Na comparação entre os tratamentos adicionais, exceto para o acúmulo de K nos restos culturais do milho, houve diferença entre os tratamentos, sendo que a adubação mineral apresentou o maior acúmulo em relação ao tratamento controle. Verificou-se, também, que mesmo com aumento nas quantidades acumuladas de P, Ca (área total), Mg e S para os tratamentos aplicados com CLE, estes apresentam resultados similares aos observados nos tratamentos adicionais. Ademais, os acúmulos de N, K e Ca (entrelinhas) nos tratamentos que receberam CLE foram superiores aos

encontrados nos tratamentos adicionais, isso torna a reciclagem desse material orgânico uma importante fonte, pois a presença da palhada em superfície consiste no fornecimento de nutrientes, principalmente de N (MATEUS *et al.*, 2017).

A importância do N na reciclagem de nutrientes, por intermédio da decomposição da palhada, pode ser verificada pela ordem decrescente dos macronutrientes acumulados, sendo: $N > K > Ca > Mg > S > P$. Dessa forma, observou-se que os três elementos mais acumulados na palhada do milho foram o N, K e Ca. Entretanto, Teixeira *et al.* (2010), relatam que os restos culturais de gramíneas como o milho, que apresenta maior relação C/N, pode permanecer por mais tempo no solo. Todavia, com o início da decomposição, ocorre maior imobilização de nutrientes, pois, quando a quantidade desses nutrientes disponíveis na palha não é adequada para a microbiota decompositora, ocorrerá menor disponibilidade de alguns nutrientes para as culturas subsequentes. Isso implica em K e Ca serem os nutrientes mais devolvidos ao solo por meio da incorporação dos restos culturais do milho (COELHO; FRANÇA, 1995).

Cabe ressaltar também que regiões tropicais como o Cerrado brasileiro, apesar de apresentarem decomposição acelerada da palhada, tornam importante a manutenção dos resíduos culturais no solo, não só com o objetivo de reciclar os nutrientes, mas para a manutenção da umidade e da proteção física contra a erosão (ROSSI *et al.*, 2013).

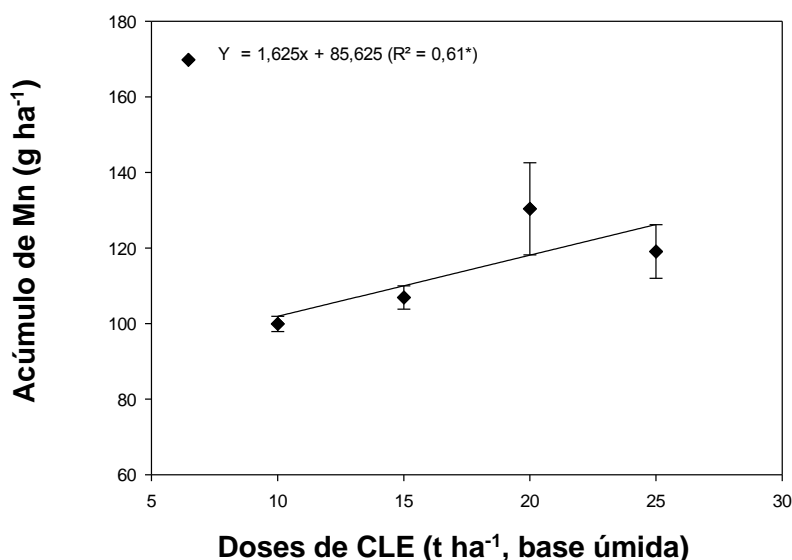
Em relação aos teores de micronutrientes acumulados da palhada da soja, não foi observada interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE (Tabela 18). Ainda que não apresentando interação, foi notado, para o CLE aplicado em área total, um ajuste quadrático positivo para os teores de B e Fe, sendo as doses de 17,1 e 19,9 $t\ ha^{-1}$ (base úmida) as que promoveram os maiores acúmulos desses elementos (88,7 e 2715 $g\ ha^{-1}$), respectivamente. Houve também incremento linear para os acúmulos de Mn e Zn quando o CLE foi aplicado em área total (Apêndice I). Observou-se, também, para o efeito de doses houve um aumento linear para as quantidades de Mn acumuladas na palhada da soja (Figura 34).

Tabela 18 - Acúmulo de micronutrientes (g ha⁻¹) na palhada da soja e do milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE

Tratamento	B		Cu		Fe			Mn		Zn		
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL		
<i>Soja</i>												
Controle		60,7 ^x		15,1 ^x		1393 ^x		94 ^x			87 ^x	
Adubação mineral convencional		82,5 ^x		20,9 ^x		4122 [#]	MD	149 [#]	MD		120 ^x	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	70,8 ^x	67,4 ^x	16,9 ^x	17,8 ^x	1066 ^x	2165 ^x	1615 b	83 ^x	116 ^{x#}	100 b	87 ^x	88 ^x
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	77,0 ^x	66,3 ^x	18,4 ^x	17,9 ^x	1318 ^x	1348 ^x	1333 b	104 ^x	109 ^{x#}	107 ab	100 ^x	90 ^x
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	95,1 ^x	57,9 ^x	20,0 ^x	17,4 ^x	3665 [#]	2576 ^{x#}	3120 a	135 ^{x#}	126 ^{x#}	130 a	120 ^x	92 ^x
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	59,2 ^x	60,6 ^x	20,3 ^x	16,8 ^x	1893 ^x	1913 ^x	1903 b	132 ^{x#}	106 ^{x#}	119 ab	114 ^x	90 ^x
Teste F												
Modos de Aplicação (MA)		5,17 [*]		1,74 ^{NS}		0,00 ^{NS}		0,01 ^{NS}			5,32 [*]	
Doses de CLE (base úmida)		1,62 ^{NS}		0,33 ^{NS}		6,38 ^{**}		3,22 [*]			1,56 ^{NS}	
(MA) x (CLE)		2,47 ^{NS}		0,81 ^{NS}		2,06 ^{NS}		2,81 ^{NS}			1,02 ^{NS}	
CV (%)		22,2		17,8		41,0		18,4			19,0	
<i>Milho</i>												
Controle		37,4 ^x		7,1 ^x		2151 ^x		236,5 ^x			88,0 ^x	
Adubação mineral convencional		47,7 ^{x#}		13,6 [#]		1274 ^x		197,8 ^{x#}			111,8 ^{x#}	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	41,7 cB ^{x#}	55,3 bA [#]	10,0 cA ^{x#}	11,0 cA ^{x#}	1460 bA ^x	1247 bA	282,0 bA ^x	247,8 bA ^{x#}	94,5 bA ^{x#}	71,8 cA ^x		
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	47,9 cA ^{x#}	38,1 cB ^{x#}	26,2 aA	11,0 cB ^{x#}	3992 aA	1947 bB ^x	320,8 abA	139,2 cB [#]	153,2 aA	83,0 bcB ^{x#}		
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	95,3 aA	68,4 aB	29,6 aA	30,1 aA	4056 aB	4849 aA	359,0 aA	276,0 bB ^x	138,2 aA [#]	116,0 abA ^{x#}		
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	75,5 bA	73,2 aA	17,2 bB [#]	24,8 bA	3762 aA	3978 aA	311,5 abB ^x	472,0 aA	133,0 aA [#]	128,2 aA [#]		
Teste F												
Modos de Aplicação (MA)		8,70 ^{**}		3,34 ^{NS}		3,72 ^{NS}		6,64 [*]			24,50 ^{**}	
Doses de CLE (base úmida)		78,59 ^{**}		88,34 ^{**}		69,61 ^{**}		27,50 ^{**}			12,86 ^{**}	
(MA) x (CLE)		15,24 ^{**}		32,64 ^{**}		14,35 ^{**}		28,69 ^{**}			5,38 ^{**}	
CV (%)		10,5		13,3		15,9		13,3			15,3	

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúscula para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^x, [#] Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). Fonte: Próprio autor.

Figura 34 - Acúmulo de Mn na palhada da cultura da soja em resposta à aplicação de doses de CLE. * – Significativo a 5% de probabilidade



Fonte: Proprio autor.

Quanto ao modo de aplicação do CLE, diferentemente dos macronutrientes acumulados na palhada da soja, houve diferença para o acúmulo de B e de Zn, com a aplicação do CLE em área total, superando os acúmulos em relação à aplicação nas entrelinhas.

Apesar do aumento nos acúmulos para os tratamentos com aplicação do CLE, principalmente, em relação ao tratamento controle, assim como nos macronutrientes, os micronutrientes acumulados na palhada da cultura da soja foram similares estatisticamente em comparação aos dois tratamentos adicionais. Todavia, a ordem decrescente encontrada de micronutrientes acumulados na palhada foi de: Fe > Mn > Zn > B > Cu.

Em relação os micronutrientes acumulados na palhada da cultura do milho, notou-se haver interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para todos os micronutrientes analisados (Tabela 18). O aumento das doses de CLE aplicados em área total promoveu ajuste quadrático positivo para o B, Cu, Fe, Mn e Zn, sendo as doses de 23,3 t ha⁻¹, 18,4 t ha⁻¹, 20,0 t ha⁻¹, 19,0 t ha⁻¹ e 19,1 t ha⁻¹ as que proporcionaram os maiores acúmulos desses nutrientes (82,2 g ha⁻¹, 29,9 g ha⁻¹, 4368 g ha⁻¹, 273,8 g ha⁻¹ e 151,3 g ha⁻¹), respectivamente. Já para a aplicação nas

entrelinhas, houve incremento linear para os acúmulos de Cu, Mn e Zn e um ajuste quadrático positivo para os acúmulos de Fe, no qual a dose de 24,6 t ha⁻¹ (base úmida) proporcionou o maior acúmulo de Fe (4276 g ha⁻¹) (Apêndice I).

Os acúmulos de B, Cu e Fe nas maiores doses de CLE foram superiores aos tratamentos adicionais. Já o acúmulo de Zn foi superior apenas ao tratamento controle. Esse fato demonstra a importância do uso do CLE como fonte de micronutrientes para as plantas, pois a ciclagem desses nutrientes, por meio da decomposição e liberação, torna-se importante fator para auxiliar no manejo da adubação (SANTOS *et al.*, 2014). A ordem decrescente da quantidade de micronutrientes encontrada na palhada da cultura do milho foi: Fe > Mn > Zn > B > Cu.

Em comparação ao acúmulo de nutrientes avaliados na palhada da soja e do milho, verificou-se que a soja apresenta maior quantidade de N, P, K, S e B na palhada. Entretanto, mesmo que o acúmulo desses nutrientes na palhada do milho tenha sido menor, observou-se que houve incrementação dos mesmos na palhada com a aplicação do CLE em relação aos tratamentos adicionais, ao contrário do que foi observado no acúmulo da palhada da soja, evidenciando a importância do CLE para a reciclagem desses nutrientes. Para a cultura do milho, os nutrientes em maior quantidade acumulados na palhada em relação à da soja, foi o Mn e Zn, com a aplicação do CLE sendo fundamental para esse maior acúmulo. Tal observação é importante para demonstrar a contribuição dos cultivos na ciclagem de nutrientes, em função da aplicação do CLE.

6.3.5 Desenvolvimento das plantas, componentes de produção, ICF e produtividade

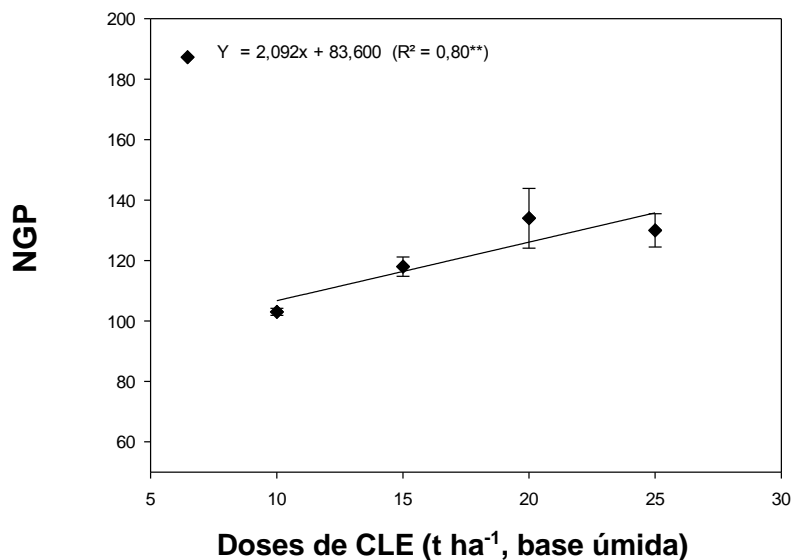
Para a cultura da soja, os parâmetros avaliados de desenvolvimento da planta, componentes de produção e índice de clorofila Falker (ICF), não apresentaram interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE (Tabela 19). Entretanto, para o número de grãos por planta (NGP), verificou-se um aumento linear em relação ao efeito de doses de CLE (Figura 35).

Tabela 19 - Efeito dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE no desenvolvimento, componentes de produção e ICF da cultura da soja

Tratamento	AP		APV		NVP		NGP		MMG		POP		ICF		
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	
	cm						g		mil vezes por ha						
Controle	125,1 ^x		12,1 ^x		58 ^x		134 ^x		160,0 ^x		320 ^x		37,1 ^x		
Adubação mineral convencional	133,4 ^x		13,2 ^x		50 ^x		101 ^x	MD	164,8 ^x		422 ^x		38,5 ^x		
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	130,0 ^x	126,7 ^x	13,0 ^x	12,6 ^x	44 ^x	55 ^x	91 ^x	116 ^x	104 b	164,8 ^x	167,5 ^x	407 ^x	404 ^x	38,6 ^x	38,9 ^x
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	126,9 ^x	126,1 ^x	11,2 ^x	11,4 ^x	53 ^x	50 ^x	108 ^x	116 ^x	112 ab	166,1 ^x	173,5 ^x	400 ^x	359 ^x	38,7 ^x	37,6 ^x
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	130,2 ^x	127,6 ^x	13,4 ^x	11,8 ^x	56 ^x	55 ^x	131 ^x	140 ^x	135 a	163,1 ^x	173,8 ^x	411 ^x	389 ^x	39,1 ^x	37,7 ^x
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	128,9 ^x	125,4 ^x	12,0 ^x	11,5 ^x	49 ^x	56 ^x	124 ^x	137 ^x	130 ab	168,7 ^x	165,4 ^x	408 ^x	389 ^x	37,5 ^x	38,7 ^x
Teste F															
Modos de Aplicação (MA)	4,08 ^{NS}		1,49 ^{NS}		1,13 ^{NS}		3,53 ^{NS}		1,89 ^{NS}		2,89 ^{NS}		0,14 ^{NS}		
Doses de CLE (base úmida)	0,46 ^{NS}		2,15 ^{NS}		0,60 ^{NS}		4,25 [*]		0,26 ^{NS}		0,80 ^{NS}		0,20 ^{NS}		
(MA) x (CLE)	0,25 ^{NS}		0,62 ^{NS}		1,05 ^{NS}		0,27 ^{NS}		0,92 ^{NS}		0,37 ^{NS}		0,91 ^{NS}		
CV (%)	3,0		11,3		17,1		17,4		5,3		9,0		4,8		

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúscula para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *, # Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). AP = Altura de plantas. APV = Altura da primeira vagem. NVP = Número vagens por planta. NGP = Número de grãos por planta. MMG = Massa de 1000 grãos. POP = População final de plantas. ICF = Índice de clorofila Falker. Fonte: Próprio autor.

Figura 35 - Número de grãos por planta (NGP) da cultura da soja em resposta à aplicação de doses de CLE. ** – Significativo a 1% de probabilidade



Fonte: Próprio autor.

Na cultura da soja, verificou-se que o desenvolvimento da planta e componentes de produção não foram incrementados com aplicação do CLE em relação aos tratamentos adicionais. Carvalho *et al.* (2011), testando adubação orgânica por meio da cama de frango, com as doses de 3, 6 e 9 t ha⁻¹ em um CAMBISSOLO, observaram que para o desenvolvimento e os componentes de produção da cultura da soja, houve aumento na altura de planta e de inserção da primeira vagem, na massa de 1.000 grãos, no número de vagens por planta e o no rendimento de grãos de soja.

