

UEMASUL



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS-CCA
ENGENHARIA AGRONÔMICA

EMILLY DE SOUZA COSTA

**TOLERÂNCIA E CRESCIMENTO DA BRACHIARIA (*UROCHLOA*
BRIZANTHA) ASSOCIADA A FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES A DOSES DE ZINCO E NÍQUEL – PERSPECTIVA DE
DESCONTAMINAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS ZN
(II) E NI (II) EM SOLOS AGRÍCOLAS.**

EMILLY DE SOUZA COSTA

**TOLERÂNCIA E CRESCIMENTO DA BRACHIARIA (*Urochloa
brizantha*) ASSOCIADA A FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
A DOSES DE ZINCO E NÍQUEL – PERSPECTIVA DE
DESCONTAMINAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS ZN
(II) E NI (II) EM SOLOS AGRÍCOLAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
como requisito básico para a conclusão do Curso de
Engenharia Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Diniz de Oliveira

Ficha catalográfica

C837t

Costa, Emilly de Souza

Tolerância e crescimento da brachiaria (*Urochloa Brizantha*) associada a fungos micorrízicos arbusculares a doses de zinco e níquel – perspectiva de descontaminação de metais potencialmente tóxicos zn (II) e ni (II) em solos agrícolas. / Emilly de Souza Costa. – Imperatriz, MA, 2025.

47f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Agrônômica) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2025.

1. Absorção. 2. Fitorremediação. 3. Simbiose. 4. Ambiental. 5. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 631.42

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Kacio Micael Oliveira Vidal CRB13/988**


EMILLY DE SOUZA COSTA

**TOLERÂNCIA E CRESCIMENTO DA BRACHIARIA (*Urochloa
brizantha*) ASSOCIADA A FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
A DOSES DE ZINCO E NÍQUEL – PERSPECTIVA DE
DESCONTAMINAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS ZN
(II) E NI (II) EM SOLOS AGRÍCOLAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
como requisito básico para a conclusão do Curso de
Engenharia Agrônômica.


Data de aprovação: 27 / 01 / 2025

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **JORGE DINIZ DE OLIVEIRA**
Data: 06/02/2025 15:48:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Jorge Diniz de Oliveira

Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 **IVANEIDE DE OLIVEIRA NASCIMENTO**
Data: 05/02/2025 17:21:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Ivaneide de Oliveira Nascimento

Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 **THATYANE PEREIRA DE SOUSA**
Data: 03/02/2025 13:47:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Thatyane Pereira de Sousa

Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo”.

Martin Luther King

AGRADECIMENTOS

Com a finalização de mais uma etapa importante de minha graduação, não poderia deixar de agradecer a Deus por tamanha bondade e amor para comigo, por ter me permitido ingressar ao meu tão sonhado curso de engenharia agrônoma, concluir as disciplinas com aprendizados que carregarei por toda a minha vida.

Agradeço à minha família, meus avós Cardoso e dona Nana, Sebastiana, em conjunto com meu pai Eusivan, meu tio Isaias, e minha querida mãe, Neide me auxiliarem em todos os momentos, sem o apoio, subsídio e incentivos necessários não seria possível a conclusão dessa etapa da minha formação no curso de engenharia agrônoma.

Aos meus tios e tias, em especial Euzébia, Maura, Eurilene e Eduardo, agradeço por todo cuidado e zelo. Aos meus lindos irmãos, João Paulo, Ricardo, Eduardo, David e Messias, agradeço por tê-los ao meu lado e pela amizade.

Ao meu namorado, amigo e confidente, Sóstenes S. Lacerda, pelo incentivo, carinho e apoio dado durante toda minha trajetória acadêmica.

Aos meus amigos, Célia, Bruno, Wilson Weverton, Roniela, Gabriele, Alexandre, Karine, Camila, Emmilly, Helaine e outros queridos amigos de turma e de laboratório. Agradeço a cada um pelo crescimento pessoal, atenção e parceria dentro da faculdade e fora da faculdade.

Agradeço a cada um dos meus professores que me ensinaram com tanto zelo e atenção durante minha graduação.

Ao meu querido orientador, Jorge Diniz, agradeço por tudo, pelo cuidado, incentivos, café e pelas conversas, sou grata pela sua vida.

À instituição de ensino UEMASUL, a qual possibilitou a realização deste sonho e conhecer pessoas maravilhosas que me auxiliaram em buscar aprendizado.

Dedico este trabalho aos meus avós, João Costa e Sebastiana, e José Cardoso e Jacinan, e minha bisavó Glória Maria.

A todos meus agradecimentos e carinho, muito obrigada.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros físico-químicos do solo do município de Imperatriz-MA. pH_{H_2O} ; pH_{KCl} , ΔpH : variação do pH; M.O: Matéria Orgânica ($mg\ kg^{-1}$); CTC: Capacidade de Troca Catiônica ($cmolc\ dm^{-3}$).....	19
Tabela 2. Análise de variância para altura de planta na 1ª Análise.....	19
Tabela 3. Análise de variância para altura de planta na 2ª Análise.....	20
Tabela 4. Análise de variância para índice de clorofila.....	21
Tabela 5. Fator de translocação do Ni^{+2} na braquiária (<i>Urochloa brizantha</i>), em solo sem FMA e com FMA.....	23
Tabela 6. Fator de translocação do Zn^{+2} na braquiária (<i>Urochloa brizantha</i>), em solo sem FMA e com FMA.....	23
Tabela 7. Fator de Bioacumulação do Ni^{+2} na braquiária (<i>Urochloa brizantha</i>), em solo sem FMA e com FMA.....	23
Tabela 8. Fator de bioacumulação do Zn^{+2} na braquiária (<i>Urochloa brizantha</i>), em solo sem FMA e com FMA.....	23

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Análise de variância da terceira e quarta análise de altura da parte aérea de Braquiária nas diferentes dosagens.	20
Gráfico 2. Valores médios das concentrações de Ni ⁺² nas plantas de braquiária em mg kg ⁻¹	21
Gráfico 3. Valores médios das concentrações de Zn ⁺² nas plantas de braquiária em mg kg ⁻¹	22

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 METODOLOGIA.....	15
2.1 Delineamento experimental e tratamentos.....	15
2.2 Extração dos esporos dos FMA.....	16
2.3 Inoculação dos FMA nas plantas e coloração e contagem de raízes colonizadas.....	17
2.4 Extração de metais no solo antes, após o plantio e nas brachiarias.....	17
2.5 Análise estatística.....	18
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	18
4 CONCLUSÃO.....	24
AGRADECIMENTOS.....	25
REFERÊNCIAS.....	26

Tolerância e crescimento da Brachiaria (*Urochloa brizantha*) associada a fungos micorrízicos arbusculares a doses de zinco e níquel – Perspectiva de descontaminação de metais potencialmente tóxicos Zn (II) e Ni (II) em solos agrícolas.

