

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

EDUARDO DE OLIVEIRA RODRIGUES

**ANÁLISES DE UM SUBSTRATO REMANESCENTE DA MINERAÇÃO DE
BAUXITA, PRODUÇÃO DE VERMICOMPOSTO A PARTIR DE RESÍDUO DO
COGUMELO SHIMEJI E SEU POTENCIAL SOBRE *Megathyrus maximus cv.*
Mombaça ASSOCIADO A ADUBAÇÃO FOSFATADA**

ALFENAS/MG

2024

EDUARDO DE OLIVEIRA RODRIGUES

**ANÁLISES DE UM SUBSTRATO REMANESCENTE DA MINERAÇÃO DE
BAUXITA, PRODUÇÃO DE VERMICOMPOSTO A PARTIR DE RESÍDUO DO
COGUMELO SHIMEJI E SEU POTENCIAL SOBRE *Megathyrus maximus cv.*
Mombaça ASSOCIADO A ADUBAÇÃO FOSFATADA**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Linha de Pesquisa: Tecnologias Ambientais Aplicadas.

Orientador: Prof. Dr. Romero Francisco Vieira Carneiro

ALFENAS/MG

2024

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

Rodrigues, Eduardo de Oliveira.

Análise de um substrato remanescente da mineração de bauxita, produção de vermicomposto a partir de resíduos do cogumelo shimeji e seu potencial sobre *Megathyrus maximus* cv. Mombaça associado a adubação fosfatada / Eduardo de Oliveira Rodrigues. - Alfenas, MG, 2024.

83 f. : il. -

Orientador(a): Romero Francisco Vieira Carneiro.

Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2024.

Bibliografia.

1. Recuperação área degradada; . 2. Composto orgânico; . 3. Gramínea; . 4. Acúmulo de macro e micronutrientes.. I. Carneiro, Romero Francisco Vieira, orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

EDUARDO DE OLIVEIRA RODRIGUES

**ANÁLISES DE UM SUBSTRATO REMANESCENTE DA MINERAÇÃO DE
BAUXITA, PRODUÇÃO DE VERMICOMPOSTO A PARTIR DE RESÍDUO DO
COGUMELO SHIMEJI E SEU POTENCIAL SOBRE *Megathyrus maximus cv.***

***Mombaça* ASSOCIADO A ADUBAÇÃO FOSFATADA**

A banca examinadora abaixo-assinada, aprova a tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de Concentração: Tecnologias Ambientais Aplicadas

Aprovada em: 03/04/2024

Prof. Dr. Romero Francisco Vieira Carneiro
Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dra. Lilian Villela Andrade Pinto
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais campus
Inconfidentes

Prof. Dr. Flávio Aparecido Gonçalves
Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Thales, de Astrogildo e Tréz
Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Antônio Donizetti Gonçalves de Souza
Universidade Federal de Alfenas



Documento assinado eletronicamente por **Romero Francisco Vieira Carneiro, Professor do Magistério Superior**, em 03/04/2024, às 21:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1222393** e o código CRC **7280A569**.

AGRADECIMENTOS

Ao longo de toda essa jornada, em busca do conhecimento, muitas pessoas foram importantes, mas o apoio de minha esposa Larissa M. Rodrigues e minhas queridas filhas, Beatriz Coelho Rodrigues e Amanda Coelho Rodrigues foram meu maior apoio e inspiração, de modo que toda dificuldade foi atenuada e superada, obrigado meus amores.

Outras pessoas que também devem ser lembradas são meu pai João Pedro, minha mãe Benedita e minha avó Luiza, *in memoriam*, que estiveram sempre me apoiando desde criança, meu muito obrigado.

Agradecimento especial ao meu orientador Francisco Romero e aos colegas que me ajudaram nessa jornada, Claudio e Taciano Fernandes.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais Campus Inconfidentes.

Agradecimento às instituições parceiras que financiaram a pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A mineração é uma atividade econômica importante para o município de Poços de Caldas/MG, onde apesar da sua reconhecida importância econômica, pode trazer sérias consequências para o ambiente, uma vez que necessitam de grandes escavações para a retirada do minério, deixando um substrato remanescente com relevantes restrições para o estabelecimento de plantas, sobretudo em decorrência da perda de matéria orgânica. Neste aspecto, os resíduos sólidos, consistem em outro importante problema ambiental enfrentado pela sociedade, e isso se deve, sobretudo, ao elevado crescimento demográfico mundial. O setor agroindustrial gera quantidades expressivas de resíduos, e se divide em muitos segmentos, áreas, produtos e serviços diversos. Assim, o presente trabalho se dividiu em 3 (três) etapas, sendo que a primeira constituiu na elaboração de um vermicomposto a partir do resíduo da agroindústria do cogumelo *shimeji*. A segunda na caracterização físico-químicas de um substrato remanescente de mineração de bauxita no município de Poços de Caldas. A terceira foi testar o estabelecimento da forrageira *Megathyrus maximus* cv. Mombaça em substrato remanescente de mineração de bauxita com uso de dosagens de fósforo associadas ao vermicomposto produzido. O vermicomposto apresentou as seguintes concentrações em g/kg, respectivamente para os macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S (15,5; 3,5; 2,7; 54,5; 8,4; 2,5), enquanto que as concentrações dos micronutrientes Zn, Fe, Mn, Cu e B, em mg/kg, foram respectivamente (210,0; 2369,0; 613,0; 52,0; 31,8). Na caracterização do substrato remanescente verificou-se a seguinte composição química média: pH de 5,57; 1,60 mg dm⁻³ de P; 26,23 de mg dm⁻³ de K; 0 cmolc dm⁻³ de Al; 1,57 cmolc dm⁻³ de Ca, 0,24 cmolc dm⁻³ de Mg, 3,22 cmolc. dm⁻³ de H, 5,10 cmolc. dm⁻³ de CTC, 36,53 % de V, 2,35 dag. dm⁻³ de MO, 2,43 mg dm⁻³ de Zn, 109,07 mg. dm⁻³ de Fe, 49,33 mg. dm⁻³ de Mn, 0,10 mg. dm⁻³ de Cu, 0,20 mg. dm⁻³ de B. Os teores de argila variaram de 50,5% a 64,7 %, areia de 18,6 a 37,0% e silte de 5,2 a 23,4%. Enquanto que a densidade de solo variou de 1,009 a 1,245 g/cm³, a densidade de partículas de 1,961 a 2,410 g/cm³ e a porosidade total de 38,53 a 57,50. Tais avaliações se concentraram nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm. No estabelecimento da forrageira os tratamentos avaliados foram T1 (sem composto + 0 fósforo), T2 (com composto + 0 fósforo), T3 (sem composto + 60 ppm de fósforo), T4 (com composto + 60 ppm de fósforo), T5 (sem composto + 120 ppm de fósforo), T6 (com composto + 120 ppm de fósforo), T7 (sem composto + 240 ppm de fósforo) e T8 (com composto + 240 ppm de fósforo). Foram avaliados como resposta produções de matéria seca da parte aérea e acúmulos de macro e micronutrientes na massa seca produzida, em 2 cortes subsequentes (1º corte aos 90 dias e o 2º corte aos 120 dias), bem como a somatória desses cortes. Para a produção de matéria seca da planta, no corte 1, aplicando-se o tratamento com composto e 240 ppm de fósforo promoveu-se incremento de 2.283,3 % em relação ao não uso do composto e 0 de fósforo, e no corte 2 verificou-se um acréscimo de 641,6 % em relação ao não uso do composto e 0 de fósforo. O estabelecimento inicial da forrageira *Megathyrus maximus* cv. Mombaça em substrato remanescente de mineração de bauxita no município de Poços de Caldas-MG é limitado, mesmo utilizando doses de fósforo recomendadas para cultura, na ausência de aplicação do vermicomposto orgânico. O acúmulo dos macros e micronutrientes nos tratamentos com uso do composto do *Shimeji* é maximizado pelas doses de P a exceção do Cobre.