Silva *et al.* (2016), avaliando o desempenho agrônômico por meio do comportamento de cultivares de soja, encontraram valores menores de alturas de plantas e altura da inserção da primeira vagem para o mesmo cultivar de soja utilizado na presente pesquisa. Todavia, as médias do número de vagens por planta e número de grãos, massa de 1.000 grãos e produtividade foram superiores aos obtidos no presente estudo. Ragagnin *et al.* (2013) observaram incremento na altura das plantas de soja a partir da aplicação de 2,0 t ha⁻¹ de cama de frango, quando comparada ao tratamento com adubação mineral, evidenciando a eficácia do resíduo orgânico em fornecer nutrientes em quantidades necessárias para tal cultura.

Em relação ao ICF, observou-se que não há incremento com a adubação de CLE, o que pode estar relacionado ao processo de fixação biológica (FBN), pois todos

os tratamentos receberam inoculação com microrganismos fixadores, sendo este, um importante mecanismo de fornecimento de N para a planta. De modo contrário, Ragagnin *et al.* (2013), testando doses (1,0; 2,0; 4,0 e 8,0 t ha⁻¹) por meio do material orgânico da cama de frango, verificaram maiores teores de clorofila comparados ao tratamento controle. O N tem grande importância no metabolismo da planta, participando diretamente na biossíntese de proteínas e clorofilas (ANDRADE *et al.*, 2003). Cabe ressaltar também que o ICF é um importante parâmetro para se avaliar de forma indireta o teor de clorofila da planta, sendo possível correlacionar teores de N (MACEDO *et al.*, 2012). Ademais, geralmente, a leitura indireta do índice de clorofila (ICF) tem uma ótima correlação com o teor de N, em que o monitoramento do nível de N em plantas de milho por meio do clorofilômetro, tem se mostrado um método eficiente (ARGENTA *et al.*, 2003).

O modo de aplicação do CLE não influenciou as variáveis apresentadas e, por esse motivo, recomenda-se que a sua aplicação seja realizada em área total.

Avaliando o efeito residual do CLE na cultura do milho, verificou-se que não houve interação entre o modo de aplicação e as doses de CLE para o desenvolvimento da cultura, os componentes de produção e o ICF (Tabela 20).

Para altura da primeira espiga e a massa de 1.000 grãos da cultura do milho, constatou-se que, com aplicação de CLE, as variáveis apresentaram valores médios superiores aos obtidos no tratamento controle e valores médios similares aos observados no tratamento que recebeu adubação mineral convencional (Tabela 20). Em relação ao diâmetro de colmo, número de fileiras por espiga e número de grãos por espiga, não houve incremento com aplicação do CLE em relação aos tratamentos adicionais. De modo contrário, Pangaribuan e Hendarto (2018) observaram em milho doce aumento de 6% no comprimento da espiga e 5% no diâmetro da espiga após realizar a adubação com fertilizante orgânico incrementado com ureia.

O ICF dos tratamentos com adubação mineral e com a aplicação do CLE foi superior ao tratamento controle. No entanto, não foi influenciado pelas doses de CLE, em ambas as formas de aplicação, ao se comparar com a adubação mineral. Esse fato demonstra uma alternativa para o fornecimento de macronutrientes como o N, via CLE, a partir da menor dose, visto que a aplicação de resíduos orgânicos pode elevar as quantidades desse elemento no solo, sendo o nutriente que mais se correlaciona com o teor de clorofila na planta (MACEDO *et al.*, 2012). Analisando a produtividade de grãos das culturas da soja e a do milho, não houve interação entre o modo de aplicação e as

doses de CLE (Tabela 21). Observou-se também que não houve efeito de doses e diferença entre os modos de aplicação do CLE.

A produtividade de grãos de soja com a aplicação do CLE não diferiu estatisticamente em relação aos valores observados para os tratamentos adicionais. Entretanto, a dose de 25 t ha⁻¹, foi similar apenas ao tratamento com adubação mineral convencional. Vieira *et al.* (2005) avaliando a aplicação de LE na cultura da soja, observaram efeito positivo na produtividade de grãos.

As médias encontradas neste trabalho são superiores à média nacional (3206 kg ha⁻¹) e à média do Estado do Mato Grosso do Sul (2980 kg ha⁻¹) (CONAB, 2019). Portanto, nota-se que a adubação dessa cultura com o CLE promoveu um aumento expressivo de produtividade de grãos, podendo ser considerada uma fonte alternativa de fertilizante orgânico, complementando a adubação mineral convencional já realizada pelos agricultores.

Tabela 20 - Efeito dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE no desenvolvimento, componentes de produção e ICF da cultura do milho

Tratamento	AP		APE		DC		NFE		NGE		MMG		ICF	
	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL	AT	EL
	cm						g							
Controle	214,0 ^x		127,7 ^x		18,3 ^x		16 ^x		523 ^x		256,2 ^x		48,5 ^x	
Adubação mineral convencional	232,0 [#]		142,7 [#]		21,6 ^x		16 ^x		550 ^x		289,9 [#]		55,1 [#]	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	220,9 ^{x#}	223,7 ^{x#}	135,4 ^{x#}	137,9 [#]	21,1 ^x	20,1 ^x	16 ^x	16 ^x	524 ^x	555 ^x	286,9 [#]	283,8 ^{x#}	54,4 [#]	56,0 [#]
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	222,0 ^{x#}	228,6 ^{x#}	137,6 [#]	137,6 [#]	22,4 ^x	21,5 ^x	17 ^x	17 ^x	540 ^x	563 ^x	282,1 ^{x#}	294,0 [#]	54,4 [#]	53,9 [#]
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	228,4 ^{x#}	227,2 ^{x#}	136,1 ^{x#}	137,2 [#]	20,9 ^x	20,5 ^x	17 ^x	16 ^x	553 ^x	529 ^x	301,9 [#]	289,6 [#]	55,1 [#]	53,7 [#]
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	228,3 ^{x#}	230,1 ^{x#}	139,2 [#]	138,9 [#]	20,7 ^x	20,6 ^x	16 ^x	16 ^x	556 ^x	663 ^x	293,9 [#]	299,2 [#]	54,1 [#]	54,0 [#]
Teste F														
Modos de Aplicação (MA)	1,16 ^{NS}		0,34 ^{NS}		1,04 ^{NS}		0,07 ^{NS}		0,51 ^{NS}		0,01 ^{NS}		0,01 ^{NS}	
Doses de CLE (base úmida)	1,72 ^{NS}		0,62 ^{NS}		1,06 ^{NS}		1,06 ^{NS}		0,57 ^{NS}		1,33 ^{NS}		0,41 ^{NS}	
(MA) x (CLE)	0,49 ^{NS}		0,18 ^{NS}		0,13 ^{NS}		1,06 ^{NS}		0,91 ^{NS}		1,18 ^{NS}		0,57 ^{NS}	
CV (%)	6,5		3,0		8,7		3,9		6,6		4,7		4,4	

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúscula para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^x, [#] Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. MD = Médias das doses (AT + EL). AP = Altura de plantas. APE = Altura da primeira espiga. DC = Diâmetro do colmo. NFE = Número de fileiras por espiga. NGE = Número de grãos por espiga. MMG = Massa de 1000 grãos. ICF = Índice de clorofila Falker. Fonte: Próprio autor.

A ausência de resposta do CLE sob as variáveis analisadas na cultura da soja, pode estar relacionada a fatores observados ao longo do ciclo das plantas. Assim, é importante mencionar que durante o cultivo da soja ocorreram variações bruscas do clima, sendo que em alguns períodos existiram elevadas temperaturas noturnas, chuvas em grandes intensidades e de longa duração. Esses fatores combinados proporcionaram uma menor resposta da cultura, principalmente, quanto à produtividade de grãos. Ou seja, na safra do ano agrícola 2017/18, verificou-se produtividade das plantas de soja variando de 4638 a 5262 kg ha⁻¹ (dados não apresentados). Já na safra do ano agrícola 2018/19, a produtividade de grãos não passou de 4827 kg ha⁻¹, sendo observada uma redução média de aproximadamente 10%.

Com relação ao efeito residual na produtividade de grãos de milho, constatou-se que para aplicação em área total, a produtividade foi similar aos tratamentos adicionais; já na aplicação nas entrelinhas houve um incremento, sendo este apenas similar estatisticamente à adubação mineral convencional. Dessa forma, observa-se que, apesar de a aplicação nas entrelinhas ser similar estatisticamente à fertilização mineral, há um ganho médio de 500 kg ha⁻¹ na produtividade, demonstrando elevado potencial do composto como uma alternativa à complementação com a fertilização mineral.

Pôde-se notar ainda que não existe diferença entre os valores obtidos para a produtividade das plantas cultivadas no solo que recebeu a aplicação das doses de CLE variando de 10,0 a 25,0 t ha⁻¹ (base úmida). Dessa forma, recomendam-se doses menores, pois utilizadas como fonte de nutrientes, irão implicar na redução dos custos com o transporte desse fertilizante orgânico, o que contribuirá para o maior uso desse produto, uma vez que o LE não compostado sempre foi aplicado em grandes quantidades em áreas agrícolas e florestais. Esse fato pode ser evidenciado no estudo desenvolvido por Barbosa *et al.* (2007), no qual foi verificado efeito residual do uso do LE no incremento da produtividade de grãos de milho, porém, após a aplicação de 36 t ha⁻¹ de lodo.

O incremento na produtividade do milho também foi observado no estudo de Risso *et al.* (2015), já com a adição das menores doses, pois é um material rico em matéria orgânica e nutrientes (CHRISTENSEN *et al.*, 1994). Diversas pesquisas já demonstraram ganhos de produtividade da cultura do milho adubada com lodo de esgoto (MARTINS *et al.*, 2003; SIMONETE *et al.*, 2003; NASCIMENTO *et al.*, 2004). Entretanto, poucos estudos foram desenvolvidos para avaliar o efeito residual dessa aplicação, especialmente utilizando o lodo de esgoto compostado.

A aplicação do CLE não influenciou de modo expressivo a produtividade de grãos. Porém, é importante ressaltar que o milho foi cultivado em ótimas condições de temperatura e umidade, resultando bom desempenho inclusive das plantas cultivadas no tratamento controle. Por outro lado, observa-se que a produtividade obtida nesse estudo foi maior que a média brasileira (5682 kg ha⁻¹) e a média da região do Estado do Mato Grosso do Sul (5040 kg ha⁻¹) – caracterizada pela presença do bioma Cerrado – para a segunda safra do ano agrícola 2018/19 (CONAB, 2019). Com base nesses valores, evidencia-se, mais uma vez, a capacidade do CLE em fornecer nutrientes para a cultura do milho e elevar a sua produtividade, com valores acima da média nacional. Deve-se destacar também que se trata de produtividades obtidas por meio do efeito residual de duas aplicações de CLE.

Tabela 21 - Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) das culturas de soja e de milho em função dos tratamentos e do modo de aplicação do CLE

Tratamento	Produtividade	
	AT	EL
	<i>Soja</i>	
Controle		4211 ^x
Adubação mineral convencional		4553 ^{x#}
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	4653 ^{x#}	4718 ^{x#}
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	4568 ^{x#}	4861 ^{x#}
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	4969 ^{x#}	4683 ^{x#}
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	5102 [#]	4476 ^{x#}
Teste F		
Modos de Aplicação (MA)		1,11 ^{NS}
Doses de CLE (base úmida)		0,25 ^{NS}
(MA) x (CLE)		2,35 ^{NS}
CV (%)		7,9
	<i>Milho</i>	
Controle		8143 ^x
Adubação mineral convencional		9524 ^{x#}
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	9722 ^{x#}	8707 ^{x#}
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	9373 ^{x#}	10176 [#]
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	9473 ^{x#}	10224 [#]
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	9696 ^{x#}	9963 [#]
Teste F		
Modos de Aplicação (MA)		0,42 ^{NS}
Doses de CLE (base úmida)		0,94 ^{NS}
(MA) x (CLE)		1,84 ^{NS}
CV (%)		9,3

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra (minúsculas para doses e maiúscula para modo de aplicação) na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^x, [#] Médias seguidas pelo mesmo símbolo não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. Fonte: Próprio autor.

Ainda em relação à produtividade de grãos, apesar da não diferença significativa entre adubação com CLE e os tratamentos adicionais, notou-se aumento percentual da produtividade da cultura da soja e do milho com aplicação do CLE (Tabela 22). Os tratamentos que receberam aplicação de CLE, tanto na cultura da soja quanto do milho, apresentaram aumento mais expressivo em relação ao tratamento controle e menor incremento em relação ao tratamento com adubação mineral convencional, fato que pode justificar o uso dessa prática entre os agricultores, por melhorar o rendimento da cultura, além de ser uma alternativa sustentável de disposição final – o que diminui a poluição do meio ambiente – e gerar emprego e renda, ao introduzir um fertilizante denominado classe D no mercado, o que diversifica e desconcentra economicamente a produção de fertilizantes no país (Moraes *et al.*, 2019).

Observou-se que para a cultura da soja, a aplicação de CLE em área total para a dose de 25 t ha⁻¹, levou a um incremento na produtividade de 17,5 % em relação ao controle e 10,8% em relação à adubação mineral convencional. Para o efeito residual da aplicação do CLE relativamente à cultura do milho, verificou-se que o incremento da produtividade foi mais expressivo, com a dose 20 t ha⁻¹ aplicada nas entrelinhas aumentando 20,3% em relação ao tratamento controle e 6,8% em relação à adubação mineral.

Tais resultados ratificam que a aplicação do CLE é uma boa alternativa como fonte de adubo orgânico e fornecimento de nutrientes, contribuindo para uma maior produtividade das culturas. Moraes *et al.* (2019), enfatizam que atualmente o país vem perdendo potencial produtivo das lavouras devido a fatores abióticos e mal manejo, agravado ainda mais pelo pensamento imediatista que busca produção em escala; sendo assim, alternativas e tecnologias precisam ser estudadas e validadas para minimizar as perdas, principalmente por fatores abióticos, que são difíceis de serem controlados. Frisa-se, uma vez mais, que a adubação de CLE exige, ainda, um estudo a longo prazo para validar sua aplicação, avaliando benefícios e implicações. De acordo com Pauletti *et al.* (2003), os experimentos de longa duração são importantes para avaliar respostas cumulativas dos tratamentos e para sua validação, considerando que os resultados ainda podem ser influenciados pelas condições da área experimental e pela adoção de práticas culturais, além das condições climáticas do ano agrícola.

Tabela 22 - Aumento ou redução percentual da produtividade de grãos de soja e de milho em relação aos tratamentos adicionais

Tratamento	Produtividade			
	AT	EL	AT	EL
<i>Soja</i>				
	Controle		Abubação mineral convencional	
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	9,5%	10,7%	2,1%	3,5%
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	7,8%	13,4%	0,3%	6,3%
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	15,3%	10,1%	8,4%	2,8%
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	17,5%	5,9%	10,8%	-1,7%
<i>Milho</i>				
10 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	16,2%	6,5%	2,0%	-9,4%
15 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	13,1%	20,0%	-1,6%	6,4%
20 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	14,0%	20,3%	-0,5%	6,8%
25 t ha ⁻¹ de CLE (base úmida)	16,0%	18,3%	1,8%	4,4%

Nota: AT = Área total. EL = Entrelinhas. CLE = Composto de lodo de esgoto. Fonte: Próprio autor.

6.4 CORRELAÇÕES

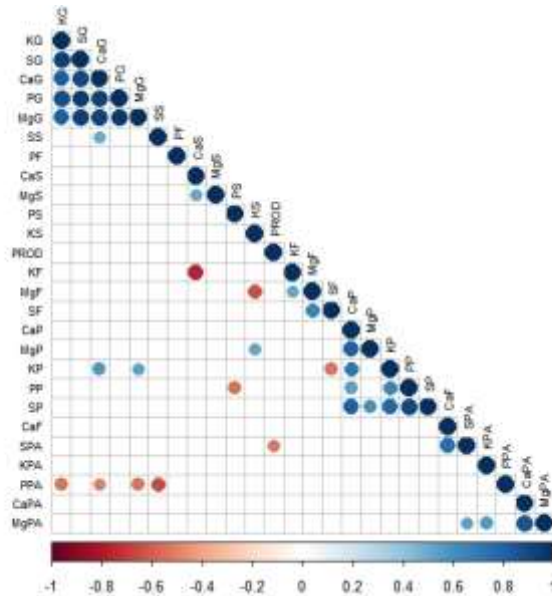
Na figura 36 a seguir, está descrita a correlação de Pearson entre os teores dos macronutrientes (Ca, Mg, K, P e S) no solo e em partes vegetais (folhas, extração na parte aérea, exportação nos grãos e acúmulo na palhada) da cultura da soja, além da produtividade de grãos em função do modo de aplicação do CLE. Para a aplicação do CLE em área total, notou-se haver correlação positiva entre os teores de Ca e os teores de Mg no solo. Do mesmo modo, observou-se também correlação positiva entre o Ca e Mg extraídos da parte aérea, correlação positiva entre Ca e Mg exportados dos grãos e a correlação positiva desses mesmos nutrientes acumulados na palhada, devido à absorção deles pela planta de soja (Figura 36a).