Tolerance and growth of Brachiaria (*Urochloa brizantha*) associated with arbuscular mycorrhizal fungi to doses of zinc and nickel – Perspective of decontamination of potentially toxic metals Zn (II) and Ni (II) in agricultural soils.

Tolerancia y crecimiento de Brachiaria (*Urochloa brizantha*) asociada a hongos micorrízicos arbusculares a dosis de zinc y níquel – Perspectiva de descontaminación de metales potencialmente tóxicos Zn (II) y Ni (II) en suelos agrícolas.

DOI: 10.54033/cadpedvXXnX-

Originals received: 02/01/2025

Acceptance for publication: 03/02/2025

Emilly de Souza Costa

Graduanda em Engenharia Agrônômica
Instituição de formação: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL)
Endereço: Imperatriz, Maranhão, Brasil
E-mail: emillycosta.20200002871@uemasul.edu.br

Jorge Diniz de Oliveira

Doutor em Química Ambiental
Instituição de formação:
Endereço: Imperatriz, Maranhão, Brasil
E-mail: jorgediniz@uemasul.edu.br

RESUMO

A contaminação indiscriminada do ambiente por metais potencialmente tóxicos (MTPs) pela ação antrópica oferta problemas socioeconômicos e ambiental. A fitorremediação é uma técnica sustentável, utilizada para descontaminação de solos, utilizando plantas capazes de absorver e acumular MTPs em seus tecidos. O presente estudo teve como objetivo avaliar a tolerância e desenvolvimento da braquiária (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) como fitorremediadora dos metais Níquel (Ni^{+2}) e Zinco (Zn^{+2}), através de análise dos fatores de translocação (FT) e bioacumulação (FBC), comparar o potencial fitorremediador em simbiose com fungos micorrízicos arbusculares (FMA). O trabalho foi conduzido em casa de vegetação, em Delineamento Inteiramente Casualizado, sistema fatorial $6 \times 2 \times 3$, com 6 doses das espécies metálica incubadas no solo (0, 10, 20, 40, 60, e 80 mg kg^{-1}), com inoculação de FMA e ausência, com 3 repetição cada, resultando 36 unidades experimentais. A determinação da percentagem de matéria orgânica (MO) foi feita via método volumétrico pelo dicromato de potássio. Foram determinados parâmetros físico-químicos, altura e índice de clorofila. Utilizou-se solução extratora de DTPA para determinação de MTPs. Os dados foram submetidos a análise de variância utilizando o software AgroEstat e a comparação das médias foi realizada utilizando o teste Tukey a 5 % de probabilidade. A concentração de MO foi de 16,03 mg kg^{-1} , caracterizando um solo que retem cargas negativas. O Ni^{+2} e o Zn^{+2} tiveram o FT <1 , tornando a braquiária fitoextratora, já o FBC apresentou resultados >1 , tornando-a hiperacumuladora. Os tratamentos com FMA tiveram maior eficiência. A gramínea apresentou bom desenvolvimento em solo contaminado nas diferentes dosagens dos MTPs.

Palavras-chave: Absorção. Fitorremediação. Simbiose. Ambiental.

ABSTRACT

The indiscriminate contamination of the environment by potentially toxic metals (MTPs) due to human action poses socioeconomic and environmental problems. Phytoremediation is a sustainable technique used for soil

decontamination, using plants capable of absorbing and accumulating PTMs in their tissues. The present study aimed to evaluate the tolerance and development of *Brachiaria (Urochloa brizantha)* as a phytoremediator of the metals Nickel (Ni^{+2}) and Zinc (Zn^{+2}), through analysis of translocation factors (FT) and bioaccumulation (FBC), and to compare the phytoremediation potential in symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi (FMA). The study was conducted in a greenhouse, in a completely randomized design, with a 6x2x3 factorial system, with 6 doses of the metallic species incubated in the soil (0, 10, 20, 40, 60, and 80 mg kg^{-1}), with inoculation of FMA and absence, with 3 repetitions each, resulting in 36 experimental units. The determination of the percentage of organic matter (MO) was done via the volumetric method using potassium dichromate. Physicochemical parameters, height and chlorophyll index were determined. DTPA extracting solution was used to determine MTPs. The data were subjected to analysis of variance using the software AgroEstat and the means was compared using the Tukey test at 5 % probability. The MO concentration was 16,03 mg kg^{-1} , characterizing a soil that retains negative charges. Ni^{+2} and Zn^{+2} had FT <1, making *Brachiaria* a phytoextractor, while FBC presented results >1, making it a hyperaccumulator. Treatments with FMA were more efficient. The grass showed good development in contaminated soil at different MTPs dosages.

Keywords: Absorption. Phytoremediation. Symbiosis. Environmental.