Palavras-chave: recuperação área degradada; composto orgânico; gramínea; acúmulo de macro e micronutrientes.

ABSTRACT

Mining is an important economic activity for the municipality of Poços de Caldas/MG, where despite its recognized economic importance, it can have serious consequences for the environment, as it requires large excavations to remove the ore, leaving a remaining substrate with relevant restrictions for the establishment of plants, mainly due to the loss of organic matter. In this aspect, solid waste is another important environmental problem faced by society, and this is mainly due to high global demographic growth. The agro-industrial sector generates significant amounts of waste, and is divided into many different segments, areas, products and services. Thus, the present work was divided into 3 (three) stages, the first of which consisted of the preparation of a vermicompost from waste from the shimeji mushroom agroindustry. The second in the physicochemical characterization of a remaining substrate from bauxite mining in the municipality of Poços de Caldas. The third was to test the establishment of the forage *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça in remaining substrate from bauxite mining using phosphorus dosages associated with the vermicompost produced. The vermicompost presented the following concentrations in g/kg, respectively for macronutrients: N, P, K, Ca, Mg and S (15.5; 3.5; 2.7; 54.5; 8.4; 2.5), while the concentrations of micronutrients Zn, Fe, Mn, Cu and B, in mg/kg, were respectively (210.0; 2369.0; 613.0; 52.0; 31.8). When characterizing the remaining substrate, the following average chemical composition was found: pH 5.57; 1.60 mg dm⁻³ of P; 26.23 mg dm⁻³ of K; 0 cmolc dm⁻³ of Al; 1.57 cmolc dm⁻³ of Ca, 0.24 cmolc dm⁻³ of Mg, 3.22 cmolc. dm⁻³ of H, 5.10 cmolc. dm⁻³ CTC, 36.53% V, 2.35 dag. dm⁻³ of MO, 2.43 mg dm⁻³ of Zn, 109.07 mg. dm⁻³ of Fe, 49.33 mg. dm⁻³ of Mn, 0.10 mg. dm⁻³ of Cu, 0.20 mg. dm⁻³ of B. Clay contents varied from 50.5% to 64.7%, sand from 18.6 to 37.0% and silt from 5.2 to 23.4%. While the soil density varied from 1.009 to 1.245 g/cm³, the particle density from 1.961 to 2.410 g/cm³ and the total porosity from 38.53 to 57.50. Such assessments focused on depths 0-20; 20-40 and 40-60 cm. When establishing the forage, the treatments evaluated were T1 (without compost + 0 phosphorus), T2 (with compost + 0 phosphorus), T3 (without compost + 60 ppm phosphorus), T4 (with compost + 60 ppm phosphorus), T5 (without compost + 120 ppm phosphorus), T6 (with compost + 120 ppm phosphorus), T7 (without compost + 240 ppm phosphorus) and T8 (with compost + 240 ppm phosphorus). As a response, production of dry matter in the aerial part and accumulation of macro and micronutrients in the dry mass produced were evaluated in 2 subsequent cuts (1 cut at 90 days and the 2nd cut at 120 days), as well as the sum of these cuts. For the plant's dry matter production, in cut 1, applying treatment with compost and 240 ppm of phosphorus promoted an increase of 2,283.3 % in relation to not using compost and 0 phosphorus, and in cut 2 there was an increase of 641.6% compared to not using the compound and 0% of phosphorus. The initial establishment of the forage *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça in remaining substrate from bauxite mining in the municipality of Poços de Caldas-MG is limited, even using doses of phosphorus recommended for cultivation, in the absence of application of organic vermicompost. The accumulation of macro and micronutrients in treatments using the Shimeji compound is maximized by doses of P, with the exception of Copper.

Keywords: recovery of degraded area; organic compost; grass; accumulation of macro and micronutrients.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	8
2	ARTIGO 1 - PRODUÇÃO E APLICABILIDADE DE FERTILIZANTE ORGÂNICO A PARTIR DE RESÍDUO DO PROCESSAMENTO DE COGUMELO SHIMEJI	11
3	ARTIGO 2 - SUBSTRATO REMANESCENTE DE MINERAÇÃO DE BAUXITA: UM DIAGNÓSTICO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS NO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS	28
4	ARTIGO 3 - ESTABELECIMENTO DE <i>Megathyrus maximum</i> cv. Mombaça EM REMANESCENTE DE MINERAÇÃO DE BAUXITA SOB ADUBAÇÃO FOSFATADA E ORGÂNICA	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
	REFERÊNCIAS.....	76
	APÊNDICES	78