Destaca-se, também, que a aplicação do CLE em área total proporcionou uma correlação negativa entre o teor de Ca no solo e o teor de K foliar. Tal fato pode estar relacionado a processos de inibição entre os dois elementos. Sabe-se que o K⁺ compete com vários cátions, (principalmente com o NH₄⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺) pelos sítios de absorção da membrana plasmática; dessa forma, a diminuição da disponibilidade de determinado cátion no solo resulta no aumento da absorção dos demais (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

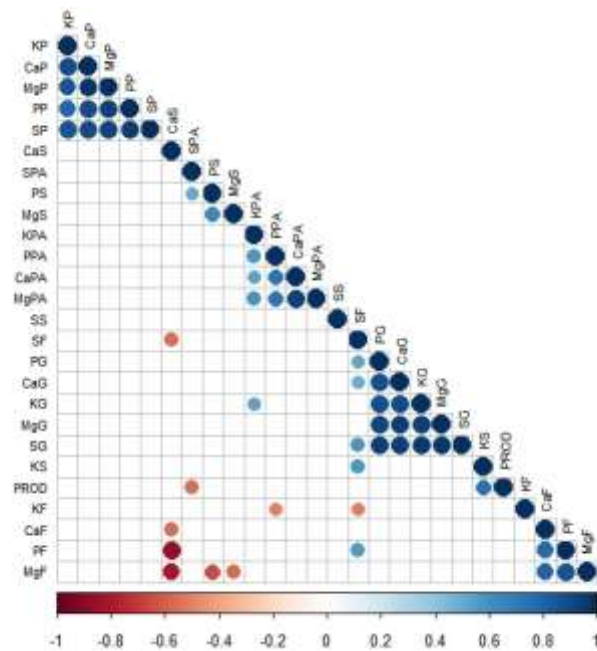
Figura 36 - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre os teores de macronutrientes (Ca, Mg, K, P e S) no solo após o cultivo da cultura da soja, os teores foliares de macronutrientes na cultura da soja, a extração de macronutrientes na parte aérea das plantas de soja, a exportação de macronutrientes no grãos de soja, o acúmulo de macromacronutrientes da palhada da cultura da soja e a produtividade de grãos de soja em função da aplicação do CLE em area total (a) e nas entrelinhas (b).

YS = Y (macronutriente) + S (Solo), YF = Y (macronutriente) + F (foliar), YF = Y (macronutriente) + PA (extração parte aérea), YF = Y (macronutriente) + G (exportação grãos), YF = Y (macronutriente) + P (acúmulo na palhada) e PROD = produtividade de grãos.

(a)



(b)



Fonte: Próprio autor.

Houve uma correlação negativa entre os teores de K no solo e os teores Mg na folha, o que também se deve à inibição entre esses elementos (Figura 34a), visto que o aumento no teor de K⁺ no solo causa diminuição na absorção de Mg (LIMA *et al.*, 2018). Oliveira *et al.* (2001), em seu estudo sobre a disponibilidade de K e suas relações com Ca e Mn na cultura da soja cultivada em casa de vegetação, constataram que o aumento dos teores de K disponíveis no solo intensificou o efeito competitivo sobre a absorção do Ca e do Mg. A relação entre esses três elementos já foi objeto de pesquisa em muitas culturas (LIMA *et al.*, 1981; BÜLL: VILLAS BÔAS; NAKAGAWA, 1998; ABRAHÃO; BÔAS; BULL, 2014, LIMA *et al.*, 2018), pois sabe-se que o teor de um elemento no solo interfere diretamente nas quantidades absorvidas pelas plantas (ANDREOTTI *et al.*, 2000).

Foi observada correlação negativa entre o teor de S no solo e a extração de P na parte aérea da cultura da soja (Figura 36a). Isso pode estar relacionado ao fato de o SO₄²⁻ competir pelos sítios de adsorção com os íons fosfatos (H₂PO₄⁻), sendo que este último fica retido com maior energia e com menos reversibilidade; desse modo, sua disponibilidade para as plantas é dificultada (VENEGAS *et al.*, 2007).

Para os nutrientes exportados nos grãos, houve correlação positiva entre os teores de Mg e os de S e P, entre os teores de P e os de K, S e Ca, entre os teores de Ca e os de K e S e entre os teores de S e as quantidades de K exportadas nos grãos de soja. Já em relação ao acúmulo de S na palhada, verificou-se correlação positiva entre as quantidades de Ca, Mg, K e as de P acumuladas na palhada. Também foi observada correlação entre o acúmulo de P e de Ca e K na palhada da cultura da soja (Figura 36a).

De modo geral, pôde-se notar que a aplicação do CLE nas entrelinhas da cultura da soja proporcionou um maior número de correlações positivas em relação à aplicação do CLE em área total (Figura 36b). Assim como observado na aplicação do CLE em área total, verificou-se que o Mg exportado pelos grãos de soja correlacionou positivamente com P, Ca, e K. Houve ainda correlação positiva entre o S e os nutrientes P, Ca, K e Mg exportados pelos grãos de soja. Destaca-se também a correlação positiva entre os elementos K, P e Ca e os Ca e o P, igualmente exportados pelos grãos

Em relação aos teores extraídos da parte aérea, observou-se correlação positiva do Mg extraído com K, P e o Ca. O Ca orrelacionou com o teor de K e P. Já para P, houve correlação positiva com o K (Figura 36b).

Relativamente ao acúmulo de macronutrientes na palhada da cultura da soja, constatou-se que houve correlação positiva entre as quantidades acumuladas de S e as de K, Ca, Mg e P. O acúmulo de P também apresentou correlação positiva com o de K, Ca e Mg. Já o Mg correlacionou positivamente com o K e o Ca. O Ca correlacionou positivamente com o teor de K (Figura 36b).

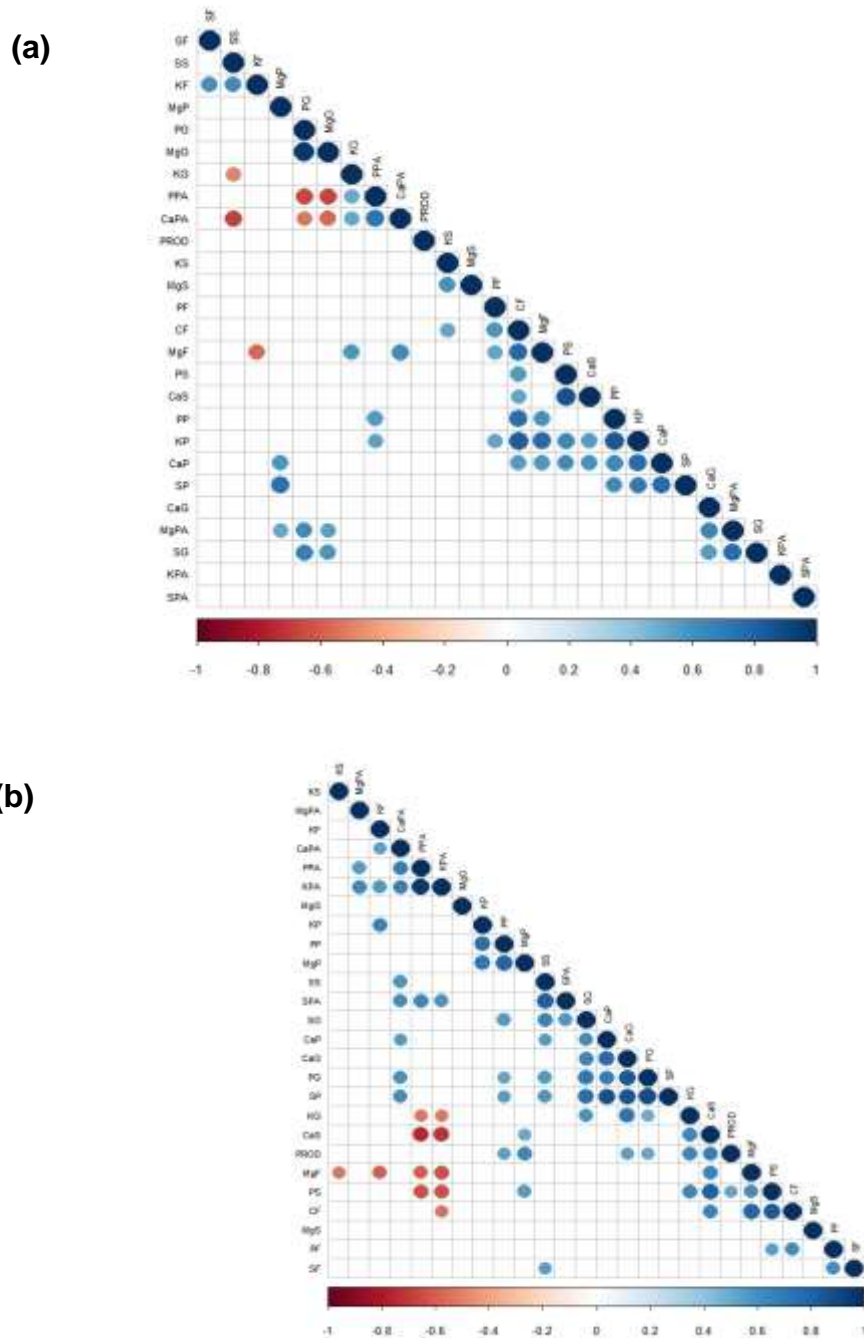
Ao analisar o teor de Mg nas folhas, observou-se correlação negativa entre o teor de Ca, P e Mg no solo. Entretanto, o teor de Mg na folha correlacionou positivamente com o Ca e P (Figura 36b). A relação negativa do teor de Mg foliar com o de Ca no solo pode estar relacionada ao efeito antagônico entre esses nutrientes, em que o excesso de um prejudica a absorção do outro (PRADO, 2008). Observou-se também que a quantidade de Ca no solo correlaciona negativamente com a de Ca na folha. Dessa forma, a correlação negativa entre o Ca e o Mg no solo e o Ca e o Mg foliar pode ser devido às análises do solo terem sido feitas após a cultura da soja; sendo assim, a absorção dos nutrientes pela planta e posteriormente exportados, diminui a quantidade disponível no solo.

Com relação à produtividade, apenas o teor de K no solo apresentou correlação positiva com a mesma (Figura 36b). Como o K é o segundo nutriente mais exigido pelas plantas de soja, sendo um elemento que é facilmente perdido pelo processo de lixiviação, o seu conteúdo no solo é de grande importância para a adequada nutrição da soja e, conseqüentemente, auxilia nos maiores rendimento da cultura (MASCARENHAS *et al.*, 2000; VITTI, TREVISAN, 2000; ABREU *et al.*, 2007; MILANESI, 2015).

Foi avaliada também a correlação de Pearson para os teores dos macronutrientes presente no solo e em partes vegetais (folhas, extração parte aérea, exportação nos grãos e acúmulo na palhada) da cultura do milho, além da produtividade de grãos em função do modo de aplicação do CLE (Figura 37).

Quando o CLE foi aplicado em área total, pôde-se notar correlação positiva para o teor de Mg e K no solo. Em relação ao Ca no solo, verificou-se correlação positiva ao teor de Ca obtido nas folhas, demonstrando que quanto maior o teor do nutriente no solo, maior será o aproveitamento e a absorção pelas plantas (Figura 37a). Por outro lado, houve correspondência negativa entre os teores de Mg e K nas folhas, o que pode estar relacionado à maior absorção de K, que é um íon monovalente apresentando um menor grau de hidratação quando comparado aos íons divalentes (ex. Mg^{2+}) (PRADO, 2008; LIMA *et al.*, 2018).

Figura 37 - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre os teores de macronutrientes (Ca, Mg, K, P e S) no solo após o cultivo da cultura do milho, os teores foliares de macronutrientes na cultura do milho, a extração de macronutrientes na parte aérea das plantas de milho, a exportação de macronutrientes no grãos do milho, o acúmulo de macronutrientes da palhada do milho e a produtividade de grãos de milho em função da aplicação do CLE em área total (a) e nas entrelinhas (b). $YS = Y$ (macronutriente) + S (Solo), $YF = Y$ (macronutriente) + F (foliar), $YF = Y$ (macronutriente) + PA (extração parte aérea), $YF = Y$ (macronutriente) + G (exportação grãos), $YF = Y$ (macronutriente) + P (acúmulo na palhada) e $PROD =$ produtividade de grãos.



Fonte: Próprio autor

É importante destacar também que o Mg extraído da parte aérea apresentou correlação positiva com os teores de Mg exportados nos grãos e acumulados na palhada. Dessa forma, é possível verificar que a maior absorção desse elemento, em função da aplicação do CLE, promove o aumento os teores na planta (Figura 37a).

Por meio da aplicação do CLE nas entrelinhas, foi possível observar que o teor de Mg nas folhas apresentou correspondência negativa com o de K no solo e nas folhas, evidenciando, mais uma vez, inibição entre esses elementos na absorção pela planta (Figura 37b). Pôde-se verificar também correlação positiva entre a produtividade de grãos da soja e a quantidade de Ca, P e K exportada (Figura 37b). Nesse sentido, é importante considerar que quanto maior for a produtividade, maior será a quantidade de nutrientes exportados, indicando a importância do monitoramento da disponibilidade de nutrientes e a adequação da fertilização mineral e orgânica (MORAES *et al.*, 2019).

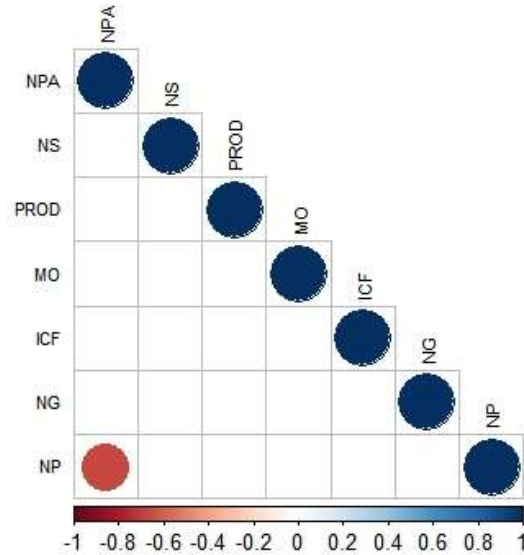
Ao analisar as correlações de Pearson entre N na planta, a matéria orgânica no solo, o ICF e a produtividade quando o CLE foi aplicado em área total e entrelinhas para a cultura da soja, é possível notar a correspondência negativa entre o N extraído na parte aérea e o N acumulado na palhada, especificamente para a aplicação do composto em área total (Figura 38a).

Vale ressaltar que a parte área faz parte da palhada coletada no final do ciclo, portanto, são momentos distintos de coleta. Até o momento da colheita da soja, ocorre desfolha na cultura, que é rapidamente decomposta por microrganismos do solo. Além disso, como se trata de estudo com dois anos agrícolas, a área se encontrava com restos vegetais do milho, cultivado no primeiro ano agrícola). Por ser um material que precisa de um período mais longo para ser decomposto, pode ter se misturado e sido coletado junto à palhada da soja.