RESUMEN

La contaminación indiscriminada del medio ambiente por metales potencialmente tóxicos (MTPs) debido a la acción humana plantea problemas socioeconómicos y ambientales. La fitorremediación es una técnica sustentable utilizada para la descontaminación del suelo, utilizando plantas capaces de absorber y acumular MTPs en sus tejidos. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la tolerancia y desarrollo de *Brachiaria (Urochloa brizantha)* como fitorremediador de los metales Níquel (Ni^{+2}) y Zinc (Zn^{+2}), mediante el análisis de factores de translocación (FT) y bioacumulación (FBC). Comparar el potencial de fitorremediación en simbiosis con hongos micorrízicos arbusculares (HMA). El trabajo se realizó en invernadero, en un Diseño Completo al Azar, sistema

factorial 6x2x3, con 6 dosis de las especies metálicas incubadas en el suelo (0, 10, 20, 40, 60 y 80 mg kg⁻¹), con inoculación de FMA y ausencia, con 3 repeticiones cada uno, resultando 36 unidades experimentales. La determinación del porcentaje de materia orgánica (MO) se realizó mediante el método volumétrico utilizando dicromato de potasio. Se determinaron parámetros fisicoquímicos, altura e índice de clorofila. Se utilizó la solución de extracción DTPA Para determinar los MTPs. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza mediante el software AgroEstat y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. La concentración de MO fue de 16,03 mg kg⁻¹, caracterizando un suelo que retiene cargas negativas. Ni⁺² y Zn⁺² presentaron FT <1, convirtiendo a *Brachiaria* en un fitoextractor, mientras que FBC presentó resultados >1, convirtiéndolo en un hiperacumulador. Los tratamientos con FMA fueron más eficientes. El pasto mostró un buen desarrollo en suelo contaminado a diferentes dosis de MTPs.

Palabras clave: Absorción. Fitorremediación. Simbiosis. Ambiental.

1 INTRODUÇÃO

As técnicas de recuperação físicas, químicas e biológicas para remover metaloides e metais potencialmente tóxicos (MPTs) dos solos, são eficientes para minimizar a presença destes no meio ambiente por ações antropogênicas, porém, tais técnicas tem alto custo de investimento, além de contribuir para modificações das propriedades edáficas do solo (Asharaf, et al., 2019). Para tanto, visa-se alternativas que reduzam tais impactos, e que contribua para reverter tal problemática no meio ambiente.

A fitorremediação é o método de descontaminação que utiliza plantas capazes de remover ou imobilizar contaminantes orgânicos ou inorgânicos do solo, sendo tais processos caracterizados como fitoestabilização e fitoextração, esta técnica é uma alternativa de baixo custo, facilmente aplicável, além de ser mais aceitável para o público e mais sustentável em comparação a técnicas químicas de extração de MTPs, (Shah; Daverey, 2020).

O *Urochloa brizantha* cv Marandu, capim braquiária (popularmente conhecido como capim- braquiarão), (Embrapa, 1979), é uma espécie que segundo Caione et al., (2023) excelente capacidade de sobrevivência em solos contaminados com alto teor de Mn, apresentando desenvolvimento normal, sem interferência em sua anatomia e morfologia.

Devido ao seu benefício e efeitos no crescimento das plantas sob condições estressadas, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) tem sido utilizados para melhorar a reabilitação de solos contaminados por MTPs (Leal et al., 2016) Essa associação simbiótica entre as raízes de uma planta e o micélio de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), auxilia a planta a obter nutriente do solo com mais eficiência e pode favorecer a capacidade de fitoextratora de plantas na remoção de MTPs (Leudo et al, 2020).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) tem eficiência em reduzir a contaminação de MPTs em solos. Segundo Boorboori et al., (2022), a associação simbiótica de planta com FMA tem efetividade a tolerância em diversos metais, além dos FMA sobreviverem a essas condições, e auxiliar as espécies vegetais a fitotoxidez causados pelos estresses dos metais. A eficiência da colonização micorrízica é dependente da relação planta-fungo-MPTs (Raklami et al., 2022).

O zinco é um micronutriente para as plantas, ativador enzimático na síntese do triptofano, em que este é responsável pela biossíntese do AIA (ácido indol acético), que possui grande relevância para o crescimento vegetal, além de ser importante para a rota metabólica no que tange a formação do RNA, membrana celular, ribossomo, e produção de lipídeos e proteínas, estrutura do hormônio vegetal auxina, (Mengel e Kirkby, 1987). Sua ausência corrobora para a redução da síntese proteica, desestruturação ribossômica, logo, devido ao controle enzimático da enzima RNAase, o que auxilia na diminuição da síntese proteica, por consequência reduz a multiplicação celular, isso porque a enzima hidrolisa o RNA.

O níquel é um ativador da urease, importante para o metabolismo do nitrogênio nas plantas, como o processo químico da ureia produzindo gás carbônico e amônia. Ademais, sua importância também está relacionada as diversas enzimas como urease, acetil coezima-A sintase, RNAase-A, dentre

outras. Assim, como os outros nutrientes, níquel pode ficar adsorvidos nos coloides do solo, sua disponibilidade está relacionada ao pH, solos com pH menor que 5,5 apresentam alta disponibilidade do elemento (Veloso, 1992). A planta absorve o elemento na forma divalente.

Objetivou-se nesta pesquisa verificar o desempenho da gramínea pertencentes ao gênero braquiária (*Urochloa brizantha* cv Marandu), como fitoextratora de metais potencialmente tóxicos tais como Zn, e Ni, em solos artificialmente contaminado, ainda, ampliar o conhecimento da performance do uso da braquiária associada a fungos micorrízicos arbusculares na remoção desses metais potencialmente tóxicos nos solos da região.

2 METODOLOGIA

O presente estudo foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas-CCENT da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão-UEMASUL. Foram empregadas amostras de solos provenientes do banco de amostras oriunda de umas áreas preservadas no município de Imperatriz – MA, do Projeto Avaliação de plantas nativas do Cerrado maranhense com potencial fitorremediador de solos contaminados por manganês, níquel, zinco, crômio e chumbo; desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Química Ambiental (GPQA) do “Laboratório de Química Ambiental (LQA) do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas (CCENT) da UEMASUL. As sementes do capim braquiário (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) utilizadas no experimento foram adquiridas comercialmente na cidade de Imperatriz - MA. Os fungos são provenientes do banco de amostra do Laboratório de Microbiologia e Saúde da UEMASUL.

2.1 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em sistema fatorial 6x2x3, sendo 6 doses das espécies metálicas, sendo 0, 10, 20, 40, 60 e 80 mg kg⁻¹ e 2 inoculações de FMA (com e sem FMA) em um

com 3 repetições, totalizando 36 unidades experimentais.