1 INTRODUÇÃO GERAL

A mineração é uma atividade econômica que promove e propulsiona o desenvolvimento tanto social como econômico, sendo tratada no Decreto nº 9.406 de 12 de junho de 2018 (Brasil, 2018) que regulamentou o Decreto-Lei 227/1967 e institui o Novo Marco Regulatório da Mineração. É um setor, que apesar da sua reconhecida importância econômica, pode trazer sérias consequências para o ambiente, uma vez que necessitam de grandes escavações, para retirar o minério, gerando resíduos e rejeitos remanescentes. Neste contexto, o solo superficial mais fértil é retirado, e os substratos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos, devido a remoção da vegetação e da camada superficial, tendo suas propriedades físico-químicas e biológicas alteradas significativamente em grau e intensidade diferentes (Fengler *et al.*, 2021 apud Carvalho *et al.*, 2022)¹

Uma das principais responsáveis pelo aumento, estabilidade e manutenção da fertilidade e qualidade de um solo é a matéria orgânica, extremamente benéfica em termos físico-químicos e biológicos, facilitando a revegetação, uma vez que proporciona o aumento na capacidade de retenção de água e nutrientes (Matos, 2014; Sánchez, 2015 apud Guimarães; Matos; Carpane, 2022)².

Os resíduos sólidos, atualmente, consistem em um dos principais problemas ambientais enfrentados pela sociedade, isso se deve, sobretudo, ao elevado crescimento demográfico mundial, que vem aumentando desde 1950. Com a previsão de que a população chegue a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, espera-se além de um aumento no uso dos recursos naturais para manutenção da vida da população, um aumento na mesma proporção na produção de resíduos diversos (ONU, 2019).

Em São Paulo, Estado mais populoso da federação, estima-se que se produza 40 mil toneladas de resíduos sólidos domiciliares por dia. Em relação aos resíduos industriais foi feito um primeiro e amplo levantamento no ano de 1996, onde já nessa época gerava-se por ano mais de 500 mil toneladas de resíduos sólidos perigosos, cerca de 20 milhões de toneladas de resíduos

¹ FENGLER, F.H.; PECHE FILHO, A.; CARVALHO, M.M.; RIBEIRO, A.I. Análise de parâmetros morfométricos de agregados do solo: proposta para avaliação do estado de agregação. TERRA - Vulnerabilidades e Riscos Ecológicos, Ituiutaba, São Paulo. v. 3, p. 1068-1080, Jan. 2021.

² SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 496p.

sólidos não inertes e não perigosos, e acima de um milhão de toneladas de resíduos inertes (CETESB, 2020).

O Ministério do Meio Ambiente estimou que em 2012 coletou-se por volta de 64 milhões de toneladas de resíduos sólidos nas cidades, estimativa com base em dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) publicados em 2014, cuja coordenação é do Ministério das Cidades (Brasil, 2012).

Neste contexto o setor agroindustrial, um expressivo gerador de resíduos sólidos, se divide em muitos segmentos, áreas, produtos e serviços diversos. A partir de 2005 houve um crescimento expressivo de um novo setor agroindustrial, o setor da fungicultura, que no mundo movimentou em torno de US\$ 35 bilhões em 2017 (Correio Braziliense, 2018). No Estado de São Paulo estimou-se uma produção mensal na ordem de 1.062.008 kg de cogumelos frescos (Gomes *et al.*, 2016).

Contudo na produção de cada quilo de cogumelo fresco gera-se de 5 kg a 10 kg de resíduo sólido (Fonseca *et al.*, 2017). Esses resíduos gerados pelo setor da fungicultura, tem alta carga orgânica, constituída de celulose, hemicelulose e lignina. Componentes esses resistentes à degradação biológica sendo responsáveis por graves problemas de poluição ambiental, devido a fatores como o manejo inadequado, descarte indevido ou a reciclagem incompleta (Mazieiro, 1990; apud Kohari, 2000).³

Uma área em evidência nos dias atuais é vermicompostagem, definida como sendo a adição de minhocas aos resíduos ricos em matéria orgânica, que por sua vez converte esse material em fertilizante orgânico. Neste processo tem-se a geração de diversos metabólitos no trato digestivo desses vermes que agem beneficemente nas plantas, e a proporção de conversão chega a 60% em massa de húmus (EMBRAPA, 2008).

O Brasil é carente e dependente de fertilizantes, sendo frequentemente refém das altas e baixas do mercado, uma vez que este é dominado por poucos fornecedores. Neste sentido a utilização/conversão/reciclagem de subprodutos das indústrias/agroindústrias em fertilizantes orgânicos são mecanismos eficientes de sustentabilidade, pois reduzem o descarte incorreto, geram renda aos produtores e reduzem o consumo de matérias primas (Brasil, 2021).

Outro aspecto relevante a ser tratado em recuperação de áreas degradadas são as opções de espécies vegetais utilizadas e suas diversas finalidades, visando melhorias ou minimização

³ MAZIEIRO, R. Substratos alternativos para o cultivo de *Pleurotus spp.* São Paulo, 1990. 136p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas na Área de Botânica) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.

dos impactos ambientais gerados bem como, em muitas situações, retomada de outras atividades econômicas netas áreas como, por exemplo, a atividade agropecuária (Santos *et al.*, 2008). Neste contexto, as atividades de silvicultura e pecuária são comuns no município de Poços de Caldas nas áreas pós mineração e, assim, enfatiza-se a importância potencial do gênero *Megathyrus maximus*, por sua ampla adaptação climática, facilidade em aquisição de sementes, altas produções de matéria verde e seca, porém, exigente em nutrientes, desenvolvendo-se preferencialmente em solos de média a alta fertilidade (Nascimento, 2014; EMBRAPA, 2014; Alonso; Costa, 2017 apud Barbedo *et al.*. 2020)⁴. Enfatiza-se, portanto, a importância da manutenção ou geração de níveis equilibrados de nutrientes nos solos, sobretudo naqueles com níveis de degradação reconhecidos, visando a reconstrução da fertilidade para se estabelecer um leque mais diverso de espécies vegetais. Neste caso, destaca-se o fósforo como o nutriente impulsionador do desenvolvimento do sistema radicular das plantas, mas que em solos tropicais apresenta baixa mobilidade sendo frequentemente altamente limitante (Ferreira, 2016; Malavolta, 1980).