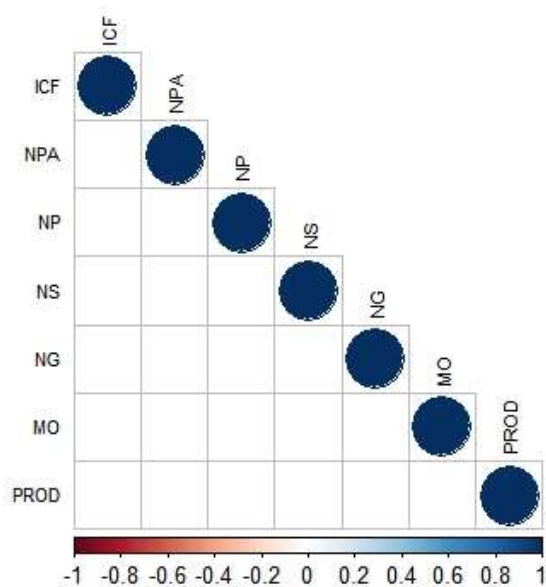
Ao contrário do que se esperava, não houve correlação positiva entre ICF e N foliar, apesar de diversos estudo mostrarem estreita relação entre essas variáveis (ARGENTA *et al.*, 2003). Rosa *et al.* (2005) e Pariz *et al.* (2011) relatam que o ICF normalmente tem correlação positiva com o teor de N foliar, podendo gerar um diagnóstico prévio de deficiência de N, já que o clorofilômetro estima indiretamente a concentração de clorofila das folhas (cor verde), a qual apresenta uma relação significativa com a concentração desse elemento, que está presente na estrutura molecular da clorofila (TAIZ; MOLLER; MURPHY, 2017).

Figura 38 - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre a matéria orgânica (MO) do solo após o cultivo da cultura da soja, o Índice de Clorifila Falker (ICF), os teores de N foliar (NF), N extraído da parte aérea (NPA), N exportados nos grãos (NG) e N acumulado na palhada (NP) e a produtividade de grãos de soja (PROD) em reposta à aplicação de CLE em area total (a) e nas entrelinhas (b).

(a)



(b)



Fonte: Próprio autor.

Em relação ao efeito residual da aplicação do CLE na cultura do milho e analisando o N na planta e das demais variáveis (MO, ICF e produtividade), verificou-se que para a aplicação em área total e nas entrelinhas, assim como observado na cultura da soja, houve correlação negativa entre N extraído da parte aérea das plantas

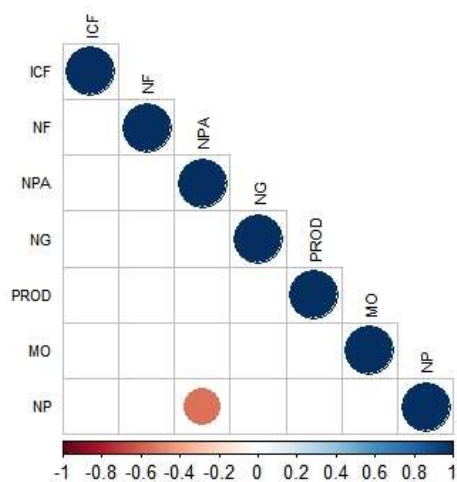
de milho e o acúmulo desse nutriente na palhada. Esse resultado pode ter similitude aos motivos mencionados anteriormente na cultura da soja (Figura 39a e 39b), ou seja, ser um material colhido em momentos diferentes e possível mistura com cultura anterior não decomposta.

Na figura 40, estão sendo apresentadas as correlações entre os teores de micronutrientes no solo, extraídos por DTPA e Mehlich-1 após o cultivo da cultura da soja, os teores e os acúmulos de micronutrientes presentes nas partes das plantas e a produtividade de grãos. Observou-se que para os dois extratores, apenas o Zn extraído por DTPA correlacionou positivamente com o Zn extraído por Mehlich-1, nos tratamentos em que o CLE foi aplicado em área total (Figura 40a). Portanto, na medida em que aumenta o teor de Zn disponível por DTPA, o teor extraído por Mehlich-1 também é incrementado. Ortiz; Brito; Borker (2007) e Silva *et al.* (2009) também verificaram correlação positiva entre o Zn extraído por DTPA e por Mehlich-1.

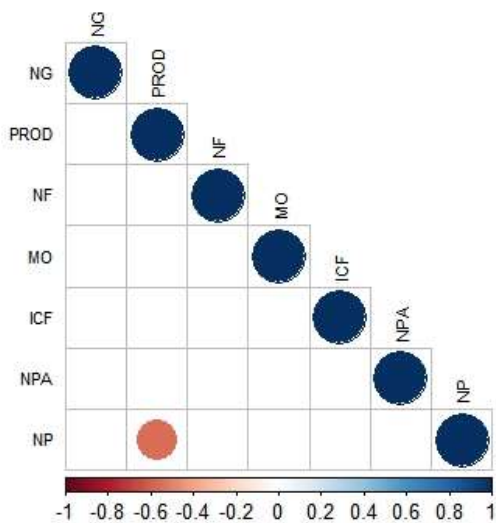
Em relação à extração da parte aérea, notou-se correlação positiva entre todos os micronutrientes extraídos. Observou-se também que para os teores de micronutrientes exportados, exceto para o de B com o de Fe, houve correlação positiva entre os micronutrientes avaliados. Já para o acúmulo na palhada, exceto para o teor de Fe e de Cu, houve correlação positiva entre os micronutrientes (Figura 40a), evidenciando maior absorção dos micronutrientes encontrados em função do fornecimento do CLE.

Figura 39 - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre a matéria orgânica (MO) do solo após o cultivo da cultura do milho, o Índice de Clorifila Falker (ICF), os teores de N foliar (NF), N extraído da parte aérea (NPA), N exportado nos grãos (NG) e N acumulado na palhada (NP) e a produtividade de grãos de milho (PROD) em resposta à aplicação de CLE em área total (a) e nas entrelinhas (b)

(a)

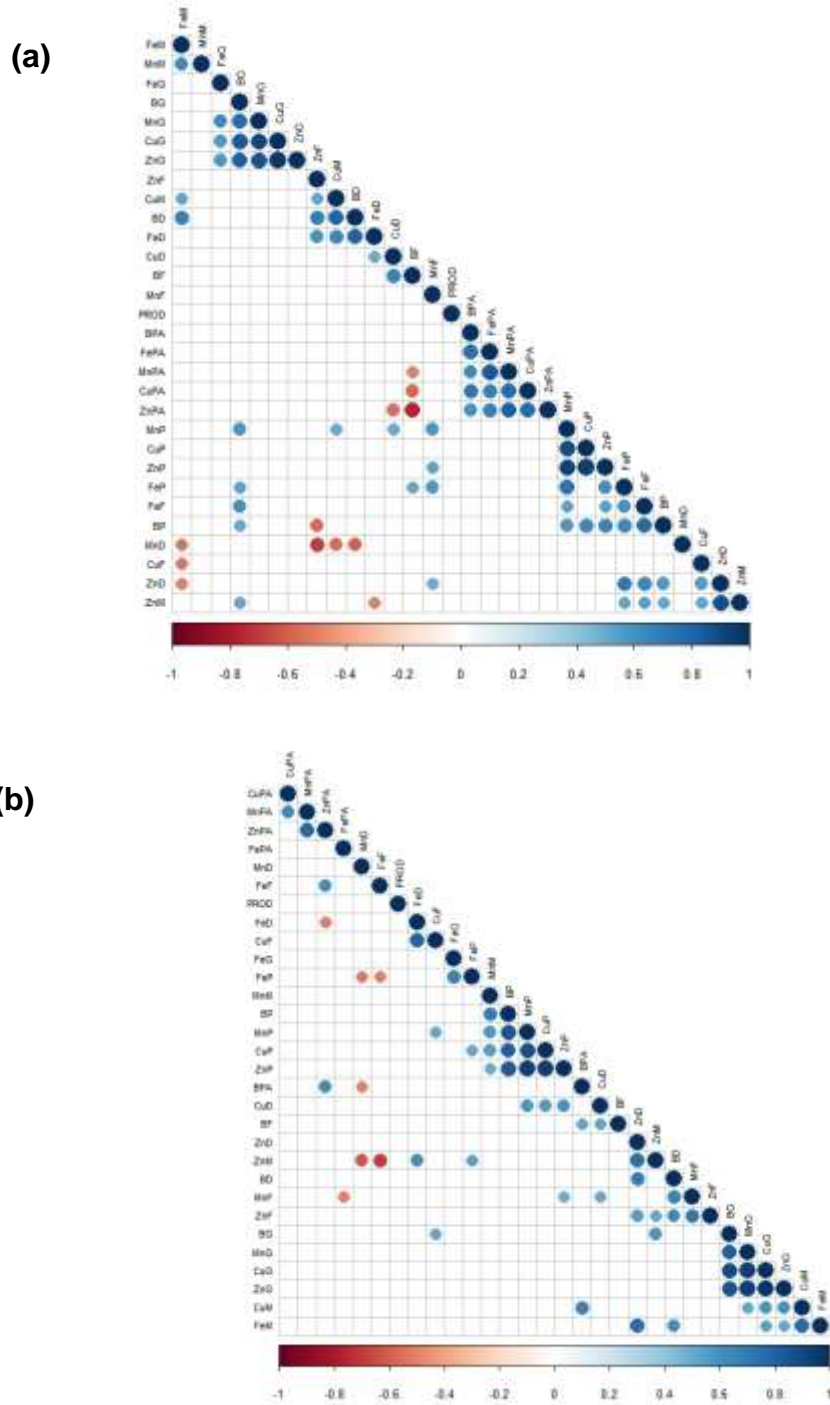


(b)



Fonte: Próprio autor.

Figura 40 - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre os teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no solo após o cultivo da cultura da soja, os teores foliares de micronutrientes na cultura da soja, a extração de micronutrientes na parte aérea da cultura da soja, a exportação de micronutrientes nos grãos de soja, o acúmulo de micronutrientes da palhada da soja e a produtividade de grãos de soja em função da aplicação de CLE em área total (a) e nas entrelinhas (b). YD = Y (micronutriente) + D (extração no solo por DTPA), YD = Y (micronutriente) + M (extração no solo por Mehlich-1), YF = Y (micronutriente) + F (foliar), YF = Y (micronutriente) + PA (extração parte aérea), YF = Y (micronutriente) + G (exportação grãos), YF = Y (micronutriente) + P (acúmulo na palhada) e PROD = produtividade de grãos



Fonte: Próprio autor.

Quando o CLE foi aplicado nas entrelinhas, pôde-se verificar correlação positiva entre os teores de Zn extraídos por DTPA e os extraídos por Mehlich-1. Entretanto, ao contrário da aplicação em área total, as quantidades extraídas por DTPA e por Mehlich-1, não apresentaram correlação positiva às presentes nas folhas (Figura 40b).

Exceto para o teor de Fe, houve correlação positiva entre os micronutrientes exportados nos grãos. Em relação ao acúmulo na palhada, também com exceção do Fe, houve correlação entre os demais micronutrientes. Entretanto, para as quantidades extraídas da parte aérea, houve apenas correlação entre o acúmulo de Cu e Mn e de Zn e Mn (Figura 40b).

Foi observada também correlação positiva entre os teores de B foliar e os teores de B extraídos na parte aérea (Figura 40b). Dessa forma, quanto melhor o estado nutricional da soja em relação ao B, maior será a sua absorção e transferência para a parte aérea da planta.

Na figura 41, estão apresentadas as correlações entre os teores de micronutrientes no solo, extraídos por DTPA e Mehlich-1, os presentes nas partes das plantas e a produtividade de grãos após o milho (Figura 41). Na aplicação do CLE em área total, notou-se correlação positiva entre o teor foliar de Zn e o teor disponível de Zn no solo extraído por DTPA (Figura 41a). O extrator DTPA apresenta boa relação na predição dos teores de Zn no solo, principalmente, em frações consideradas mais biodisponíveis (trocável e matéria orgânica), mostrando sua eficiência como extrator para a avaliação desse elemento, especialmente, em solos agrícolas que receberam aplicações de resíduos orgânicos (ARAÚJO; NASCIMENTO, 2005).

Verificou-se, também, correlação positiva entre o teor de Fe disponível no solo extraído por DTPA e o teor de Fe extraído na parte aérea das plantas de milho. Entretanto, houve uma correlação negativa entre a quantidade de Fe foliar e a de Fe no solo (Figura 41a).

Em relação aos teores exportados nos grãos do milho, houve correlação positiva entre Zn e B e entre Zn e Fe. Já para as quantidades acumuladas na palhada, houve correspondências entre Cu, Fe e Zn (Figura 41a).

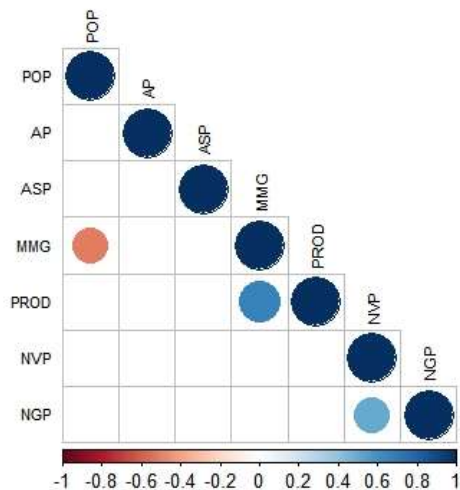
Ao analisar as correlações de Pearson para o CLE aplicado nas entrelinhas, observou-se conexão positiva entre o teor de Mn no solo determinado por DTPA e por Mehlich-1 (Figura 41b). Observou-se também, para o extrator Mehlich-1, que os teores de Cu, Fe e Zn se correlacionaram positivamente (Figura 41b). Isso deve-se ao aumento das doses CLE aplicadas nas entrelinhas, evidenciando que o CLE pode ser um importante fornecedor desses micronutrientes.

Quanto ao desenvolvimento da cultura, componentes de produção e rendimento da cultura da soja, constatou-se que para a aplicação em área total houve correlação positiva entre: PROD x MMG e NVP x NGP. Por outro lado, notou-se correlação negativa entre: MMG x POP (Figura 42a). Já para a aplicação do CLE nas entrelinhas, houve correlação positiva entre: PROD x MMG e NVP x NGP (Figura 42b).

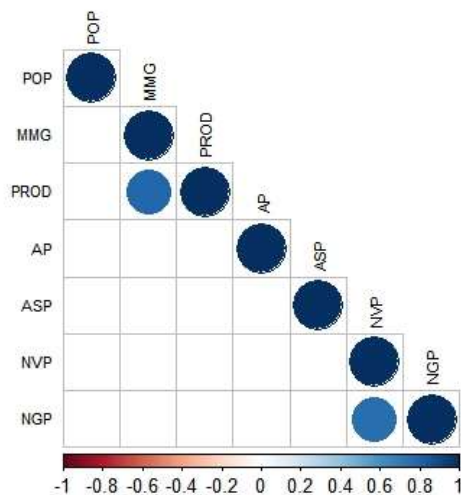
Em relação ao efeito residual do CLE na cultura do milho, observou-se que para a aplicação em área total houve correspondência positiva entre: NFE x NGE e AP x APE (Figura 43a) e para a aplicação nas entrelinhas, houve correlação positiva entre: NFE x NGE, DC x NGE, AP x MMG, APE x DC e a MMG x AP (Figura 43b).