Conforme metodologia proposta por Costa et al. (2008). Em casa de vegetação e em vasos, com 2 dm³ de capacidade volumétrica. A quantidade utilizada de 1,5 kg do solo, os vasos foram preenchidos com um substrato de areia e solo (1:2) previamente autoclavado por 1 hora a 121 °C por dois dias consecutivos para garantir apenas o efeito dos FMA inoculados. Durante a condução do experimento, os vasos foram irrigados com água destilada, de modo a não ultrapassar o limite máximo de 70 % da capacidade de campo deste solo, em intervalos semanais os vasos foram irrigados com 50 mL de solução nutritiva.

2.2 Avaliações e parâmetros de desenvolvimento

Foram feitas 4 análises em intervalos de 14 dias após o plantio, foram feitas mensurações de altura, com auxílio de uma fita métrica graduada em centímetros, e índice de clorofila, com auxílio do SPAD 502 Plus Medidor de Clorofila. Após 55 DAP, as plantas foram coletadas dos vasos e a biomassa separada em parte áreas e raiz, e armazenadas em sacos de papel previamente identificados, e submetidos em secagem a estufa de ar com circulação forçada a temperatura de 75° C até peso constante. Em seguida, foram determinadas a matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca da raiz (MSR). O material seco foi pesado para a determinação da biomassa, e posteriormente moído em moinho, no LQA. Após o procedimento as partes das plantas foram acondicionadas em recipiente de polietileno e armazenadas sob refrigeração em 27°C, até o momento das análises da determinação dos teores das espécies metálicas Zn (II) e Ni (II) fitoextraídos.

2.3 Extração dos esporos dos FMA

Os esporos de FMA foram extraídos do solo segundo metodologia de peneiramento úmido (Gerdemann; Nicolson, 1963) e centrifugação com sacarose, em que foram pesados 50 g de solo seco, na qual foi deixado de molho

sacarose, em que foram pesados 50 g de solo seco, na qual foi deixado de molho por 3 minutos em água e posteriormente passado em peneira de 53 μm , foram realizadas sucessivas lavagens do mesmo solo até a água ficar clara. O material retido na peneira foi acondicionado em tubos e levados a centrifugação por 5 minutos a 300 rpm, em seguida o sobrenadante foi descartado e adicionado aos tubos uma solução de sacarose 45%, o material foi levado a uma segunda centrifugação por 3 minutos a 3000 rpm. Finalizada a centrifugação o sobrenadante foi vertido em peneira de 53 μm , onde se encontra os esporos dos FMA, e lavado com água para retirada do excesso de sacarose. Em seguida o material foi acondicionado em tubos falcon até o momento da inoculação nas plantas.

2.4 Inoculação dos FMA nas plantas e coloração e contagem de raízes colonizadas

As plantas receberam os FMA assim que apresentaram sistema radicular. A solução com FMA que foi adicionada ao solo é referente à extração de 50 g de solo para cada vaso. A colonização radicular foi determinada de acordo com metodologia descrita por Phillips e Hayman (1970). Após coleta das raízes estas foram higienizadas para retirada de resíduos sólidos e em seguida, foram clareadas com KOH 5 %, e coloridas com azul de triptan 0,05 % e a colonização micorrízica foi determinada pelo método de interseção em placas quadriculadas, de acordo com metodologia descrita por Giovannetti e Mosse (1980).

2.5 Extração de metais no solo e nas partes das plantas

Na determinação de metais biodisponíveis foram pesados aproximadamente 10g de solo seco, em frascos cônicos de polietileno, após pesagem foram adicionado 20 ml de solução extratora DTPA (DTPA 0,005 mol L⁻¹ + TEA 0,1 mol L⁻¹ + CaCl² 0,01 mol L⁻¹, pH 7,3). Em seguida a mistura foi

agitada por duas horas a 220 rpm em mesa agitadora orbital, decorrido o tempo de agitação, a suspensão foi filtrada em papel de filtro (Tavares; Oliveira; Salgado, 2013).

As análises foram feitas em triplicata. As determinações das espécies metálicas Ni (II) e Zn (II) nas amostras dos solos e brachiaria foram feitas por Espectrometria de Absorção Atômica em Chama (FAAS), com corretor de fundo com lâmpada de deutério. Soluções padrão utilizadas para a calibração do instrumento serão preparadas com base em alíquotas de uma solução estoque de 1000 mg L⁻¹.

2.6 Análise estatística

Os resultados foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%, pelo software AgroEstat. As análises estatísticas para os teores de metais foram realizadas pelas médias das áreas dos resultados encontrados nos solos, brachiaria e estimados qualitativamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo Meurer (2010), o potencial hidrogeniônico (pH), representa a concentração de íons de H⁺ presentes na solução do solo. De acordo com a Tabela 1, o valor obtido para o pH indica um solo de acidez moderada, segundo classificação proposta por Silva *et al.*, (2017), na faixa entre 5,1 - 6,0. Prezotti e Guarçoni (2013), afirma que a CTC representa a quantidade de cargas negativas presentes nos colóides do solo em que retém cátions de mesma valência. O valor da CTC do solo foram de 0,3 cmol_c kg⁻¹, o solo apresentou baixo CTC (Prezotti e Guarçoni, 2013).

A matéria orgânica (MO), a Tabela 1, apresenta que a quantidade corresponde 16,03 mg kg⁻¹, segundo (Mamedes, 2017), a MO auxilia na retenção de cátions por meio do fornecimento de cargas negativas, CTC e, logo, aumentando o poder tampão do solo. A variação de pH (Δ pH) representa o solo tem predomínio de cargas negativas, (-1,22).