Por fim, levando-se em consideração o grande volume de resíduos sólidos produzidos pela fungicultura, a degradação gerada pela mineração de bauxita e a necessidade generalizada de fertilizantes em solos tropicais, este trabalho visou: - estudar a viabilidade da produção de um fertilizante orgânico utilizando a vermicompostagem a partir do resíduo da agroindústria do cogumelo *shimeji*; - Avaliar o desenvolvimento de forrageira (*Megathyrus maximus* cv. Mombaça) em substrato remanescente da atividade de mineração de bauxita submetidas a doses de fósforo combinadas a adição de fertilizante orgânico proveniente de resíduo da agroindústria do cogumelo *shimeji*.

Este estudo foi dividido em 3 partes: o primeiro foi o estudo e produção do vermicomposto, o segundo foi a caracterização físico-química da área de mineração de bauxita recentemente minerada e em estágio inicial de recuperação, e o terceiro foi o estabelecimento inicial da forrageira *Megathyrus maximus* cv. Mombaça em remanescente de mineração de bauxita com adubação fosfatada e orgânica.

Para melhor compreensão esta tese foi elaborada em formato de artigos de acordo com o mencionado no parágrafo anterior.

⁴ ALONSO, R.A.; da COSTA, L.V.C. Caracteres agrônômicos de *B. brizanthacv. Xaraés* (MG5), sob diferentes doses de biofertilizante de dejetos de bovino leiteiro. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v. 11 (4): 400 -411, 2017.

2 ARTIGO 1 – PRODUÇÃO E APLICABILIDADE DE FERTILIZANTE ORGÂNICO A PARTIR DE RESÍDUO DO PROCESSAMENTO DE COGUMELO SHIMEJI

RESUMO

Este trabalho descreve o tratamento de um resíduo do processamento do cogumelo *shimeji*, utilizando a técnica de vermicompostagem, transformando-o em fertilizante orgânico para posterior análise de seu potencial de utilização, para o suprimento das demandas nutricionais na cultura cafeeira. O fertilizante orgânico produzido apresentou as seguintes concentrações em g/kg, respectivamente para os nutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S (15,5; 3,5; 2,7; 54,5; 8,4; 2,5), enquanto que as concentrações dos micronutrientes, em mg/kg, foram respectivamente: Zn, Fe, Mn, Cu e B (210,0; 2369,0; 613,0; 52,0; 31,8). Comparando-se com os suprimentos em nutrientes atendidos pela adubação convencional para a cultura do café em propriedade avaliada no município de Ouro Fino-MG, com os suprimentos atendidos pelo vermicomposto produzido, constatou-se que este poderá substituir esta adubação convencional por completo, para os nutrientes fósforo, nitrogênio e micronutrientes, além de parte do potássio para a produtividade esperada nesta propriedade e no respectivo ciclo.

Palavras-chave: Composto Orgânico. Húmus. Vermicomposto. Recuperação de Área Degradada. Adubação.

PRODUCTION AND APPLICABILITY OF ORGANIC FERTILIZER FROM RESIDUE FROM SHIMEJI MUSHROOM PROCESSING ABSTRACT

This work describes the treatment of residue from the processing of shimeji mushrooms, using the vermicomposting technique, transforming it into organic fertilizer for further analysis of its potential use to meet the nutritional demands of coffee crops. The organic fertilizer produced presented the following concentrations in g/kg, respectively for nutrients: N, P, K, Ca, Mg and S (15.5; 3.5; 2.7; 54.5; 8.4; 2.5), while the concentrations of micronutrients, in mg/kg, were respectively: Zn, Fe, Mn, Cu and B (210.0; 2369.0; 613.0; 52.0; 31.8). Comparing with the nutrient supplies met by conventional fertilization for coffee cultivation on a property evaluated in the municipality of Ouro Fino-MG, with the supplies met by the vermicompost produced, it was found that this could replace this conventional fertilization completely, to the phosphorus, nitrogen and micronutrients, in addition to the potassium for the expected productivity on this property and in the respective cycle.

Keywords: Organic Compost. Humus. Vermicompost. Recovery of Degraded Areas. Fertilization.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os resíduos sólidos, atualmente, consistem em um dos principais problemas ambientais enfrentados pela sociedade, isso se deve, sobretudo, ao elevado crescimento demográfico mundial, que vem aumentando desde 1950, onde a previsão é a de que cheguemos a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, implicando em aumento crescente do consumo dos recursos naturais para manutenção da vida da população (ONU, 2019).

No estado de São Paulo estimam-se que se produza 40 mil toneladas de resíduos sólidos domiciliares por dia. Em relação aos resíduos industriais foi feito um amplo levantamento no ano de 1996, em que já nessa época gerava-se por ano mais de 500 mil toneladas de resíduos sólidos perigosos, cerca de 20 milhões de toneladas de resíduos sólidos não inertes e não perigosos, e acima de um milhão de toneladas de resíduos inertes (CETESB, 2020).

O Ministério do Meio Ambiente estimou que, em 2012, coletou-se por volta de 64 milhões de toneladas de resíduos sólidos nas cidades, estimativa com base em dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, (SNIS), publicados em 2014, cuja coordenação é do Ministério das Cidades (MMA, 2012).

Neste contexto o setor agroindustrial também é um gerador importante de resíduos sólidos, pois se divide em muitos segmentos, áreas, produtos e serviços diversos. A partir de 2005 houve um crescimento expressivo de um novo setor agroindustrial, o da fungicultura, que no mundo movimentou em torno de US\$ 35 bilhões em 2017 (Correio Braziliense, 2018). Em São Paulo estima-se uma produção mensal na ordem de 1.062.008 kg de cogumelos frescos (Gomes *et al.*, 2016).

Contudo na produção de cada quilo de cogumelo fresco gera-se de 5 a 10 quilo de resíduo sólido (Fonseca *et al.*, 2017). Estes resíduos gerados pelo setor da fungicultura, tem alta carga orgânica, constituída de celulose, hemicelulose e lignina. Componentes esses resistentes à degradação biológica sendo responsáveis por graves problemas de poluição ambiental, devido a fatores como o manejo inadequado, descarte indevido ou a reciclagem incompleta (Maziero, 1990; apud Korahi, 2000).

Uma área em evidência nos dias atuais é a vermicompostagem, que se trata da adição de minhocas aos resíduos ricos em matéria orgânica, que por sua vez convertem esse material em fertilizante orgânico. Um aspecto diferencial e positivo deste processo, é a geração de diversos metabólitos no trato digestivo desses vermes que por sua vez agem benéficamente para o crescimento das plantas, sendo a proporção de conversão da ordem de 60% em massa de húmus (EMBRAPA, 2008).