Figura 42 - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre o desenvolvimento da cultura, os componentes de produção e a produtividade de grãos de soja em resposta à aplicação de CLE em área total (a) e nas entrelinhas (b). AP = altura de plantas, ASP = Altura da 1ª inserção da vagem, NVP = número de vagens por planta, NGP = número de grãos por planta, MMG = massa de 1.000 grãos, POP = polupação final de plantas e PROD = produtividade de grãos

(a)

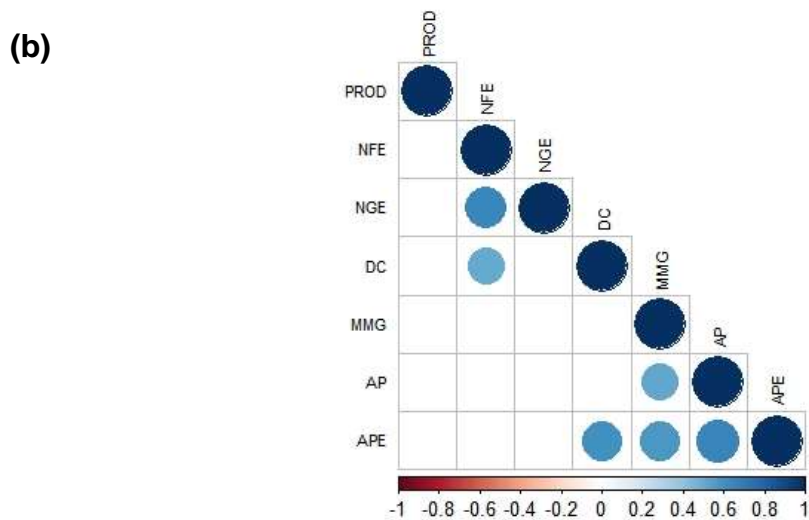
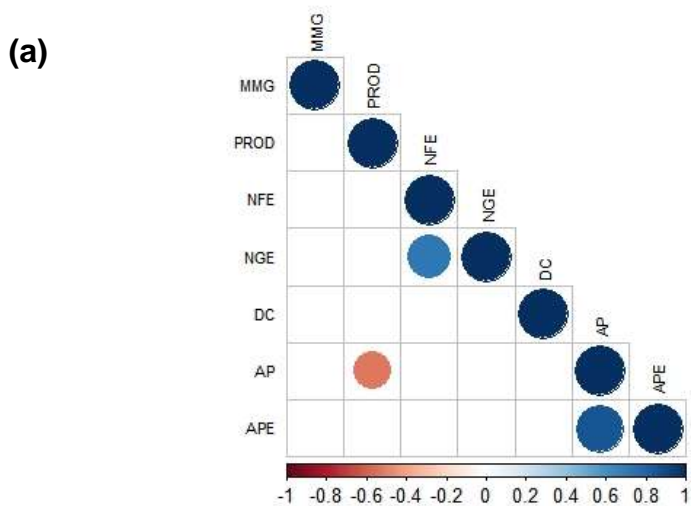


(b)



Fonte: Próprio autor.

Figura 43 - Mapa de calor mostrando a correlação de Pearson entre o desenvolvimento da cultura, os componentes de produção e a produtividade de grãos de soja em função da aplicação de CLE em área total (a) e nas entrelinhas (b). AP = altura de plantas, APE = Altura da 1ª espiga, DC = diâmetro do colmo, NFE = número de fileiras por espiga, NGE = número de grãos por espiga, MMG = massa de 1.000 grãos e PROD = produtividade de grãos



Fonte: Próprio autor.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O CLE contribui para melhorar as qualidades químicas do solo, elevando os valores de SB, CTC e V. Além disso, promove o aumento dos teores de macronutrientes disponíveis nas diferentes profundidades. Contribui também para o aumento dos teores disponíveis de micronutrientes, principalmente B e Zn. Nos solos que receberam CLE, o extrator Mehlich-1 foi responsável por extrair maiores quantidades de Cu, Fe, Mn e Zn quando comparado ao DTPA.

Nas culturas de soja e milho, as doses de CLE proporcionam teores foliares de macro e micronutrientes adequados, não sendo notado nenhum sintoma visual de toxicidade das plantas. Tal fato refletiu no bom desempenho agrônômico das culturas, mesmo não sendo notado efeito direto nos componentes de produção.

A aplicação do CLE não influencia as quantidades de nutrientes extraídos da parte aérea das culturas. Porém, incrementa a exportação de B e Zn pelos grãos das plantas. O aumento das doses do CLE promove maior acúmulo de macro e micronutrientes nos restos culturais, favorecendo a ciclagem desses elementos para culturas subsequentes.

Com a aplicação de CLE, a cultura da soja obteve ganho de 10,8% na produtividade de grãos quando comparada às plantas cultivadas com adubação mineral convencional. O efeito residual da aplicação do CLE na cultura do milho, promove ganho de 6,8% em relação às plantas cultivadas com aplicação de fertilizante mineral.

Considerando os valores obtidos para a produtividade de grãos das culturas de soja e de milho, recomenda-se a utilização das doses de 25 e 15 t ha⁻¹ (base úmida), respectivamente. Ainda com base nos resultados observados no presente estudo, sugere-se que a aplicação do composto seja realizada em área total.

Há correlação positiva no solo no teor de Zn extraído por DTPA e por Mehlich-1, com os teores verificados nas folhas da cultura da soja. Para os dois modos de aplicação, foram verificadas correlações significativas para as variáveis estudadas, tanto positivas quanto negativas.

Conclui-se que a aplicação do CLE em solo de Cerrado, de baixa fertilidade natural, promove melhorias nos atributos químicos do solo e aumenta os teores disponíveis de nutrientes, inclusive de micronutrientes limitantes, resultando no adequado estado nutricional e no bom desenvolvimento das culturas de soja e de

milho. Desse modo, o uso desse adubo orgânico na agricultura poderá reduzir os custos com fertilizantes minerais, além de dar um destino sustentável ao lodo de esgoto.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, C.; BÔAS, R. L. V.; BULL, L. T. Relação K: Ca: Mg na solução nutritiva para produção de minitomate cultivado em substrato. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 214-224, 2014.

ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; ANDRADE, J. C. Determinação de cobre, ferro, manganês, zinco, cádmio, cromo, níquel e chumbo em solos usando a solução de DTPA em pH 7,3. *In*: RAIJ, B. van; ANDRANDE, J. C.; CANTARELLA, H.; GUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001a. p. 231–239.

ABREU, M. F.; ABREU, C. A.; ANDRADE, J. C. Determinação de boro em água quente, usando aquecimento com micro-onda. *In*: RAIJ, B. van; ANDRANDE, J. C.; CANTARELLA, H.; GUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001b. p. 231–239.

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 645–736.

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, 2008, p. 183–210.

ABREU-JUNIOR, C. H.; FIRME, L. P.; MALDONADO, C. A. B., MORAES NETO, S. P.; ALVEZ, M. C.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E.; GAVA, J. L.; HE, Z.; NOGUEIRA, T. A. R.; CAPRA, G. F. Fertilization using sewage sludge in unfertile tropical soils increased wood production in *Eucalyptus* plantations. **Journal of Environmental Management**, London, v. 2003, p. 51–58, 2017.

ABREU-JUNIOR, C. H.; BROSSI, M. J. L.; MONTEIRO, R. T.; CARDOSO, P. H. S.; MANDU, T. S.; NOGUEIRA, T. A. R.; GANGA, A.; FILZMOSER, 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

ALBUQUERQUE, H. C.; ZUBA JUNIO, G. R.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A.; ZONTA, E.; BARBOSA, C. F. Yield and nutrition of sunflower fertilized with sewage sludge. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 6, p. 553–559, 2015.

ALCARDE, J. C.; VALE, F. Solubilidade de micronutrientes contidos em formulações de fertilizantes, em extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 363–372, 2003.

ALTMANN, N.; PAVINATO, A. Experiências da SLC agrícola no manejo da fertilidade do solo no cerrado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 94, p. 1–4. 2001.

ALVAREZ, V.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solo. *In*: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ, V., V. H. (ed.). **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 67–78.

AMBROSANO, E. J.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; RAIJ van, B.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. *In*: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 189–204.

ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. M.; QUEIROZ, D. S.; SALGADO, L. T.; CECON, P. R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, Edição especial, p. 1643–1651, 2003.

ANDREOTTI, M.; SOUZA, E. C. A. D.; CRUSCIOL, C. A. C.; RODRIGUES, J. D.; BÜLL, L. T. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação por bases e da adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 12, p. 2437–2446, 2000.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. D.; FORSTHOFER, E. L., SRRIEDER, M. L.; SUHRE, E.; TEICHMANN, L. L. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 109–119, 2003.

ANTONIADIS, V.; TSADILAS, C. D.; SAMARAS, V., Trace element availability in a sewage sludge-amended cotton grown Mediterranean soil. **Chemosphere**, Oxford, v. 80, n. 11, p. 1308–1313, 2010.

ARAÚJO, J. C. T.; NASCIMENTO, C. W. A. Fracionamento e disponibilidade de zinco por diferentes extratores em solos incubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 977–95, 2005.

BACKES, C.; LIMA, C. P. D.; GODOY, L. J. G. D.; SANTOS, A. J. M.; BÔAS, V.; LYRA, R., BÜLL, L. T. Produção, acúmulo e exportação de nutrientes em grama esmeralda adubada com lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 413–422, 2010.

BACKES, C.; SANTOS, A. J. M.; GODOY, L. J. G.; BÔAS, R. L. V., OLIVEIRA, M. R., OLIVEIRA, F. C., Doses de lodo de esgoto compostado em produção de tapete de grama esmeralda imperial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 5, p. 1402–1414, 2013.

BARBOSA FILHO, M. P.; CANTARELLA, H.; WIETHÖLTER, S. Arroz, milho e trigo. *In*: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van.; ABREU, C. A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 285–318.

BARBOSA, G. M. D. C.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; FONSECA, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 601–605, 2007.

BELHAJ, D.; ELLOUMI, N.; JERBI, B.; ZOUARI, M.; BEN ABDALLAH, F.; AYADI, H.; KALLEL, M. Effects of sewage sludge fertilizer on heavy metal accumulation and consequent responses of sunflower (*Helianthus annuus*), **Environmental Science and Pollution Research**, Landsberg, v. 23, n. 20, p. 20168–20177, 2016.

BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; RUFFO, M. L.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, n. 1, p. 161–170, 2013.

BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: a review. **Bioresource Technology**, New York, v. 100, n. 22, p. 5444–5453, 2009.

BERTOLAZI, K. B.; DE SOUZA AFÁZ, D. C.; VIANI, R. A. G.; SOUZA, C. F. Viabilidade da aplicação de composto de lodo de esgoto no cultivo inicial de eucalipto. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, Araras, v. 4, n. 1, p. 72–78, 2017.

BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a resolução nº 375 do Conama**. FEPAF: Botucatu, 2010. p. 31–50.

BERTOL, O. J.; FEY, E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, O. J.; RIZZI, N. E., Mobilidade de P, Cu e Zn em colunas de solo sob sistema de semeadura direta submetido às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 1841–1850, 2010.

BERTOLAZI, K. B.; AFÁZ, D. C. D. S.; VIANI, R. A. G.; SOUZA, C. F. Viabilidade da aplicação de composto de lodo de esgoto no cultivo inicial de eucalipto. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, Araras, v. 4, n. 1, p. 72–78, 2017.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; GOMES, D. Sewage sludge usage in agriculture: a case study of its destination in the Curitiba metropolitan region, Parana, Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 225, n. 9, p. 2074, 2014.

BITTENCOURT, S. **Experiência brasileira de uso benéfico de lodo de esgoto em solos**. Belo Horizonte: Visual, 2018. Disponível em: <http://etes-sustentaveis.org/wp-content/uploads/2018/05/Palestra-Matos-Workshop-Lodo-2.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2018.

BLOEM, E.; ALBIHN, A.; ELVING, J.; HERMANN, L.; LEHMANN, L.; SARVI, M.; SCHAAF, T.; SCHICK, J.; TURTOLA, E.; YLIVAINIO, K. Contamination of organic nutrient sources with potentially toxic elements, antibiotics and pathogen microorganisms in relation to P fertilizer potential and treatment options for the production of sustainable fertilizers: a review. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 607-608, p. 225–242, 2017.

BOEIRA, R. C.; MAXIMILIANO, V. C. B. Mineralização de compostos nitrogenados após aplicações de lodos de esgoto em quatro cultivos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 207–218, 2009.

BONETTI, J. A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; CAETANO, J. O. Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock system in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 53, n. 11, p. 1239–1247, 2018.

BONINI, C. S. B.; DÍAS, R. S.; ALVES, M. C.; ABREU, C. A.; VÁZQUEZ, E. V.; PAZ-FERREIRO, J. Micronutrient contents of a revegetated saprolite exposed by excavation of an Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 46, n. 1, p. 283–295, 2015.

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.

BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após a aplicação de bio-sólido: II. Disponibilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 557–568, 2004.

BORKERT, C. M.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. O potássio na cultura da soja. *In*: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2005. p. 671–722.

BORKERT, C. M.; PAVAN, M. A.; BATAGLIA, O. C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. *In*: FERREIRA, M. E. *et al.* (ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/Fapesp/Potafós, 2001. p. 151–185.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25**. Brasília, Df, 2009.

BUENO, J. R. P.; BERTON, R. S.; SILVEIRA, A. P. D.; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A.; De 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, 2011.

BÜLL, L.T.; VILLAS BÔAS, R.L.; NAKAGAWA, J. Variações no balanço catiônico do solo induzidas pela adubação potássica e efeitos na cultura do alho vernalizado. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 3, p.456-464, 1998.

CAIRES, E. F., FONSECA, A. F. D. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Atributos físico-hídricos de um Latossolo após a aplicação de lodo de esgoto em área degradada do Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 796–803, 2011.

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**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 45–47.

CARDOSO, W. S.; PINHEIRO, F. A.; MACHADO, F. P.; BORGES, J. T. S.; RIOS, S. A. Indústria do Milho. In: BORÉM, A.; RIOS, S. A. **Milho biofortificado**. Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 211p.

CARVALHO, M. A. C. D.; ATHAYDE, M. L. F.; SORATTO, R. P.; ALVES, M. C.; ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 11, p. 1141-1148, 2004.

CARVALHO, E. R.; REZENDE, P. M.; ANDRADE, M. J. B.; PASSOS, A. M. A.; OLIVEIRA, J. A Fertilizante mineral e resíduo orgânico sobre características agrônômicas da soja e nutrientes no solo. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 930–939, 2011.

CATOLICO, A. C. C.; CARVALHO, L. C. G.; JARQUE, N. A. Aproveitamento de resíduos do saneamento básico na fabricação de cerâmica vermelha. **XI Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 9, p. 79-96, 2015. Disponível em: http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1173/1196. Acesso em: 11 abr. 2016.

CHENG, H.; XU, W.; LIU, J.; ZHAO, Q.; HE, Y.; CHEN, G. Application of composted sewage sludge (CSS) as a soil amendment for turfgrass growth. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 29, n.1, p. 96–104, 2007.

CHRISTENSEN, T. H.; KJELDTSEN, P.; ALBRECHTSEN, H. J.; HERON, G.; NIELSEN, P. H.; BJERG, P. L.; HOLM, P. E. Attenuation of landfill leachate pollutants in aquifers. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, Boca Raton, v. 24, n. 2, p. 119–202, 1994.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. D. **Seja o doutor do seu milho**. Piracicaba: Potafos, 1995.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Nutrição e adubação do milho**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/milho/deficiencia/deficiencia.html>. Acesso em: 15 jan. 2017.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB.

Crítérios para aplicação de biossólidos em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação. Norma P 4.230. São Paulo: CETESB, 1999. 32 p. (Manual Técnico).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Séries históricas:** Brasil – por unidades de Federação. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <http://conab.gov.br/>. Acesso em: 06 jun. 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2019. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Nono levantamento, junho 2019.** Brasília, DF, 2019. Disponível em: <http://conab.gov.br/>. Acesso em: 10 jun. 2019.

COSCIONE, A. R.; SILVA, L. F. M.; DE MARIA, I. C.; DE ANDRADE, C. A.; FERRACINI, V. L. Solução do solo e análise de componentes principais para monitoramento da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 5, p. 1654–1662, 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006.** Brasília, DF, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2017.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 2, p. 161–168, 2005.

CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; PIMENTEL, R. M. M.; ACCIOLY, A. M. A.; SILVA, A. J. Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 1319–1328, 2008.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. *In*: FERNANDES, M. S. (ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327–354,

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R.; CARMELLO, Q. A. C.; SANTOS, L. A.; SPERANDIO, M. V. L. Micronutrientes. *In*: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. Cap.14. p. 491–562.

DEMATTÊ, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do “Campus Experimental de Ilha Solteira”**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1980. p. 11–31.

DOMINGOS, C. D. S.; LIMA, L. H. D. S.; BRACCINI, A. L. Nutrição mineral e ferramentas para o manejo da adubação na cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 3, p. 132–140, 2015.

DORNELES, E. P. **Atributos químicos de argissolo e exportação de nutrientes por culturas sob sistema de preparo e de adubação**. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

DOURADO NETO, D.; MARTIN, T. N.; PAVINATO, P. S.; NUNES, U. R.; ESCOBAR, O. S.; FIPKE, G. M. El tratamiento de semillas de maíz con micronutrientes aumenta el rendimiento de grano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 86–92, 2015.