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros físico-químicos do solo do município de Imperatriz-MA. pH_{H2O}; pH_{KCl}, ΔpH: variação do pH; M.O: Matéria Orgânica (mg kg⁻¹); CTC: Capacidade de Troca Catiônica (cmolc dm⁻³).

	pH (em H ₂ O)	pH (em KCl)	ΔpH	PCZ	C.T.C (cmol _c kg ⁻¹)	M.O (mg kg ⁻¹)
Solo agricultável	5,23	4,01	-1,22	2,79	0,3	16,03

Segundo a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (Cetesb, 2021), dispõe sobre os indicativos de concentração para um solo considerado no limite de qualidade, os valores de referências de qualidade (VRQ) para o Ni⁺² é de 13 mg kg⁻¹ e para Zn⁺² é de 60 mg kg⁻¹. Já para o indicativo de solo que possuem concentrações prejudiciais ao ambiente, denominado de valor de prevenção (VP), os valores para o elemento Ni⁺² é 30 mg kg⁻¹ e para Zn⁺² é de 86 mg kg⁻¹, o valor de intervenção agrícola (VIA), consiste em concentrações prejudiciais a saúde humana, riscos ao solo e água subterrânea, o valor de VIA para o Zn⁺² é de 1900 mg kg⁻¹, já o Ni⁺² é 190 mg kg⁻¹. As concentrações que foram incubadas no solo foram superiores ao VIA para ambos os MTPs, com o valor superior de 1.330,2 mg kg⁻¹ de Zn⁺² e para Ni⁺² foi de 1.682,9 mg kg⁻¹.

Conforme a Tabela 2, o efeito do MTPs sobre o capim *Brachiaria* nos 15 DAP não apresentou significância. O resultado é semelhante para a 2ª análise, Tabela 3, apresentando que a *Urochloa brizantha* manteve seu desenvolvimento em solo contaminado com MTPs nos 30 DAP independente dos tratamentos com e sem FMA, na dosagem de 0 mg kg⁻¹ a 80 mg kg⁻¹ dos elementos Ni⁺² e Zn⁺². A planta não apresentou sinais visíveis de toxidez aos MTPs.

Tabela 2. Análise de variância para altura de planta na 1ª Análise.

Efeitos	GL	SQ	QM	F
Fator A	1	12,48	12,48	0,48 NS
Fator B	5	56,83	11,36	0,44 NS
Interação A x B	5	125,08	25,01	0,97 NS
CV(%)	35,26			

NS: Não significativo.

Fator A: Com e Sem FMA; Fator B: Doses; Interação: Com e Sem FMA versus Doses; CV (%): Coeficiente de variação; GL: Grau de liberdade; QM: Soma dos quadrados; QM: Quadrado médio.

Tabela 3. Análise de variância para altura de planta na 2ª Análise.

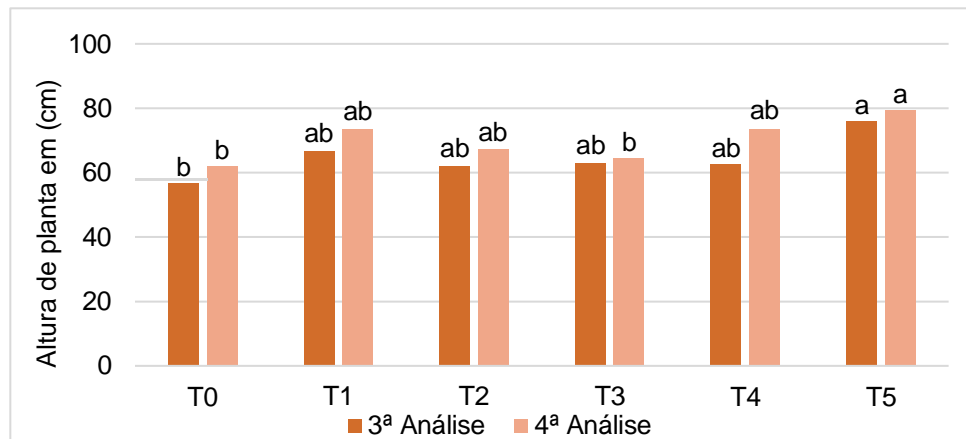
Efeitos	GL	SQ	QM	F
Fator A	1	30,43	30,43	0,30 NS
Fator B	5	667,74	133,54	1,33 NS
Interação A x B	5	107,99	21,59	0,21 NS
CV(%)	5,79			

NS: Não significativo.

Fator A: Com e Sem FMA; Fator B: Doses; Interação: Com e Sem FMA versus Doses; CV(%): Coeficiente de variação; GL: Grau de liberdade; QM: Soma dos quadrados; QM: Quadrado médio.

Segundo estudos sobre o zinco e cádmio na cultura do milho, Cunha *et al.*, (2008) observou que houve toxidez visual de Zn em maiores doses, provocando necrose foliar além de clorose internerval e nas margens, na presente pesquisa tal fato não foi observado. Conforme o Gráfico 1, sobre altura de planta, a gramínea tolerou as concentrações de MTPs nas maiores dosagens, havendo diferença estatística entre o tratamento de maior e menor dose, isto pode ser explicado devido ao mecanismo da planta em absorver o metal e utilizá-lo em seu metabolismo, corroborando para seu desenvolvimento.

Gráfico 1. Análise de variância da terceira e quarta análise de altura da parte aérea de Braquiária nas diferentes dosagens.



*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si e médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente pelo Teste de Turkey a 5% de probabilidade.

T0: 0 mg kg⁻¹; T1: 10 mg kg⁻¹; T2: 20 mg kg⁻¹; T3: 40 mg kg⁻¹; T4: 60 mg kg⁻¹; T5: 80 mg kg⁻¹;

Conforme a Tabela 4, o índice de clorofila nas 1ª, 2ª e 4ª análises não diferiram estatisticamente, porém, houve oscilação na 3ª análise, o T4 apresentou maior significância entre os outros tratamentos, porém o índice de clorofila observado na última análise não apresentou diferença estatística. Nota-se que o gênero *Urochloa* possui alta capacidade de tolerar e absorver os MTPs mesmo em estresse, sem prejudicar seu pleno desenvolvimento (Santos *et al.*, 2005; Martinez *et al.*, 2012).

Tabela 4. Análise de variância para índice de clorofila.