Levando em consideração o grande volume de resíduos sólidos produzidos pela fungicultura e que grande parte desse volume é produzido por pequenos produtores que não têm uma estrutura socioeconômica condizente para tratar ou destinar corretamente o resíduo sólido produzido, esse trabalho objetivou analisar aspectos da produção e da aplicabilidade de um fertilizante orgânico utilizando a vermicompostagem a partir do resíduo da agroindústria do cogumelo comestível, na perspectiva de gerar informações quanto aos possíveis ganhos socioeconômicos e ambientais, sobretudo para o produtor rural.

Especificamente os objetivos específicos foram: I – Tratar esse resíduo, impactando positivamente no ambiente, reduzindo o descarte inadequado do resíduo da fungicultura; II – Produzir um fertilizante orgânico de baixo custo utilizando a técnica de vermicompostagem; III – Analisar a possível substituição de adubação convencional do cafeeiro utilizando o vermicomposto produzido.

6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Resíduos sólidos

Os significativos avanços no desempenho do agronegócio implicaram no aumento do consumo de insumos e da geração de resíduos nas atividades agropecuária e agroindustrial. A pesquisa científica aponta, a partir da década de 1980, para o agravamento de problemas ambientais globais, como a destruição da camada de ozônio, o efeito estufa e o comprometimento da biodiversidade, além dos impactos locais provenientes da geração de resíduos líquidos e sólidos. Esses problemas demandaram a rediscussão do modelo de desenvolvimento que se mostrava limitado por seus efeitos sobre a sustentabilidade (MMA, 2000).

A geração de resíduos está associada ao desperdício no uso de insumos, às perdas entre a produção e o consumo, e aos materiais que, gerados ao longo da cadeia agroindustrial, não possuem valor econômico evidente. Estima-se que, em média, de 20% a 30% da safra de grãos, de frutas e de hortaliças colhidas no Brasil sejam desperdiçados no caminho entre a lavoura e o consumidor. Os dados sobre o tipo e volume de resíduos gerados no agronegócio mundial sem valor agregado são escassos (Banco de alimentos, 2018).

Atenção especial tem sido voltada à minimização ou reuso de resíduos e ao estabelecimento de novos usos de produtos e subprodutos agropecuários em substituição aos recursos não renováveis (Leistritz *et al.*, 2007).

A geração de resíduos sólidos ou líquidos pela agroindústria que geralmente não são aproveitados é decorrente da falta de desenvolvimento de técnicas e/ou processos para a obtenção de coprodutos com valor agregado (Siqueira; Ferreira, 2010). Neste contexto, quando não são devidamente tratados geram passivos ambientais levando a gastos financeiros significativos para a eliminação dos mesmos. Sendo que pesquisas na direção da aplicação de alternativas biotecnológicas representam formas eficientes e adequadas para a destinação sustentável de resíduos, vislumbrando a geração de novos produtos com valor agregado (Virmond *et al.*, 2013; Pirota *et al.*, 2015).

Produção de resíduo sólido na agroindústria do cogumelo comestível

No Brasil, atualmente, os principais produtores estão nos Estados de São Paulo (Mogi das Cruzes, Pinhalzinho, Ibiúna, Sorocaba, Salto, Cabreúva, Jujutiba e Valinhos) e no Paraná (Castro, Tijuca do Sul e Curitiba). Além destes, também se tem registro de cultivos em Minas Gerais, Rio de Janeiro, sul da Bahia, Pernambuco, Brasília e no Rio Grande do Sul (ANPC, 2020).

O maior polo produtor, portanto, se encontra no Estado de São Paulo onde foram contabilizados 505 produtores em 93 municípios e uma produção estimada mensal de 1.062.008 kg de cogumelos por mês, gerando uma receita na ordem de R\$ 21.240.017,00, no censo realizado em 2016 (Gomes *et al.*, 2016). Neste contexto, somente o estado de São Paulo produz de 5 a 10 mil toneladas por mês de resíduo sólido da agroindústria de fungicultura, um número considerável que aponta para a necessidade de soluções técnicas sobre este passivo.

A crescente geração de resíduos ocorre exatamente numa conjuntura de crescimento substancial do setor no Brasil, tanto em produção quanto consumo. Fato explicado pelo processo de globalização que diversifica os contatos interculturais, possibilitando o surgimento de novos hábitos culinários, bem como alimentando uma crescente busca por alimentos mais saudáveis e funcionais (Martínez-Ibarra, 2019).

Produção de fertilizante orgânico a partir de resíduos sólidos

No ciclo dos nutrientes, as plantas têm papel importante, pois absorvem os nutrientes pela raiz, completam seu ciclo biogeoquímico, geram frutos, morrem e são degradadas pelos decompositores, sendo esses os atores principais na mineralização dos nutrientes que retorna para o ciclo da vida vegetal e animal (EMBRAPA, 2008).

Dentre as alternativas para o correto tratamento dos resíduos sólidos urbanos, sobretudo a fração orgânica que corresponde a mais de 50% do total gerado, tem-se a compostagem que é o processo biológico de valorização da matéria orgânica, seja essa de origem urbana, doméstica, agrícola ou florestal, e pode ser considerada como um tipo de reciclagem do resíduo orgânico. O produto gerado a partir desse processo de degradação recebe o nome de adubo orgânico, que é um material estável, rico em substâncias húmicas e nutrientes minerais, que pode ser utilizado em hortas, jardins e para fins agrícolas, como adubo orgânico, devolvendo à terra os nutrientes de que necessita, evitando e/ou minimizando o uso de fertilizantes sintéticos (Ferreira, 2017).

Devido a grande variedade de resíduos agroindustriais, sua utilização como matérias-primas alternativas ao esterco animal na composição do vermicomposto deve ser estudado, pois apresentam grandes especificidades, principalmente os de origem vegetal (Cunha *et al.*, 2014). Resíduos agroindustriais são potencialmente utilizáveis e abundantes, com o benefício adicional de proporcionar reversão do seu impacto ambiental negativo desde que a destinação seja feita de forma adequada (Bassaco *et al.*, 2015).