ERNANI, E. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 551–594.

DUARTE, A. P.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Milho safrinha. *In*: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1997. p. 60–61.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997. 212 p.

FANCELLI, A. L. Milho. *In*: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**: culturas. Piracicaba: IPNI – Brasil, 2010. v. 3, p. 39–93.

FERRAZ, A. V.; MOMENTEL, L. T.; POGGIANI, F. Soil fertility, growth and mineral nutrition in *Eucalyptus grandis* plantation fertilized with different kinds of sewage sludge. **New forests**, Heidelberg, v. 47, n. 6, p. 861–876, 2016.

FIA, R.; MATOS, A. T. D.; AGUIRRE, C. I. Características químicas de solo adubado com doses crescentes de lodo de esgoto caledo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n. 4, p. 287–299, 2005.

FLORENTINO, A. L.; DE VICENTE FERRAZ, A.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; ASENSIO, V.; MURAOKA, T.; DOS SANTOS DIAS, C. T.; ABREU-JÚNIOR, 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.

GALDO, M. V.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção do milho em um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 569–577, 2004.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. *In*: SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 185–226.

GARCIA, G. O.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C.; NAZÁRIO, A. A., BRAGANÇA, H. N. Características químicas de um solo degradado após aplicação de lodo de esgoto doméstico. **Revista Verde**, Mossoró, v. 4, n. 2, p. 1–12, 2009.

GONÇALVES, A. A. D; MOREIRA, C. R.; SOUZA, G. B. D. P. S; PERES, D. M.; CANZI, G. M. Adubação com lodo de esgoto na cultura do milho. **Revista Técnico-Científica**, Curitiba, v. 17, p. 1-13, 2019.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 459–465, 2007.

GUTIÉRREZ, A. M.; PADILHA, F. A.; SILVA, C. de RESENDE, A. V.; MOREIRA, S.; SIMÃO, E. D. P. Teor nos grãos e exportação de micronutrientes pelo milho em dois níveis de investimento tecnológico. In Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais [...]** Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. (2015).

GUTIÉRREZ-GINÉS, M. J.; ROBINSON, B. H.; ESPERSHUETZ, J.; MADEJÓN, E.; HORSWELL, J.; McLENAGHEN, R. Potential use of biosolids to reforest degraded areas with New Zealand native vegetation. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 46, n. 4, p. 906–914, 2017.

HAMDI, H.; HECHMI, S.; KHELIL, M. N.; ZOGHLAMI, I. R.; BENZARTI, S.; MONKNI-TLILI, 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.

HARGREAVES, J. C., ADL, M.S., WARMAN, P.R. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. **Agriculture, Ecosystem & Environment**, Amsterdam, v. 123, n. 1-3, p.1–14, 2008.

HE, M. M. TIAN, G. M. LIANG, X. Q. Phytotoxicity and speciation of copper, zinc and lead during the aerobic composting of sewage sludge, **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 163, n. 2-3, p. 671–677, 2009.

IVANOVÁ, L.; MACKUL'AK, T.; GRABIC, R.; GOLOVKO, O.; KOPA, O.; STAŇOVÁB, A. V.; SZABOVÁ, P.; GRENČÍKOVÁ, A.; BODÍK, I. Pharmaceuticals and illicit drugs – A new threat to the application of sewage sludge in agriculture. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 634, p. 606–615, 2018.

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, n. 11, p. 1355–1369, 2018.

JANOWSKA, B., SZYMANSKI K., SIDELKO R., SIEBIELSKA I.; WALENDZIK B. Assessment of mobility and bioavailability of mercury compounds in sewage sludge and composts. **Environmental Research**, San Diego, v. 156, p. 394–403, 2017.

JUNIO, G. R.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; SANTOS, G. B.; SANTOS, L. D.; 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, n. 7, p. 706–712, 2013.

KABATA-PENDIAS, A., MUKHERJEE, A.B. **Trace elements from soil to human**. Berlin: Springer-Verlag, 2007. 550 p.

KACPRZAKA, M.; NECZAJA, E.; FIJAŁKOWSKIA, K.; GROBELAKA, A.; GROSSERA, A.; WORWAGA, M.; RORATA, A.; BRATTEBOB, H.; ALMÂSC, Â.; SINGHC, B. R. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. **Environmental research**, San Diego, v. 156, p. 39–46, 2017.

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 and Biotechnology**, Oxford, v. 27, p. 2359–2369, 2011.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; PAZ GONZALEZ, A. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 405–416, 2008.

KOMINKO, H.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z.; WOJTAS, K. Sustainable management of sewage sludge for the production of organo-mineral fertilizers. **Waste and Biomass Valorization**, London, v. 9, p. 1817–1826, 2018.

KURIHARA, C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. 2004. 101 f. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

LACERDA, J. J. D. J.; RESENDE, Á. V. D.; FURTINI NETO, A. E.; HICKMANN, C.; CONCEIÇÃO, O. P. D. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Viçosa, MG, v. 50, n. 9, p. 769–778, 2015.

LAMASTRA, L.; SUCIU, N. A.; TREVISAN, M. Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, London, v. 5, n. 1, p. 1–10, 2018.

LEITE, F. **Lodo de esgoto será usado para produzir energia**. São Paulo: Estadão, 2016. Disponível em: <http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,lodo-e-esgoto-serao-usados-para-produzir-energia,10000065602>. Acesso em: 12 jan. 2019.

LIMA, J. A.; DEFELIPO, B.V.; NOVAIS, R.F.; THIÉBAUT, J. T. L. Efeito das relações Ca/Mg e (Ca+Mg)/K na correção da acidez de dois latossolos e na produção de matéria seca do tomateiro (*Lycopersicum esculentum*, Mill) cv. 'Kada'. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 28, n. 156, p. 103-115, 1981.

LIMA, E.; VITTI, G. C.; SANTOS, L. A., CICARONE F. Cálcio e Magnésio. *In*: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. D.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. cap. 13, p. 485.

LINDSAY, W. L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soil. *In*: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p. 41–57.

LOBO, T. F. **Manejo de lodo de esgoto em rotações de culturas no sistema de plantio direto**. 2010. 198 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BULL, L. T.; MOREIRA, L. L. Q. Manejo do lodo de esgoto e nitrogênio mineral na fertilidade do solo ao longo do tempo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2705–2725, 2013.

LOMBARDI, M. C. C.; NÓBREGA, J. A.; NOGUEIRA, A. R. A. Extração de micronutrientes em solo com solução de DTPA em forno de microondas com radiação focalizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 789-794, 2002.

LOPES, A. S. **Solos sob “Cerrado”**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 162 p.

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

MACEDO, F. G. D.; MELO, W. J. D.; MERLINO, L. C. S.; TORRES, L. S.; GUEDES, A. C. T. P.; MELO, G. M. P. D.; CAMACHO, M. A. Lodo de esgoto como fonte de nitrogênio: concentração no perfil do solo e em plantas de milho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 263–268, 2012.

MAGGIO, M. A. **Acúmulo de massa seca e extração de nutrientes por plantas de milho doce híbrido tropical**. 2006. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico, Campinas, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, A. O.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 563–574, 2003.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; Soja. *In*: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997a. p. 202–203.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; CARMELLO, Q. A. D. C.; GALLO, P. B.; AMBROSANO, G. M. B. Calcário e potássio para a cultura de soja. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 445-449, 2000.

MATEUS, G. P.; ARAÚJO, H. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; BORGES, W. L. B. Decomposição e teor de macronutrientes da palhada em função do manejo do solo e rotação de culturas em áreas de reforma de canavial. **Nucleus**, Araçatuba, Edição especial, p. 93–102, 2017.

MATOS, A. **Potencialidades e limitações do uso de Lodo de Esgoto em solo- aspectos agrônômicos, controle de atratividade de vetores e de impactos ambientais**. Belo Horizonte: Visual, 2018. Disponível em: <http://etessustentaveis.org/wpcontent/uploads/2018/05/Palestra-Matos-Workshop-Lodo-2.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2018.

MELO, W.; DELARICA, D.; GUEDES, A.; LAVEZZO, L.; DONHA, R.; DE ARAÚJO, A., MELO, G. D.; MACEDO, F. Ten years of application of sewage sludge on tropical soil. A balance sheet on agricultural crops and environmental quality. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 643, p. 1493–1501, 2018.

MENDOZA-CÓZATL, D. G.; JOBE, T. O.; HAUSER, F.; SCHROEDER, J. I. Long-distance transport, vacuolar sequestration, tolerance, and transcriptional responses induced by cadmium and arsenic. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 14, n. 5, p. 554–562, 2011.

MERLINO, L. C. S.; MELO, W. J.; MACEDO, F. G.; GUEDES, A. C. T. P.; RIBEIRO, M. H.; MELO, V. P.; MELO, G. M. P. Bário, cádmio, cromo e chumbo em plantas de milho e em Latossolo após onze aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 2031–2039, 2010.

MILANESI, J. **Adubação da cultura da soja baseada nos teores mínimos de fósforo e potássio no solo**. 2015. 73 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA – MAPA. Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo. **Instrução normativa Nº 7**, de 12 de abril de 2016.

MODESTO, V. C. **Diagnose da composição nutricional e eficiência de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho**. 2014. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2014.

MODESTO, P. T.; SCABORA, M. H.; COLODRO, G.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Alterações em algumas propriedades de um Latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 1489–1498, 2009.

MORAES, M. F.; ABREU-JUNIOR, C. H.; LAVRES-JUNIOR, J. L. Micronutrientes. *In*: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**: nutrientes. Piracicaba: IPNI, 2010. V. 2, p. 205–278.

MORAIS, M. F.; SILVA, J. C. D.; GOMES, M. B.; PRADO, M. B. V.; ALMEIDA, J. O. M. D.; FELETTI, R. C. G. Nutrição e adubação da soja na região do Cerrado. *In*: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. D.; MARCHÃO, R. L.; MORAES, M. F. **Nutrição e adubação**: de grandes culturas na Região do Cerrado. Goiânia: UFG, 2019. Cap. 10, p. 369–417.

MOREIRA, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A. Produção, teor de boro e avaliação de extratores em solos cultivados com soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 367–373, 2010.

MOREIRA, R. **Para onde vai o pensamento geográfico?**: por uma epistemologia crítica. São Paulo: Contexto, 2010.

MOREIRA, R. S.; MINCATO, R. L.; SANTOS, B. R. Heavy metals availability and soil fertility after land application of sewage sludge on dystroferric red latosol. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 6, p. 512–520, 2013.

MOSQUERA-LOSADA, R.; AMADOR-GARCÍA, A.; MUÑOZ-FERREIRO, N.; SANTIAGO-FREIJANES, J.J.; FERREIRO-DOMÍNGUEZ, N.; ROMERO-FRANCO, R., RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A. Sustainable use of sewage sludge in acid soils within a circular economy perspective. **Catena**, Amsterdam, v. 149, p. 341–348, 2017.

MEUER, J. E.; TIECHER, T.; MATTIELLO, L. Potássio. *In*: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. Cap. 12, p. 429–464.

NASCIMENTO, C. W. A. **Dessorção, extração e fracionamento de zinco, cobre e manganês em solo**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. Disponível em:
<https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/11018/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 dez. 2019.

NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, R. L. F.; NEVES, J. C. L.; MELÍCIO, A. C. F. D., Fracionamento, dessorção e extração química de zinco em Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 599–606, 2002.

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 do 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**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 146–153, 2014.

NASCIMENTO; A. L.; SOUZA, A. J.; ANDRADE, P. A. M.; ANDREOTE, F. D.; COSCIONE, A. R.; OLIVEIRA, F. C.; REGITANO, J. B. Sewage sludge microbial structures and relations to their sources, treatments, and chemical attributes. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 9, p. 1–11, 2018.

NGUYEN, T.; SHIMA, K. Composting of sewage sludge with a simple aeration method and its utilization as a soil fertilizer. **Environmental Management**, New York, v. 63, p. 455–465, 2019.

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, n. 3, p. 331–338, 2007.

NOGUEIRA, T. A. R.; OLIVEIRA, L. R.; MELO, W. J.; FONSECA, I. M.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P.; MARQUES, M. O. Cádmio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em Latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2195–2207, 2008.

NOGUEIRA, T.A.R.; MELO, W. J.; FONSECA, I. M.; MARQUES, M. O.; HE, Z. Barium uptake by maize plants as affected by sewage sludge in a long-term field study. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 181, n. 1-3, p. 1148–1157, 2010.

NOGUEIRA, T.A.R.; FRANCO, A.; HE, Z.; BRAGA, V. S.; FIRME, L. P.; ABREU-JUNIOR, C. H. Short-term usage of sewage sludge as organic fertilizer to sugarcane in a tropical soil bears little threat of heavy metal contamination. **Journal of Environmental Management**, London, v. 114, p. 168–177, 2013.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

OLIVEIRA, F. A. D.; CARMELLO, Q. A. D. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 329–335, 2001.

OCIEPA, E.; MROWIEC, M.; LACH, J. Influence of fertilisation with sewage sludge-derived preparation on selected soil properties and prairie cordgrass yield. **Environmental Research**, San Diego, v. 156, p. 775–78, 2017.

OLIVEIRA JUNIOR, A. D.; CASTRO, C. D.; OLIVEIRA, F. A.; FOLONI, J. S. S. Marcha de absorção e acúmulo de zinco, manganês, ferro, cobre e boro em soja com tipo de

crescimento indeterminado. *In*: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 34., 2014, Londrina. **Resumos expandidos** [...] Londrina: Embrapa Soja, 2014.

ORTIZ, F. R.; BRITO, O. R.; BORKER, C. M. Extratores para a quantificação de zinco, cobre e manganês em solo arenoso. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 95–98, 2007.

PANGARIBUAN, D. H., HENDARTO, K. The effect of organic fertilizer and urea fertilizer on growth, yield and quality of sweet corn and soil health. **Asian Journal of Agriculture and Biology**, Islamabad, v. 6, n. 3, p. 335–344, 2018.

PARADELO, R.; VILLADA, A.; BARRAL, M. T. Reduction of the short-term availability of copper, lead and zinc in a contaminated soil amended with MSW compost. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 188, p. 96–104, 2011.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; BERGAMASCHINE, A. F.; BUZETTI, S.; COSTA, N. R.; CAVALLINI, M. C. Produção, composição bromatológica e índice de clorofila de braquiárias após o consórcio com milho. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 60, n. 232, p. 1041–1052, 2011.

PAULETTI, V.; LIMA, M. R. D.; BARCIK, C.; BITTENCOURT, A. Rendimento de grãos de milho e soja em uma sucessão cultural de oito anos sob diferentes sistemas de manejo de solo e de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n.3, p.491–495, 2003

PEDROSA, M. V. B.; LIMA, W. L.; AMARAL, A. A.; CARVALHO, A. H. O. Biossólido de lodo de esgoto na agricultura: desafios e perspectivas. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 9, n. 4, p. 125–142, 2018.

PIGOZZO, A. T. J.; LENZI, E.; JÚNIOR, L.; SCAPIM, C. A., Vidigal Filho, P. S., & Costa, A. C. S. D. Reação do solo e disponibilidade de micronutrientes, em solo de textura média, tratado com lodo de esgoto e cultivado com milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 569–579, 2008.

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**, Oxford, v. 127, p. 212–219, 2019.

PINTO, C. C.; OLIVEIRA, C. O.; AMÉRICO, G. H.; VAZQUEZ, G. H.; LAZARINI E. Efeito da dose e da época de aplicação do glifosato na produção e na qualidade da soja RR. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 39, n. 2, p. 310–317, 2016.

PORTUGAL, J. R. **Coberturas vegetais e doses de nitrogênio, associadas à inoculação com *Azospirillum brasilense*, no cultivo do milho na região de Cerrado**. 2015. 106 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Ed. UNESP, 2008. 417 p.

PROTANO, G.; BARONI, F.; DI LELLA, L. A.; MAZZONI, A.; NANNONI, F.; PAPALE, A. How do properties and heavy metal levels change in soils fertilized with regulated doses of urban sewage sludge in the framework of a real agronomic treatment program? **Journal of Soils and Sediments**, Amsterdam, v. 20, p. 1–12, 2019.