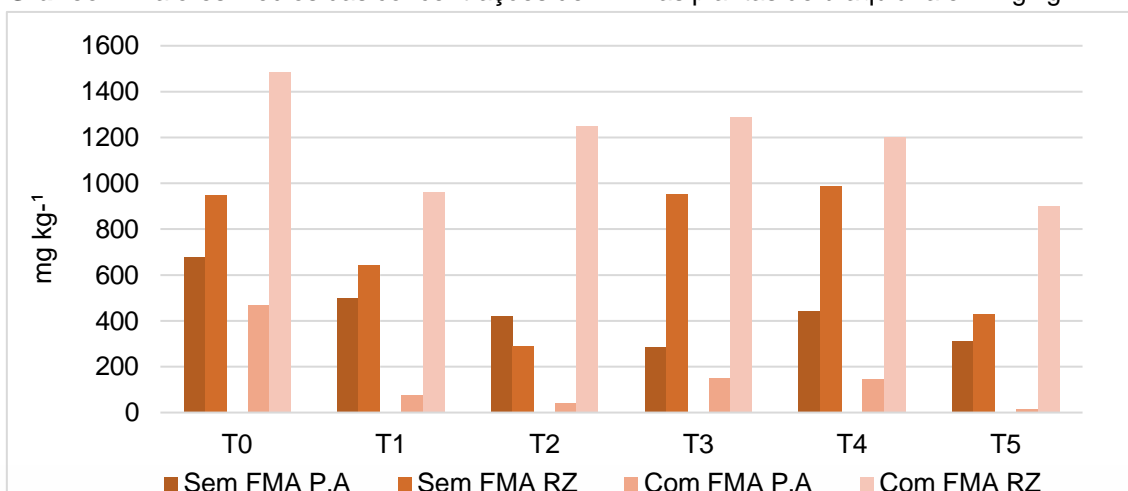
Tratamento	1 ^a análise	2 ^a análise	3 ^a análise	4 ^a análise
T0	24 a	29,40 a	21,20 ab	19,88 a
T1	20,01 a	26,36 a	22,73 ab	24,23 a
T2	19,11 a	26,88 a	26,63 a	23,46 a
T3	18,73 a	23,01 a	22,40 ab	23,36 a
T4	15,56 a	22,35 a	17,43 b	20,93 a
T5	19,58 a	30,45 a	21,56 ab	19,43 a
DP	5,07	5,51	5,11	3,73
CV(%)	35,26	20,89	23,26	17,07

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si e médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente pelo Teste de Turkey a 5% de probabilidade.

Fator A: Com e Sem FMA; Fator B: Doses; Interação: Com e Sem FMA versus Doses; CV(%): Coeficiente de variação; DP: Desvio Padrão; GL: Grau de liberdade; QM: Soma dos quadrados; QM: Quadrado médio; T0: 0 mg kg⁻¹; T1: 10 mg kg⁻¹; T2: 20 mg kg⁻¹; T3: 40 mg kg⁻¹; T4: 60 mg kg⁻¹; T5: 80 mg kg⁻¹.

As concentrações de Ni⁺² na parte aérea, conforme Gráfico 2, apresentaram no tratamento sem FMA altas concentrações quando comparado com o tratamento com FMA. Isto pode ser explicado devido a capacidade da planta a se adaptar a toxidez do elemento presente no solo, porém, percebe-se que o T4 apresentou valor superior aos tratamentos de menor dose. Segundo o Martinez *et al.*, (2013), em avaliação das plantas braquiária e mostarda da índia para uso em fitorremediação, o capim braquiária tem capacidade de acumular maiores concentrações do Ni⁺², além de outros elementos como cromo e chumbo, em seu trabalho o capim teve a capacidade de remover mais 80% de Ni⁺² do sistema.

Gráfico 2. Valores médios das concentrações de Ni⁺² nas plantas de braquiária em mg kg⁻¹.

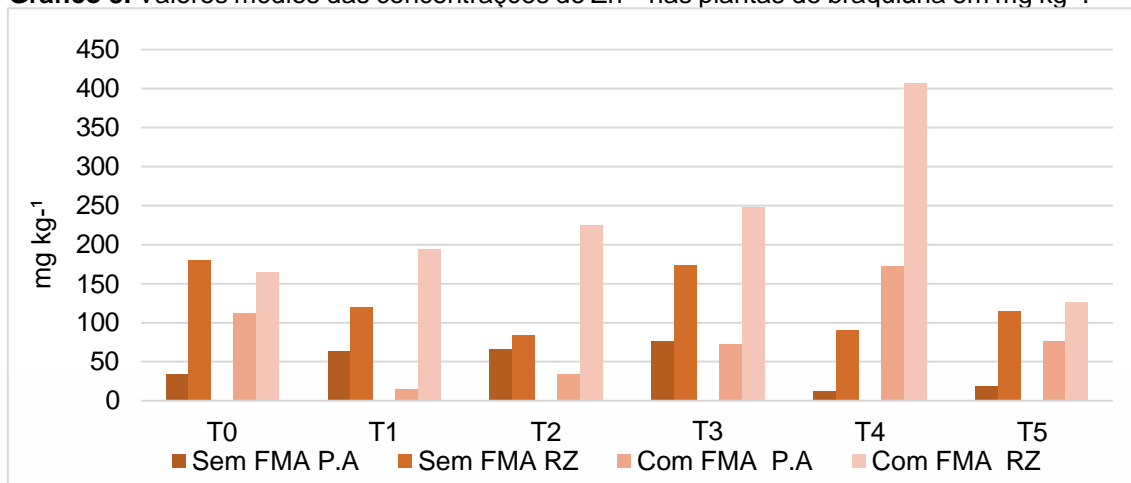


T0: 0 mg kg⁻¹; T1: 10 mg kg⁻¹; T2: 20 mg kg⁻¹; T3: 40 mg kg⁻¹; T4: 60 mg kg⁻¹; T5: 80 mg kg⁻¹.