Conforme Ferreira (2017) há dois tipos de compostagem: a vermicompostagem e a compostagem seca, sendo que no primeiro modo, o processo é realizado por meio da ação de minhocas e no segundo somente a partir dos microrganismos presentes, que fazem a decomposição sem nenhum auxílio externo. A principal diferença entre os dois tipos, está no tempo de decomposição, onde o processo que conta com o uso de minhocas é mais rápido.

A inoculação de minhocas nos resíduos orgânicos (vermicompostagem) consiste da adição de minhocas aos resíduos ricos em matéria orgânica, que por sua vez converte esse material em fertilizante orgânico. Um fator positivo é a geração de diversos metabólitos no trato digestivo desses vermes que agem benéficamente nas plantas, e a proporção de conversão chega a 60% em massa de húmus (EMBRAPA, 2008).

O processo apresenta ainda a vantagem da neutralidade no aspecto ácido base, uma vez que as minhocas possuem glândulas calcíferas, facilitando a correção do pH do substrato final (Longo, 1992). Ainda como vantagem, a vermicompostagem dispensa o revolvimento do material orgânico, função esta desempenhada pelas próprias minhocas (Aquino; Almeida; Silva, 1992).

Deve-se salientar que a matéria orgânica, em seu aspecto amplo, melhora as propriedades físicas, físico-químicas, químicas e biológicas do solo, que influenciarão de forma direta ou indireta em sua fertilidade (Malavolta, 2006). Exemplificando este contexto, Fernandes (2013) utilizando palha de café em doses crescentes como adubação orgânica

concluiu que é viável a utilização da palha de café como fonte de N, P, K e S com consequente redução desses nutrientes na adubação mineral do cafeeiro, o que permitiu aumentos de produtividade de até 25%.

Características físico-químicas de fertilizantes orgânicos a partir de vermicompostagem

Os benefícios da utilização do vermicomposto são variados, de acordo com Soares *et al.* (2004) *apud* Pereira *et al.* (2005), destacaram que, em geral, um vermicomposto é rico em matéria orgânica, modifica e reconstitui propriedades físicas e biológicas do solo, age como um fertilizante orgânico clássico, neutraliza o pH do solo, e ainda eleva a concentração de nutrientes que pode promover aumento de resistência das plantas contra pragas e doenças. Bidone (2001) destacou que o vermicomposto pode ser utilizado em qualquer tipo de cultura agrícola, merecendo destaque seu potencial de elevar a capacidade de troca de cátions no solo, além do efeito quelante exercido pelo material humificado, benefícios marcantes que potencializam a sua utilização como fertilizante.

Alguns trabalhos de caracterização química de húmus de minhoca produzidos de diferentes matrizes, e algumas de suas respostas em sobre certas culturas são apresentados a seguir.

Lima *et al.* (2017) em seu trabalho de produção de mudas de aroeira-do-sertão utilizaram húmus de minhoca (40% de umidade; matéria orgânica 97,8 g/Kg; CTC 17,8; CTC_k 0,9; C/N=10,0; pH=6,5) e concluíram que a proporção de 33% de húmus na constituição do substrato de plantio foi eficiente em comparação com outros substratos utilizados.

Souza (2016) utilizou húmus de minhoca em formulações com solo para plantio de cebolinha (*Allium fistulosum* L.), e verificaram-se que a utilização de húmus se destacou no crescimento do sistema radicular e diâmetro das mudas, além de que baixos percentuais de húmus já foram suficientes para manter o crescimento da espécie.

Oliveira *et al.* (2001) avaliaram o efeito de doses de húmus de minhoca (0, 15, 20, 25 e 30 t/ha), na presença e ausência de adubo mineral, sobre a produção de raízes de cenoura, cultivar Brasília Nova Seleção, e destacaram que as produções de raízes aumentaram linearmente com as doses de húmus aplicadas.

Nascimento *et al.* (2015), indicaram que na proporção de 1x1 de palha de café e esterco bovino, a utilização do vermicomposto como fonte de K pode ser vantajosa, pois permite que este seja mais prontamente disponibilizado ao solo e às plantas do que seu fornecimento direto como palha de café, a qual demandaria um período de tempo longo para liberá-lo.

Para melhor entendimento uma revisão dos últimos trabalhos sobre vermicompostagem é apresentado na Tabela 1:

Tabela 1: Resultados a partir de diferentes autores pesquisados, quanto a valores de pH, P e K de vermicompostos produzidos por diferentes matrizes.

Parâmetro				
Autor	Matriz	pH	P (g/Kg)	K (g/kg)
Oliveira <i>et al.</i> (2001)	Esterco bovino	-	3,000	2,500
Silva <i>et al.</i> (2002)	Lodo esgoto urbano + Bagaço de cana-de-açúcar (1x0,8)	6,50	15,600	21,000
Rodrigues <i>et al.</i> (2003)	Esterco bovino		9,600	5,200
Loh <i>et al.</i> (2005)	Esterco bovino + esterco caprino	6,80	3,400	3,000
Gupta, R., Garg, V.K. (2008)	Lodo de esgoto primário + esterco bovino (1x1)	8,00	8,500	6,520
Oliveira (2010)	Esterco bovino + Bagaço de cana-de-açúcar (1x1)	6,70	2,900	13,800
Garg, V. K.; Yadav, A. (2011)	Esterco bovino + erva invasora <i>Parthenium hysterophorus</i> (1x1)	6,90	8,100	7,250
Garg, V. K.; Yadav, A. (2012)	Esterco bovino	6,50	9,500	11,300
Nascimento <i>et al.</i> (2015)	Esterco bovino + palha de café (1x1)	-	3,300	20,700
BHAT, S.A., SINGH, J., VIG, A.P. (2017)	Esterco bovino	7,12	10,800	19,600
Khatua <i>et al.</i> (2018)	Caule de bananeira + esterco de bovino (1x1)	7,6	5,230	12,450
Karmegam (2019)	Lodo fábrica de papel + esterco bovino (1x1)	7,56	3,650	4,840
Srivastana <i>et al.</i> (2021)	Resíduo sólido urbano + esterco bovino	7,25	14,440	16,170

Fonte: Elaborado pelos autores (2023). Legenda: pH = Potencial Hidrogeniônico, P = Fósforo, K = Potássio.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em duas etapas. A primeira consistiu na produção de fertilizante orgânico a partir de resíduo da agroindústria do cogumelo comestível utilizando a técnica de vermicompostagem e análise da sua composição química; a segunda etapa consistiu no levantamento de parâmetros técnicos para a recomendação deste fertilizante orgânico para a cultura do café em substituição do adubo convencional.