QUAREZEMIN, M.; TRIGOLO, A.; SILVA, R.; CASTRO, C. D.; de OLIVEIRA, F. A.; FOLONI, J.; OLIVEIRA JUNIOR, A. D. Marcha de acúmulo de micronutrientes por cultivares de soja com tecnologia RR® E INTACTA®. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 7., 2015, Florianópolis. **Anais** [...] Londrina: Embrapa Soja, 2015.

RAGAGNIN, V. A.; JÚNIOR, S.; DIAS, D. S.; BRAGA, W. F.; NOGUEIRA, P. D. M. Growth and nodulation of soybean plants fertilized with poultry litter. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 1, p. 17–24, 2013.

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 Agrônômico de Campinas, 1997. 285 p.

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

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

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**, Amsterdam, v. 17, p. 106–121, 2017.

RIAZ, U.; MURTAZA, G.; FAROOQ, M. Influence of different sewage sludges and composts on growth, yield, and trace elements accumulation in rice and wheat. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 29, p. 1343–1352, 2018.

RICCI, A. B.; PADOVANI, V. C. R.; JÚNIOR, P. 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.

RISSO, W. E.; KUROKAWA, S. S. S.; ANDRADE, D. S., HIROOKA, E. Y. Organic production in corn: impact of fertilization with landfill leachate in chemical composition, productivity and concentration of metals in grain. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 5, p. 3101–3112, 2015.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G.O. Como a planta de milho se desenvolve. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 103, Arquivo Agrônômico 18, set. 2003.

RESENDE, A. V. **Adubação com micronutrientes no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 43 p. (Documentos/ Embrapa Cerrados, 80).

- RESENDE, A. V. D.; NETO, M. M. G.; BORGUI, E.; SIMÃO, E. D. P.; MARTINS, D. C.; SANTOS, F. C. D.; COELHO, A. M. Nutrição e adubação do milho na região do Cerrado. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. D.; MARCHÃO, R. L.; MORAES, M. F. **Nutrição e adubação**: de grandes culturas na Região do Cerrado. Goiânia: Ed. UFG, 2019. Cap. 112, p. 463–502.
- ROCHA, R. N. C.; GALVÃO, J. C. C.; TEIXEIRA, P.C.; MIRANDA, G. V.; AGNES, E. L.; PEREIRA, P. R. G.; LEITE, U. T. Relação do índice SPAD, determinado pelo clorofilômetro, com teor de nitrogênio na folha e rendimento de grãos em três genótipos de milho. **Revista Brasileira Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 2, p. 161–171, 2005.
- RODRIGUES, M.; PAVINATO, P. S.; WITHERS, P. J. A.; TELES, A. P. B.; HERRERA, W. F. B. Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 542, p. 1050–1061, 2016.
- ROMEIRO, J. C. T.; GRASSI FILHO, H.; MOREIRA, L. L. Q. Absorção de N, P, K, Ca e Mg por laranjeiras ‘pêra’ fertilizadas com lodo de esgoto compostado em substituição à adubação nitrogenada mineral. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 1, p. 82–93, 2014.
- ROMEIRO, M; COSTA, K; FILHO, A.C; OLIVEIRA, M; ALVES Í. **Cerrado**: caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável. [S. l.]: INPUT, 2018. Disponível em: [https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2018/06/cerrado-caminhos-para-ocupacao-territorial-sustentavel-expan são-da-soja-final.pdf](https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2018/06/cerrado-caminhos-para-ocupacao-territorial-sustentavel-expan-são-da-soja-final.pdf). Acesso em: 12 jan. 2020.
- RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2010.
- ROSA, P. A. L. **Acúmulo de matéria seca, extração e exportação de nutrientes por híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense***. 2017. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Sistemas de Produção.) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/150131/rosa_pal_me_ilha.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 12 fev. 2020.
- ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1523–1534, 2013.
- 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.
- SANTOS, F. C. D.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. D.; VILELA, L.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. D. C. S.; VIANA, J. H. M. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no

cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n.6, p.1855–1861, 2014.

SANTOS, E. R. F. **Distribuição dos teores de boro em dois solos de diferentes texturas em função da aplicação localizada de ácido bórico**. Cuiabá: UFMT, 2017.

Disponível em:

<https://www1.ufmt.br/ufmt/unidade/userfiles/publicacoes/f8e472a3640244af83ebd08a15e718a2.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2019.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, 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, DF: Embrapa, 2018.

SAS INSTITUTE Inc. **SAS/START User's Guide, Version 9.2**. SAS Institute Inc., Cary, NC: SAS Institute, 2008.

SERAGUZI, E. F.; LIMA, A. R.; ANSELMO, J. L.; ALVAREZ, R. C. F. Desempenho de híbridos de milho na região de Chapadão do Sul, MS. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 10, n. 4, p. 12-14, 2016.

SIEBIELEC, G.; SIEBIELEC, S.; LIPSKI, D. Long-term impact of sewage sludge, digestate and mineral fertilizers on plant yield and soil biological activity. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 187, p. 372–379, 2018.

SILVA, F.C. (org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: EMBRAPA Solos, 1999. 370 p.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o bio-sólido produzido no distrito federal. I - Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 487-495, 2002.

SILVA, M. A. G.; MUNIZ, A. S.; NODA, A. Y.; MARCHETTI, M. E.; MATA, J. D. V.; LOURENTE, E. R. P. Metodologias e eficiência de extratores para zinco, cobre, ferro e manganês. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 537–545, 2009.

SILVA, A. D.; PEREIRA, T.; COELHO, C. M. M.; ALMEIDA, J. A. D.; SCHMITT, C. Teor de fitato e proteína em grãos de feijão em função da aplicação de pó de basalto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 147-152, 2011.

SILVA, C. G. M.; PADILHA, F. A.; GUTIÉRREZ, A.; de RESENDE, A. V.; MOREIRA, S.; SIMÃO, E. D. P. Exportação de macronutrientes por híbridos de milho cultivados em ambientes com diferentes níveis de investimento tecnológico. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35, 2015, Natal. **Anais [...]** Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

SILVA, C. G. M. **Absorção e exportação de macronutrientes em milho transgênico sob dois níveis de investimento em adubação**. 2016. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São João Del Rei, Sete Lagoas, 2016.

SILVA, C. G. M.; RESENDE, Á. V. D.; GUTIÉRREZ, A. M.; MOREIRA, S. G.; BORGHI, E.; ALMEIDA, G. O. Macronutrient uptake and export in transgenic corn under two levels of fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 53, n. 12, p. 1363–1372, 2018.

SILVA, P. R. T.; LAZARINI, E.; VILELA, M.; VIDEIRA, L. M. L.; SOUZA, L. G. M.; FREITAS, L. A. **Comportamento de cultivares de soja em Selvíria – MS: características agronômicas e produtividades de grãos**. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: <https://maissoja.com.br/comportamento-de-cultivares-de-soja-em-selviria-ms-caracteristicas-agronomicas-e-produtividades-de-graos/>. Acesso em: 08 jul. 2019.

SILVEIRA, R. L. V. D. A.; CASARIN, V.; PAULA, T. D. A.; SILVEIRA, R. I. **Nutrição e adubação com Boro em Eucalyptus**. Piracicaba: Agroflorestal, 2007. (Boletim Técnico).

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F.A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 10, p. 1187–195, 2003.

SOBRAL, L. F.; SMYTH, J. T.; FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Comparison of copper, manganese, and zinc extraction with Mehlich 1, Mehlich 3, and DTPA solutions for soils of the Brazilian Coastal Tablelands. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 44, n. 17, p. 2507–2513, 2013.

SOIL SURVEY STAFF. **Key to soil taxonomy**. 11. ed. Washington, DC: Natural Resources Conservation Service, 2010.

SOUTO, L. S. **Resposta da cultura da mamona à fertilização com lodo de esgoto**. 2007. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Nutrição mineral. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 96–101.

TAIZ L.; ZEIGER E.; MOLLER I. M.; MURPHY A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J. D.; SILVA, C. A.; ANDRADE, M. J. B. D.; PEREIRA, J. M. Liberação de macronutrientes das palhadas de milho solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 497-506, 2010.

TEIXEIRA, W. W. R. **Absorção, particionamento e remoção de nutrientes pel soja em áreas de alta produtividade no Brasil**. 2017. 86 f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

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

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Method 3051A**: microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, and soils. [S. l.: s. n.], 2007. 30 p. Disponível em: <http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2017.

UNITED NATIONS. **A revisão 2019 das projeções populacionais da ONU para o século XXI**. [S. l.]: Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais População, 2019. Disponível em: <https://www.un.org/en/>. Acesso em: 7 jan. 2020.

VALLADARES, G. S.; SANTOS, G. C. B.; ABREU, C. A.; CAMARGO, O. A.; FERRERO, J. P. Zinco total e disponível em amostras de perfis de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 1105–1114, 2009.

VENEGAS, V. H. A.; ROSCOE, R. KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 551–594.

VIEIRA, R. F.; TANAKA, R. T.; TSAI, S. M.; PÉREZ, D. V.; SILVA, C. M. M. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 9, p. 919–926, 2005.

VIEYRA, F. E. M.; PALAZZI, V. I.; PINTO, M. I. S. D.; BORSARELLI, C. D. Combined UV–Vis absorbance and fluorescence properties of extracted humic substances-like for characterization of composting evolution of domestic solid wastes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 151, n. 3-4, p. 61–67, 2009.

VILAR, C. C.; COSTA, A. C. S. D.; HOEPERS, A.; SOUZA JUNIOR, I. G. D. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1059-1068, 2010.

VITTI, G. C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 90, p. 1-16, 2000.

VITTI G. C.; OTTO R.; SAVIETO J.; LIMA E.; SANTOS L. A. Enxofre. *In*: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. Cap. 10, p. 377–400

VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. D. A. R.; REIS, M. C. D. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009.

WRB (WORLD REFERENCE BASE FOR SOIL RESOURCES). **A framework for international classification, correlation and communication**. Rome: FAO, 2006. (World Soil Resources Reports, 103).

YAN, F.; SCHUBERT, S.; MENGEL, K. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, n. 4–5, p. 617–624, 1996.

YU, Z.; LIU, X.; ZHAO, M.; ZHAO, W.; LIU, J.; TANG, J.; LIAO, H.; CHEN, Z.; ZHOU, S. Hyperthermophilic composting accelerates the humification process of sewage sludge: Molecular characterization of dissolved organic matter using EEM–PARAFAC and two-dimensional correlation spectroscopy. **Bioresource Technology**, New York, v. 274, p. 198–206, 2019.

ZUBA JUNIO, G. R.; SAMPAIO, R. A.; 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 Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, p. 706–712, 2013.

APÊNDICES

Apêndice A - Coeficiente de determinação (R^2) e equações de regressão que melhor se ajustaram em relação aos atributos químicos nas diferentes profundidades do solo após o cultivo das culturas de soja e de milho em função das doses de CLE aplicadas.

V	Profundidade (0-20 cm)				Profundidade (20-40 cm)			
	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2
<i>Soja</i>								
MO	$Y = 18,2$	NS	$Y = -0,022x^2 + 0,852x + 11,238$	0,61*	$Y = 16,1$	NS	$Y = -0,105x + 17,900$	0,51**
pH	$Y = -0,002x^2 + 0,082x + 4,794$	0,94*	$Y = 0,026x + 4,932$	0,99**	$Y = 5,1$	NS	$Y = 5,1$	NS
H+AI	$Y = 0,24x + 20,550$	0,98**	$Y = -0,325x + 30,250$	0,80**	$Y = 25,0$	NS	$Y = -0,118x^2 + 3,668x + 2,915$	0,99**
AI	$Y = 0,0$	NS	$Y = 0,1$	NS	$Y = 0,9$	NS	$Y = 0,8$	NS
SB	$Y = -0,052x^2 + 2,537x + 20,255$	0,96*	$Y = 44,0$	NS	$Y = 29,9$	NS	$Y = 31,4$	--
V	$Y = 62,3^{NS}$	NS	$Y = 0,545x + 54,7$	0,67**	$Y = 54,0$	NS	$Y = 0,132x^2 - 4,172x + 81,988$	0,98**
CTC	$Y = 0,330x + 60,102$	0,52**	$Y = 68,6$	NS	$Y = 54,9$	NS	$Y = -0,087x^2 + 2,606x + 42,432$	0,99**
<i>Milho</i>								
MO	$Y = 18,2$	NS	$Y = 18,2$	NS	$Y = 13,6$	NS	$Y = 13,9$	NS
pH	$Y = 5,4$	NS	$Y = 5,6$	NS	$Y = 0,004x^2 - 0,128x + 5,915$	0,97*	$Y = 5,1$	NS
H+AI	$Y = 22,6$	NS	$Y = 20,8$	NS	$Y = 24,8$	NS	$Y = 23,4$	NS
AI	$Y = 0,1$	NS	$Y = 0,1$	NS	$Y = 1,1$	NS	$Y = -0,081x + 2,534$	0,74*
SB	$Y = 0,514x + 23,278$	0,87**	$Y = -0,165x^2 + 6,070x - 15,972$	0,83**	$Y = 17,6$	NS	$Y = 18,5$	NS
V	$Y = 59,1$	NS	$Y = 61,9$	NS	$Y = 0,078x^2 - 2,378x + 56,888$	0,99*	$Y = 43,6$	NS
CTC	$Y = 0,598x + 44,288$	0,88**	$Y = -0,179x^2 + 6,729x - 2,120$	1,0**	$Y = 42,4$	NS	$Y = 41,9$	NS

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. V = Variável. AT = Área total. EL = Entrelinhas. MO = Matéria orgânica do solo. SB = Soma de base. V = Saturação por bases. CTC = Capacidade de troca catiônica. MO = g dm⁻³. H+AI, AI, SB e CTC = mmol_c dm⁻³. V = %. Fonte: Próprio autor.

Apêndice B - Coeficiente de determinação (R^2) e equações de regressão que melhor se ajustaram em relação aos teores macronutrientes ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) nas diferentes profundidades do solo após o cultivo das culturas de soja e de milho em função das doses de CLE aplicadas

V	Profundidade (0-20 cm)			Profundidade (20-40 cm)				
	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2
<i>Soja</i>								
P	$Y = 1,155x + 4,475$	0,96**	$Y = 1,550x + 4,000$	0,92**	$Y = 0,455x + 8,725$	0,50**	$Y = - 0,125x^2 + 4,715x - 23,825$	0,76**
K	$Y = 0,019x + 0,608$	0,89*	$Y = 1,0$	NS	$Y = 0,9$	NS	$Y = - 0,026x + 1,380$	0,89**
Ca	$Y = - 0,048x^2 + 1,638x + 12,562$	0,89*	$Y = 25,2$	NS	$Y = 16,8$	NS	$Y = 18,4$	NS
Mg	$Y = 0,105x + 13,225$	0,52*	$Y = 0,145x + 12,775$	0,94**	$Y = 12,3$	NS	$Y = 12,2$	NS
S	$Y = 6,8$	NS	$Y = 0,035x^2 - 1,235x + 17,550$	0,63**	$Y = - 0,062x^2 + 2,202x - 3,888$	0,55**	$Y = 0,590x + 4,800$	0,85**
<i>Milho</i>								
P	$Y = 0,830x + 9,225$	0,97**	$Y = - 0,158x^2 + 5,898x - 28,238$	0,99**	$Y = 0,130x + 4,350$	0,82**	$Y = - 0,022x^2 + 0,962x - 2,438$	0,72*
K	$Y = 0,253x^2 - 0,090x + 1,274$	0,64*	$Y = 0,5$	NS	$Y = 0,004x^2 - 0,146x + 1,656$	0,87**	$Y = 0,5$	NS
Ca	$Y = 0,450x + 12,125$	0,95**	$Y = - 0,158x^2 + 5,718x - 24,962$	0,94**	$Y = 9,6$	NS	$Y = 10,0$	NS
Mg	$Y = 0,045x^2 - 1,545x + 23,600$	0,96**	$Y = 11,8$	NS	$Y = 0,020x^2 - 0,640x + 11,950$	0,64*	$Y = 8,1$	NS
S	$Y = 5,0$	NS	$Y = 0,380x + 0,225$	0,90**	$Y = 14,7$	NS	$Y = 0,89x + 0,675$	0,70**

Nota: **, * e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. V = Variável. AT = Área total. EL = Entrelinhas. P (P- resina) e S (S-SO₄) = mg dm⁻³. K, Ca e Mg = mmol_cdm⁻³. Fonte: Próprio autor.