Já as concentrações de Ni^{+2} na raiz foram superiores quando comparados a parte aérea de ambos os tratamentos (Gráfico 2). Pode-se inferir que a redução da concentração de Ni^{+2} na parte aérea comparado a área radicular, pode ter ocorrido devido a uma ação da planta contra a intoxicação. E os valores superiores acumulados no tratamento com FMA, pode ter sido influenciado pela tolerância do fungo ao MTPs. No trabalho de Berton et al. (2006) com a cultura do feijoeiro inoculados com FMA, notou-se que o fungo teve redução na simbiose com a leguminosa por conta da alta concentração de Ni^{+2} no solo. No entanto, tal fato não foi observado no presente estudo, uma vez que a gramínea possui a capacidade de tolerar o MTPs (Martinez *et al.*, 2013). Em estudos Fernandes et al. (2011), observou que a parte aérea teve menor concentração do Ni^{+2} acumulando maior fração na parte radicular da planta. Segundo Mariano e Okumura (2012), relata que um indicativo da planta ao estresse pelo MTPs é a retenção do metal na raiz.

Conforme o Gráfico 3, a concentração de Zn^{+2} na parte aérea apresentou valores superiores no tratamento com FMA, nota-se que a planta aumentou a concentração do metal gradualmente nos diferentes tratamentos, com exceção para a maior dose. As concentrações do elemento na raiz foram maiores nos tratamentos com FMA, com exceção do último tratamento. Em relação as concentrações das diferentes partes da planta, a raiz teve os maiores valores de concentração, evidenciando que a limitação do MTPs de translocar da raiz para a parte aérea, acumulando na parte radicular.

Gráfico 3. Valores médios das concentrações de Zn^{+2} nas plantas de braquiária em $mg\ kg^{-1}$.



T0: 0 $mg\ kg^{-1}$; T1: 10 $mg\ kg^{-1}$; T2: 20 $mg\ kg^{-1}$; T3: 40 $mg\ kg^{-1}$; T4: 60 $mg\ kg^{-1}$; T5: 80 $mg\ kg^{-1}$.

Conforme Broadley *et al.*, (2007) relata que O Zn^{+2} pode ser complexado a compostos orgânicos ligantes no solo, assim tornando pouco disponível para que a planta absorva o elemento. Conforme a CTC do solo em estudo, foi de 0,3 $mg\ kg^{-1}$, e MO 16,03 mg Tabela 1, pode-se inferir que contribuiu para a adsorção do metal no solo, dificultando a absorção do metal pela planta, conforme Awkummi *et al.*, (2015), solos na faixa de pH encontrado, influenciam a dinâmica do MPTs em relação a solo e planta, no que tange a disponibilidade, solubilidade e lixiviação. Tal fato também foi observado por Freitas *et al.*, (2019) em estudo de fitorremediação com o uso de aroeira, em que o metal aumentou proporcionalmente com as diferentes concentrações de Zn^{+2} , além de ter ficado adsorvido no solo. Segundo Raji (2001), a textura do solo pode está ligada a isso, devido o elemento ser fortemente adsorvidos na fração mineral do solo.

Tabela 5. Fator de translocação do Ni^{+2} na braquiária (*Urochloa brizantha* cv Marandu), em solo sem FMA e com FMA.

	Fator de translocação de Ni^{+2}					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Sem FMA	0,71	0,75	1,44	0,29	0,44	0,72
Com FMA	0,31	0,07	0,03	0,11	0,12	0,02

Tabela 6. Fator de translocação do Zn^{+2} na braquiária (*Urochloa brizantha* cv Marandu), em solo sem FMA e com FMA.

	Fator de translocação de Zn^{+2}					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Sem FMA	0,18	0,52	0,77	0,43	0,13	0,16
Com FMA	0,67	0,07	0,14	0,29	0,42	0,61

Tabela 7. Fator de Bioacumulação do Ni^{+2} na braquiária (*Urochloa brizantha* cv Marandu), em solo sem FMA e com FMA.

	Fator de Bioacumulação de Ni^{+2}					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Sem FMA	6,23	5,34	3,99	9,60	13,93	5,98
Com FMA	32,23	17,81	10,95	30,72	11,62	5,57

Tabela 8. Fator de bioacumulação do Zn^{+2} na braquiária (*Urochloa brizantha* cv Marandu), em solo sem FMA e com FMA.

	Fator de Bioacumulação de Zn^{+2}					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Sem FMA	3,38	2,80	2,31	3,76	1,44	1,88
Com FMA	4,35	3,22	120,2	52,32	59,29	16,25

O fator de translocação (FT) indica o movimento, isto é, a transferência do metal pelos tecidos da planta, das raízes para a parte aérea, logo, o FT expõe o quanto a planta transloca o metal para sua nutrição, isto é, para auxiliar seu metabolismo, Já o Fator de Bioacumulação (FBC) apresenta a relação intrínseca entre a concentração do metal no tecido vegetal e a concentração no solo. O FT, quando <1 , e FBC <1 , indicam a eficiência da planta em fitoestabilizar o metal, já quando FT é >1 expõe que a planta é promissora para fitoextrair o metal. Já valores de FBC >1 indica que a planta é hiperacumuladora

O FT com as diferentes dosagens de Ni^{+2} (Tabela 5) e Zn^{+2} (Tabela 6) na braquiária foi mais eficiente com FMA e sem FMA em todas as dosagens, caracterizando a braquiária como fitoestabilizadora dos elementos Ni^{+2} e Zn^{+2} pois todos os tratamentos apresentaram valores inferiores a 1.

O FBC apresentou >1 nos tratamentos com e sem FMA nas diferentes dosagens de Ni^{+2} (Tabela 7) e Zn^{+2} (Tabela 8), apresentaram a mesmo comportamento, considerando a planta como hiperacumuladora do metal Ni^{+2} e Zn^{+2} em ambos os tratamentos.

4 CONCLUSÃO

O desenvolvimento da planta manteve constante nos dois tratamentos, devido os metais serem importantes no metabolismo vegetal.

A simbiose do FMA com a planta influenciou na acumulação na parte radicular da planta, sendo eficiente na fitoestabilização e hiperacumulação dos MTPs.

A brachiaria (*Urochloa Brizantha* cv Marandu) foi promissora em fitoestabilizar e hiperacumular os MTPs em ambos os tratamentos, além de ser tolerante, podendo ser utilizada para remoção dessas espécies metálicas Ni^{+2} e Zn^{+2} .