Produção de fertilizante orgânico a partir de resíduos

Foi produzido um lote de fertilizante orgânico utilizando 450 kg de resíduo de cogumelo *Shimeji* (adquirido de um produtor da cidade de Ouro Fino-MG) e 4,5 kg de minhoca, ou seja, 1 % em massa de minhoca (Ricci, 1996, pag.16). A espécie da minhoca utilizada foi a *Eisenia fétida* (Savigny, 1826) uma Oligochaetas-Lumbricidae, também conhecida como vermelha da Califórnia, ou minhoca europeia do esterco, coletada no setor de cunicultura do IFSULDEMINAS campus Inconfidentes-MG.

Esta etapa de produção do fertilizante orgânico foi conduzida no setor de vermicompostagem do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes, MG, local este coberto, fresco e sombreado, composto de quatro estruturas de alvenaria em forma retangular (tipo coxo bovino) de oito metros de comprimento, 0,5 metros largura e 0,40 metros de altura. O resíduo da produção do cogumelo *shiméji* é composto por capim *brachiaria* e bagaço de cana. O resíduo foi distribuído neste coxo de forma homogênea e linear, inoculando-se as minhocas em intervalos de espaço de forma a distribuir homogeneamente no resíduo.

O processo foi realizado em um período de 6 meses, a umidade foi mantida em torno de 70%, como indicado para vermicompostagem. Ao final do processo de produção, o material foi peneirado e levado para análise química. O fertilizante orgânico produzido foi analisado no laboratório de fertilidade do solo do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes, MG, seguindo metodologia oficial (EMBRAPA, 2009).

Caracterização da propriedade rural avaliada

A propriedade pesquisada localiza-se na rodovia MG-459 entre os municípios de Ouro Fino-MG e Monte Sião-MG, próximo à divisa com o estado de São Paulo.

A propriedade tem 2,9 hectares de área, e conta com uma infraestrutura de produção e processamento de cogumelos comestíveis e também de café tipo arábica. A estrutura de produção de cogumelos é constituída de: 7 estufas de 200 m², 2 galpões de 200 m² para armazenamento de matéria prima, 1 galpão de 200 m² para processamento de matéria prima com uma câmara de pasteurização do substrato, para uso na produção, também tem uma sala de processamento e embalagem do produto acabado com câmara fria totalizando 50 m².

A capacidade máxima de produção instalada é de 200 kg por dia (6.000 kg/mês), mas na época da pesquisa a produção média era de 3.000 kg/mês, gerando em torno de 20.000 kg de resíduo/mês.

Em relação ao café, a produção estimada para ano agrícola 2022/2023 no sistema safra zero foi de 80 sacas beneficiadas, nesta área, com o atual plantel 3.000 plantas do cultivar catuaí amarelo, a análise de solo 2022, apresentou os seguintes valores de referência para cálculo do adubo convencional a ser utilizado de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2: Análise de solo de área de cultivo de café no sítio Bentevi, município de Ouro Fino-MG, no ano de 2022.

Parâmetros	Amostra
	P ₁ (0-20 cm)
pH em H ₂ O	5,40
P mg/dm ³	18,0
K mg/dm ³	183,7
Ca cmol/ dm ³	4,0
Mg cmol/ dm ³	0,60
Al cmol/ dm ³	0,00
V%	55,68
MO dag/kg	3,02
Prem ppm	28,90
Zn mg/dm ³	9,9
Fe mg/dm ³	159,0
Mn mg /dm ³	14,0
Cu mg /dm ³	0,8
B mg /dm ³	0,5

Fonte: Elaborado pelos autores (2023). Legenda: pH =Potencial Hidrogeniônico, P = Fósforo, K = Potássio, Ca = Cálcio, Mg = Magnésio, Al = Alumínio, V% = Saturação por bases, MO = Matéria Orgânica, Prem = Fósforo remanescente, Zn = Zinco, Fe = Ferro, Mn =Manganês, Cu = Cobre, B =Boro, mg = miligrama, dm³ =decímetro cúbico, cmol = centimol de carga, dag = decagrama, kg = quilograma, ppm= parte por milhão.

A demanda por reposição de nutrientes foi definida com base na análise química do solo, no histórico de produção e sistema de manejo da cultura, uma vez que a mesma é conduzida em sistema de safra zero. Nesse contexto, a produtividade média era superior a 60 sacas por hectare. Em conformidade com a recomendação de Guimarães *et al.* (1999), foram propostas as seguintes quantidades de nutrientes por hectare: 450 kg de nitrogênio (N), 225 kg de potássio (K₂O), 20 kg de fósforo (P₂O₅) e 1 kg de boro (B).

Os fertilizantes convencionais utilizados foram o formulado 20-00-10, Superfosfato Simples (18%), cloreto de potássio (58%), ureia (44%) e ulexita (6%). O cronograma de adubação foi planejado de forma que fosse atendida 100% da demanda de nutrientes, tanto com adubo convencional, como orgânico. Vale ressaltar que com o uso do composto, poderá ser adicionado o adubo químico para atender a demanda, caso não atenda apenas com o vermicomposto.

Foi realizada a cotação na data de novembro de 2023 nas revendas da região onde o valor médio da tonelada de 20-00-10 era de R\$3.180,00; de superfosfato Simples R\$2.350,00; de cloreto de potássio R\$ 2.960,00; ureia R\$ 4.150,00; ulexita R\$ 11.000,00.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fertilizante orgânico produzido

Nos dois primeiros meses, não foram observadas mudanças significativas no conjunto dos seus componentes iniciais (Figura 1^a). A partir do terceiro mês, houve aumento das minhocas e o conjunto começou a modificar, ao apresentar início da degradação (Figura 1b). No quarto mês, observou-se uma quantidade maior de minhocas e a cor do conjunto apresentou-se mais escura (Figura 1c). A partir do quinto mês, ao toque das mãos, o composto apresentou-se com um aspecto de terra vegetal (Figura 1d), diferindo-se do início do processo até estar degradado (Figura 1e). O rendimento total do processo foi 40%, ou seja, o peso total do fertilizante orgânico gerado foi de 180 kg. Após a finalização da degradação o fertilizante orgânico foi peneirado, ensacado e enviado para análise.