Anpêndice C - Coeficiente de determinação (R^2) e equações de regressão que melhor se ajustaram em relação aos teores B (água quente), Cu, Fe, Mn e Zn (DTPA) (mg dm^{-3}) nas diferentes profundidades do solo após o cultivo das culturas de soja e de milho em função das doses de CLE aplicadas.

V	Profundidade (0-20 cm)				Profundidade (20-40 cm)			
	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2
<i>Soja</i>								
B	$Y = 0,007x + 0,155$	0,70**	$Y = 0,011x + 0,156$	0,95*	$Y = 0,005x + 0,175$	0,63**	$Y = 0,007x + 0,139$	0,94**
Cu	$Y = 0,013x + 1,335$	0,57*	$Y = 0,011x + 1,442$	0,86*	$Y = 1,4$	NS	$Y = 1,4$	NS
Fe	$Y = 0,210x + 14,325$	0,54**	$Y = -0,082x^2 + 2,852x - 3,265$	0,61**	$Y = -0,265x + 19,575$	0,96**	$Y = -0,140x + 17,950$	0,78*
Mn	$Y = -0,064x^2 + 1,590x + 4,524$	0,99**	$Y = 16,7$	NS	$Y = -0,049x^2 + 1,180x + 11,300$	0,85**	$Y = 11,5$	NS
Zn	$Y = -0,019x^2 + 0,661x - 3,670$	0,80**	$Y = -0,007x^2 + 0,282x - 0,688$	0,56*	$Y = -0,012x^2 + 0,448x - 2,776$	0,99**	$Y = 1,1$	NS
<i>Milho</i>								
B	$Y = 0,015x + 0,078$	0,79**	$Y = -0,001x^2 + 0,038x + 0,0001$	0,99**	$Y = 0,002x + 0,196$	0,86**	$Y = 0,24$	NS
Cu	$Y = 1,5$	NS	$Y = 1,4$	NS	$Y = 1,4$	NS	$Y = 1,4$	NS
Fe	$Y = 17,0$	NS	$Y = 13,6$	NS	$Y = -0,028x^2 + 0,898x + 7,888$	0,86**	$Y = 14,2$	NS
Mn	$Y = -0,206x + 15,580$	0,96**	$Y = 11,9$	NS	$Y = 11,0$	NS	$Y = 11,9$	NS
Zn	$Y = 0,113x + 0,060$	0,90**	$Y = 1,5$	NS	$Y = 0,018x - 0,050$	0,98**	$Y = 0,015x - 0,038$	0,83**

Nota: **, * e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. V = Variável. AT = Área total. EL = Entrelinhas. Fonte: Próprio autor.

Apêndice D - Coeficiente de determinação (R^2) e equações de regressão que melhor se ajustaram em relação aos teores Cu, Fe, Mn e Zn (mg dm^{-3}) pelo extrator Mehlich 1 nas diferentes profundidades do solo após o cultivo das culturas de soja e de milho em função das doses de CLE aplicadas.

V	Profundidade (0-20 cm)				Profundidade (20-40 cm)			
	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2
	<i>Soja</i>							
Cu	$Y = 0,025x + 1,898$	0,78**	$Y = 2,3$	NS	$Y = 0,005x^2 - 0,158x + 3,326$	0,85**	$Y = 2,0$	NS
Fe	$Y = 87,8$	NS	$Y = 89,6$	NS	$Y = 90,6$	NS	$Y = 2,782x + 41,740$	0,78**
Mn	$Y = 25,5$	NS	$Y = 28,1$	NS	$Y = -0,088x^2 + 3,059x - 6,391$	0,61**	$Y = -0,037x^2 + 1,508x + 2,160$	0,87*
Zn	$Y = -0,018x^2 + 0,634x - 2,911$	0,91**	$Y = -0,008x^2 + 0,306x - 0,168$	0,51**	$Y = -0,010x^2 + 0,360x - 1,435$	0,69*	$Y = 1,6$	NS
	<i>Milho</i>							
Cu	$Y = -0,023x + 1,828$	0,64*	$Y = 1,3$	NS	$Y = -0,002x^2 + 0,079x + 0,546$	0,98*	$Y = -0,010x + 1,360$	0,96*
Fe	$Y = 43,6$	NS	$Y = 42,1$	NS	$Y = 0,107x^2 - 3,516x + 68,230$	0,93**	$Y = 41,7$	NS
Mn	$Y = 17,9$	NS	$Y = -0,159x + 19,961$	0,70*	$Y = 10,6$	NS	$Y = 11,3$	NS
Zn	$Y = 1,9$	NS	$Y = 1,4$	NS	$Y = 0,4$	NS	$Y = 0,3$	NS

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. V = Variável. AT = Área total. EL = Entrelinhas. Fonte: Próprio autor.

Apêndice E - Coeficiente de determinação (R^2) e equações de regressão que melhor se ajustaram em relação aos teores macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) na folha das culturas de soja e de milho em função das doses de CLE aplicadas.

V	Soja				Milho			
	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2
N	$Y = 46,8$	NS	$Y = 48,7$	NS	$Y = 30,1$	NS	$Y = 30,0$	NS
P	$Y = 3,4$	NS	$Y = 3,3$	NS	$Y = 0,014x + 2,230$	0,70**	$Y = 2,4$	NS
K	$Y = 22,7$	NS	$Y = 19,6$	NS	$Y = 21,3$	NS	$Y = 0,026x^2 - 0,862x + 26,924$	0,67**
Ca	$Y = 7,4$	NS	$Y = -0,009x^2 + 0,288x + 5,285$	0,80**	$Y = 0,037x + 2,190$	0,62**	$Y = -0,007x^2 + 0,295x + 0,401$	0,94**
Mg	$Y = 3,3$	NS	$Y = -0,039x + 3,905$	0,51**	$Y = 1,0$	NS	$Y = -0,005x^2 + 0,191x + 0,542$	0,92**
S	$Y = 2,4$	NS	$Y = 2,4$	NS	$Y = 1,8$	NS	$Y = 1,9$	NS
B	$Y = 33,9$	NS	$Y = 0,221x + 25,385$	0,75*	$Y = 4,6$	NS	$Y = 0,049x^2 - 2,060x + 27,547$	0,54**
Cu	$Y = 4,8$	NS	$Y = 4,8$	NS	$Y = 6,6$	NS	$Y = -0,054x^2 + 1,971x - 8,759$	0,56**
Fe	$Y = -0,201x^2 + 7,330x - 20,362$	0,74**	$Y = 34,5$	NS	$Y = 98,5$	NS	$Y = -0,190x^2 + 7,428x + 33,785$	0,90**
Mn	$Y = 37,5$	NS	$Y = -0,060x^2 + 2,554x + 12,104$	0,99**	$Y = 28,2$	NS	$Y = -0,188x^2 + 6,851x - 28,455$	0,92**
Zn	$Y = 0,218x + 28,447$	0,64**	$Y = 32,3$	NS	$Y = 0,281x + 22,182$	0,74*	$Y = 27,3$	NS

Nota: **, * e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. V = Variável. AT = Área total. EL = Entrelinhas. Fonte: Proprio autor.

Apêndice F - Coeficiente de determinação (R^2) e equações de regressão que melhor se ajustaram em relação aos extração da parte aérea macronutrientes (kg ha^{-1}) e micronutrientes (g ha^{-1}) na folha das culturas de soja e de milho em função das doses de CLE aplicadas.

V	Soja				Milho			
	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2
N	$Y = 170,9$	NS	$Y = 119,2$	NS	$Y = 12,8$	NS	$Y = 12,8$	NS
P	$Y = 22,7$	NS	$Y = 0,059x^2 - 2,009x + 34,730$	0,88*	$Y = 0,7$	NS	$Y = 0,008x^2 - 0,284x + 3,271$	0,95**
K	$Y = 144,4$	NS	$Y = 137,0$	NS	$Y = 18,0$	NS	$Y = 0,168x^2 - 5,772 + 64,438$	0,99**
Ca	$Y = 63,2$	NS	$Y = 53,3$	NS	$Y = 4,5$	NS	$Y = 0,02x^2 - 0,625x + 9,412$	0,92**
Mg	$Y = 40,7$	NS	$Y = 35,5$	NS	$Y = 4,6$	NS	$Y = 5,1$	NS
S	$Y = 10,3$	NS	$Y = 0,368x + 1,638$	0,88**	$Y = 1,1$	NS	$Y = 0,015x + 0,960$	0,55**
B	$Y = 4,250x + 182,000$	0,53*	$Y = 1,325x^2 - 43,725x + 550,500$	0,87**	$Y = -0,092x^2 + 3,338x - 16,375$	0,99**	$Y = 0,290x + 5,260$	0,64**
Cu	$Y = 36,8$	NS	$Y = 29,9$	NS	$Y = 0,218x + 4,508$	0,89**	$Y = 0,142x + 5,928$	0,70**
Fe	$Y = 1399$	NS	$Y = 1235$	NS	$Y = 226,6$	NS	$Y = 215,2$	NS
Mn	$Y = 193,8$	NS	$Y = 182,2$	NS	$Y = 51,6$	NS	$Y = 0,478x^2 - 14,855x + 164,4$	0,90**
Zn	$Y = 127,9$	NS	$Y = 0,755x^2 - 23,775x + 275,750$	0,84*	$Y = 0,908x + 8,212$	0,78**	$Y = 0,123x^2 - 4,112x + 56,600$	0,93**

Nota: **, * e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. V = Variável. AT = Área total. EL = Entrelinhas. Fonte: Próprio autor.

Apêndice G - Coeficiente de determinação (R^2) e equações de regressão que melhor se ajustaram em relação a exportação nos grãos de macronutrientes (kg ha^{-1}) e micronutrientes (g ha^{-1}) na folha das culturas de soja e de milho em função das doses de CLE aplicadas.

V	Soja				Milho			
	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2
N	$Y = 441,0$	NS	$Y = 386,0$	NS	$Y = 25,2$	NS	$Y = 0,458x + 19,922$	0,81**
P	$Y = 37,8$	NS	$Y = 33,4$	NS	$Y = 5,7$	NS	$Y = 0,136x + 4,432$	0,87**
K	$Y = 129,8$	NS	$Y = 113,3$	NS	$Y = 10,9$	NS	$Y = -0,054x^2 + 2,041x - 4,456$	0,94**
Ca	$Y = 26,0$	NS	$Y = 21,6$	NS	$Y = 4,4$	NS	$Y = 4,2$	NS
Mg	$Y = 16,1$	NS	$Y = 14,0$	NS	$Y = 2,8$	NS	$Y = 3,2$	NS
S	$Y = 22,7$	NS	$Y = 19,8$	NS	$Y = 0,023x + 1,345$	0,65**	$Y = 0,028x + 1,425$	0,92**
B	$Y = 163,6$	NS	$Y = 139,4$	NS	$Y = -0,019x^2 + 0,637x - 0,066$	0,71**	$Y = 0,091x + 2,470$	0,77**
Cu	$Y = 50,2$	NS	$Y = 43,4$	NS	$Y = 8,8$	NS	$Y = 8,6$	NS
Fe	$Y = 487,2$	NS	$Y = 391,8$	NS	$Y = 48,9$	NS	$Y = 48,2$	NS
Mn	$Y = 146,4$	NS	$Y = 124,0$	NS	$Y = 0,053x^2 - 1,628x + 37,129$	0,79*	$Y = 0,297x + 20,768$	0,67*
Zn	$Y = 332,0$	NS	$Y = 286,2$	NS	$Y = 61,1$	NS	$Y = 63,9$	NS

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. V = Variável. AT = Área total. EL = Entrelinhas. Fonte: Próprio autor.

Apêndice H - Coeficiente de determinação (R^2) e equações de regressão que melhor se ajustaram em relação ao acúmulo na palhada de macronutrientes (kg ha^{-1}) e micronutrientes (g ha^{-1}) na folha das culturas de soja e de milho em função das doses de CLE aplicadas.

V	Soja				Milho			
	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2
N	$Y = -2,130x + 134,3$	0,72*	$Y = 91,8$	NS	$Y = 65,1$	NS	$Y = 0,310x^2 - 11,880x + 163,378$	0,99**
P	$Y = -0,064x^2 + 1,98x + 1,039$	0,97*	$Y = 13,5$	NS	$Y = 0,075x + 2,735$	0,54*	$Y = 0,092x + 2,350$	0,97*
K	$Y = 59,5$	NS	$Y = 60,4$	NS	$Y = 1,809x + 25,242$	0,59**	$Y = 49,5$	NS
Ca	$Y = 27,0$	NS	$Y = 26,8$	NS	$Y = -0,111x^2 + 4,629x - 16,758$	0,92**	$Y = 18,1$	NS
Mg	$Y = 19,3$	NS	$Y = 19,5$	NS	$Y = -0,061x^2 + 2,167x - 0,284$	0,98**	$Y = 0,299x + 10,598$	0,64**
S	$Y = 10,4$	NS	$Y = 10,2$	NS	$Y = -0,037x^2 + 1,423x - 6,840$	0,97**	$Y = 0,199x + 1,318$	0,77**
B	$Y = -0,420x^2 + 14,365x - 34,125$	0,68*	$Y = 63,1$	NS	$Y = -0,259x^2 + 12,065x - 58,379$	0,68**	$Y = 0,220x^2 - 6,001x + 89,708$	0,64**
Cu	$Y = 18,9$	NS	$Y = 17,4$	NS	$Y = -0,286x^2 + 10,511x - 66,655$	0,99**	$Y = 1,212x - 1,998$	0,64**
Fe	$Y = -20,240x^2 + 804x - 5269$	0,53*	$Y = 1986$	NS	$Y = -28,250x^2 + 1128x - 6892$	0,95**	$Y = -15,708x^2 + 771,500x - 5197$	0,79**
Mn	$Y = 3,550x + 51,625$	0,87**	$Y = 114,4$	NS	$Y = -0,862x^2 + 32,722x + 36,762$	0,88*	$Y = 16,190x + 0,425$	0,57**
Zn	$Y = 2,035x + 69,575$	0,77*	$Y = 89,9$	NS	$Y = -0,640x^2 + 24,410x - 81,425$	0,81**	$Y = 4,050x + 28,875$	0,96**

Nota: **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. V = Variável. AT = Área total. EL = Entrelinhas. Fonte: Próprio autor.

Apêndice I - Coeficiente de determinação (R^2) e equações de regressão que melhor se ajustaram as relações entre os atributos referentes ao desenvolvimento da planta e aos componentes de produção das culturas de soja e de milho em função das doses de CLE aplicadas.

Variável	Equação (AT)	R^2	Equação (EL)	R^2
<i>Soja</i>				
AP	Y = 129,0	NS	Y = 126,2	NS
APV	Y = 12,4	NS	Y = 11,8	NS
NVP	Y = 50	NS	Y = 54	NS
NGP	Y = 113	NS	Y = 127	NS
MMG	Y = 165,7	NS	Y = 170,0	NS
POP	Y = 407	NS	Y = 385	NS
ICF	Y = 38,4	NS	Y = 37,1	NS
PROD	Y = 4823	NS	Y = 4685	NS
<i>Milho</i>				
AP	Y = 224,9	NS	Y = 227,4	NS
APE	Y = 137,1	NS	Y = 137,9	NS
DC	Y = 21,3	NS	Y = 20,7	NS
NFE	Y = 16,6	NS	Y = 16,5	NS
NGE	Y = 543	NS	Y = 552	NS
MMG	Y = 291,1	NS	Y = 291,7	NS
ICF	Y = 54,5	NS	Y = 54,4	NS
PROD	Y = 9566	NS	Y = 9767	NS

Nota: **, * e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. AT = Área total. EL = Entrelinhas. AP = Altura de plantas (cm). APE = Altura da primeira espiga (cm). APV = Altura da primeira vagem (cm). NVP = número vagens por planta. NGP = Número de grãos por planta. DC = Diâmetro do colmo (cm). NFE = Número de fileiras por espiga. NGE = Número de grãos por espiga. MMG = Massa de 1000 grãos (g). PROD = Produtividade de grãos (kg ha^{-1}). Fonte: Próprio autor.