AGRADECIMENTOS

À instituição de ensino UEMASUL, a qual possibilitou a realização desta pesquisa, a FAPEMA, por ofertar subsídio para a produção deste trabalho. Ao LQA e ao Laboratório de Microbiologia por me receber e auxiliar e todas as análises do projeto meu orientador Jorge Diniz de Oliveira e co-orientadora Ivaneide de Oliveira Nascimento, agradeço pelas instruções e paciência na realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ASHARAF, S.; ALI, Q.; ZAHIR, Z.; ASHARF, S.; ASGHAR, H. N. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 174, p. 714-727, 2019.
- AWKUMMI, E. E., IBIGBAMI, O. A., ASAOLU, S. S., ADEFEMI, O. S., GBOLAGADE, Y. Sequential Extraction of Heavy Metals from Soil Samples Collected from Selected Cocoa Farmland in Erijiyan, Ekiti State, Nigeria. **International Journal of Environmental Protection**, v. 5, n.1, p.52-56, 2015.
- BERTON, R. S. et al. Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1305-1312, 2006.
- BOORBOORI, M. R.; ZHANG, Hai-Yang. Arbuscular mycorrhizal fungi are an influential factor in improving the phytoremediation of arsenic, cadmium, lead, and chromium. **Journal of Fungi**, v. 8, n. 2, p. 176, 2022.
- BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc in plants. *New Phytologist*, v. 173 n. 1, p. 677-702, 2007.
- CAIONE, G. et al. Tolerance of marandu grass to excess iron and manganese. **REVISTA DE AGRICULTURA NEOTROPICAL**, v. 10, n. 1, p. e7027-e7027, 2023.
- CETESB. Atualização dos valores orientadores para solo e água subterrânea. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/12/DD-125-2021-E-Atualizacao-dos-Valores-Orientadores-paa-solo-e-aguas-subterraneas.pdf>. Acesso em: 14 de dez. 2024.
- COSTA, A. C. S.; TONIRO, C. A.; RAK, J. G. Capacidade de troca catiônica dos colóides orgânicos e inorgânicos de latossolos do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**. Maringá – PR, 1999.
- CUNHA, K. P. V. da et al. Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1319-1328, 2008.
- EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos. **Manual de Métodos de análises do solo**. Rio de Janeiro, 1979.
- FERNANDES, E. et al. Comportamento de *Cistus Ladanifer* L. e *Cistus Monspeliensis* L. face aos elementos vestigiais em solos na área mineira do Chança. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 57-67, 2011.
- FREITAS, D. A.; ALVARENGA, A. C.; DURÃES, A. F. S.: Potencial de fitorremediação da espécie arbórea *Myracrodouon urundeuva* em solos contaminados por zinco. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**. Curitiba, v. 2, n. 5, p. 1768-1775, edição especial, set. 2019.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 46, p. 235-244, 1963.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular- arbuscular mycorrhizal infection on roots. **New Phytologist**, Oxford, v. 84, n. 3, p. 489-500, 1980.

LEAL, P. L.; VARÓN-LOPEZ, M.; PADRO, I. G. O.; SANTOS, J. V.; SOUSA SOARES, C. R. F.; SIQUEIRA, J. O.; SOUZA MOREIRA, F. M. Enrichment of arbuscular mycorrhizal fungi in a contaminated soil after rehabilitation. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, p. 853-862, 2016.

LEUDO, A. M.; CRUZ, Y.; MONTOYA-RUIZ, C.; DELGADO, M. P. SALDARRIAGA, J. F. Mercury Phytoremediation with Lolium perenne- Mycorrhizae in Contaminated Soils. **Sustainability**, v.12, p. 2-13, 2020.

MAMEDES, I. M. Influência da disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos sobre osolo: estudo de caso do lixão de Várzea Grande-MT. **Revista Gestão de Sustentabilidade Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 327-336, 2017.

MARTINEZ, M. S.; CRUVINEL, D. F. C.; BARATTO, D. M.: Avaliação da fitorremediação de solos contaminados com metais pelo capim braquiária e mostarda da Índia. **Revista DAE**, v. 191, p. 30-37, 2013.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Bern: **International Potash Institute**, 1987. p.525-536: Zinc.

MEURER, J. E. **Fundamentos de Química do Solo**. 4 Ed. Porto Alegre: Yangraf Ltad, 2010. 264p.

OLIVEIRA, G. F. Indicadores químicos do solo sob diferentes usos e manejo no lote 31 doprojeto de assentamento Veneza no sudeste do Pará. **Agroecossistemas**, v. 9, n. 1, p. 227 –235, 2017.

OKUMURA, R. S.; DE CINQUE MARIANO, D.: Aspectos agronômicos, uso pelo homem e mecanismos da fitorremediação: uma revisão. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 5, n. 2 Especial, 2012.

PHILIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedure for declaring and staining parasitic and VAM fungi for rapid assessment of infection. **Transactions British Mycol. Society**, v. 55, p. 158-161, 1970.

PREZOTTI, Luiz Carlos; GUARÇONI, A. M. Guia de interpretações de análise de solo e foliar. 2013.

RAIJ, B. V. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas:Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RAKLAMI, Anas et al. Plants—Microorganisms-based bioremediation for heavy metal cleanup: Recent developments, phytoremediation techniques, regulation mechanisms, and molecular responses. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 9, p. 5031, 2022.

SANTOS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; NASCIMENTO, V. S.; HOFFMANN, R.; MAZUR, N. Fitorremediação por *Brachiaria humidicola* de área de disposição de um resíduo perigoso. *Floresta e Ambiente*, V.12, n.1, p. 22 - 29, 2005.

SHAH, V.; DAVEREY, A. Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. **Environmental Technology & Innovation**, v, 18, pp. 100774, 2020.

TAVARES, SR de L.; OLIVEIRA, Shirlei Aparecida de; SALGADO, Carla Maciel. Avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. **Holos**, v. 5, p. 80-97, 2013.

VELOSO, C. A. C. et al. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agrícola**, v. 49, p. 123-128, 1992.

PHILIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedure for declaring and staining parasitic and VAM fungi for rapid assessment of infection. **Transactions British Mycol. Society**, v. 55, p. 158-161, 1970.

PREZOTTI, Luiz Carlos; GUARÇONI, A. M. Guia de interpretações de análise de solo e foliar. 2013.