Figura 1: Produção do fertilizante orgânico utilizando a vermicompostagem, tendo como matriz básica os resíduos da produção de cogumelos *shimeji*.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Análises físico-química do fertilizante orgânico produzido

O fertilizante orgânico depois de pronto, foi seco, peneirado e analisado, seguindo metodologia oficial e apresentou os valores descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Valores nutricionais do composto orgânico produzido.

Parâmetro	Amostra
	Fertilizante orgânico
pH em H ₂ O	8,27
N g/kg	15,5
P g/kg	3,5
K g/kg	2,7
Ca g/kg	54,5
Mg g/kg	8,4
S g/kg	2,5
Umidade%	36,8
CO g/kg	147,0
C/N	9,5
Zn mg/ Kg	210,0
Fe mg/ Kg	2369,0
Mn mg/ Kg	613,0
Cu mg/ Kg	52,0
B mg/ Kg	31,8

Fonte: Elaborado pelos autores (2023). Legenda: pH = Potencial Hidrogeniônico, N = Nitrogênio, P = Fósforo, K = Potássio, Ca = Cálcio, Mg = Magnésio, S = Enxofre, CO = Carbono Orgânico, C/N = Relação carbono\nitrogênio, Zn = Zinco, Fe = Ferro, Mn = Manganês, Cu = Cobre, B = Boro, g = grama, mg = miligrama, kg = quilograma.

Parâmetro pH

A avaliação do pH final, após processo de produção do fertilizante orgânico, é fundamental uma vez que vai impactar no seu uso. O resultado de 8,27 é um valor acima do pH neutro, que estaria entre 7,1 e 7,9, contudo pode ser usado para qualquer outra cultura como já relatado por Bidone (2001). Esse valor é devido ao processamento das glândulas calcíferas das minhocas como já relatado por Longo (1992).

Silva *et al.* (2002), Loh *et al.* (2005), Oliveira (2010), Garg; Yadav (2011), Garg; Suthar; Yadav (2012), encontraram em compostos orgânicos respectivamente pH=6,50; pH=6,80; pH=6,70; pH=6,90 e pH=6,50; valores estes abaixo do encontrado neste trabalho que foi de pH=8,27, mas partindo de matrizes diferentes, é esperada uma variação deste parâmetro.

Enquanto que valores de pH tidos como neutro (pH=7,0 a 7,9) foram encontrados por Bhat; Singh; Vig (2017) (pH= 7,12), Khatua *et al.* (2018) (pH= 7,6), Karmegam (2019) (pH= 7,56), Srivastava *et al.* (2021) (pH= 7,25), os autores referem-se a esses valores como função da matriz utilizada com a técnica.

Para pH acima de 8,0 Gupta; Garg (2008) encontraram pH=8,0 utilizando esterco bovino e lodo de esgoto matriz diferente da utilizada neste trabalho, que é resíduo do processamento de cogumelo *shimeji*, essa matriz é rica em proteína pois é composto da

colonização do fungo no meio, o que pode ter favorecido a aceleração da produção do fertilizante orgânico.

Parâmetro P (Fósforo)

O fósforo está presente na matriz utilizada, por exemplo, em resíduos urbanos onde se tem uma carga maior deste elemento, como visto no trabalho de Silva *et al.* (2002) (16,7 g/Kg), Gupta; Garg (2008) (8,5 g/Kg) e Srivastana *et al.* (2021) (14,44 g/kg) que ao passar pelo processo de vermicompostagem apresentaram valores altos deste elemento.

Ao comparar o presente estudo (P= 3,5 g/Kg) com outros de matrizes semelhantes como Oliveira (2010) (P= 2,9 g/Kg) usando esterco bovino/ bagaço de cana, Nascimento *et al.* (2015) (P= 3,3 g/Kg) usando esterco bovino/ palha de café, e KARMEGAM (2019) (P= 3,65 g/Kg) usando esterco bovino/ lodo fábrica de papel, pode-se inferir que a matriz influencia consideravelmente no resultado final do fertilizante orgânico obtido.

Parâmetro K (Potássio)

Matrizes com teores maiores de potássio também gerou fertilizante orgânico com concentrações maiores deste elemento como SILVA *et al.* (2002) (k= 22,8 g/Kg), Nascimento *et al.* (2015) (k= 20,7 g/Kg), no presente trabalho, por ter uma matriz de baixa a média concentração de potássio, apresentou um valor dentro do esperado de K= 2,7 g/Kg.

Parâmetro N (Nitrogênio)

Em relação ao nitrogênio, trabalhos também têm apontado para uma influência da matriz na constituição final do fertilizante orgânico como Silva *et al.* (2002) (N = 16,4 g/Kg), Oliveira (2010) (N = 18,7 g/Kg), Garg e Yaday (2011) (16,3 g/Kg), Karmegam (2019) (N = 19,83 g/Kg) todos utilizando uma fonte de celulose em sua matriz, assim como do presente estudo, que partindo-se de capim/bagaço de cana e obteve-se o valor de nitrogênio de 15,5 g/Kg, bem semelhante aos citados.

Análise da substituição do adubo convencional pelo fertilizante orgânico produzido

Levando-se em consideração as informações passadas pelo produtor em relação a área de plantio de café tipo arábica, número de plantas, produtividade esperada e análise de solo

vigente, para atender a demanda nutricional da planta em N e K, estimou-se a necessidade de aplicação da dose de 2.250 kg de 20-00-10 ha⁻¹, sendo esta dose parcelada em 4 aplicações. Para os demais, 111,11 kg de Superfosfato Simples ha⁻¹ e 16,66 kg de Ulexita ha⁻¹. Dessa forma, o custo por hectare no ano safra seria de R\$7.599,37, custo esse pesquisado em cooperativas da região.

Para adubação orgânica, definiu-se como base o nitrogênio, e assim a quantidade para atender 100% da demanda foi estimada em 29.032,56 kg ha⁻¹ que, dessa forma, também forneceria 101,61 kg de P, 78,38 kg de K, 0,92 kg de B. Assim, o único nutriente que não seria atendido em sua totalidade seria o potássio, necessitando de uma adubação complementar de 225,13 kg de cloreto de potássio ha⁻¹, resultando em um custo de R\$ 666,38. A economia gerada seria de R\$ 6.932,98 caso o produtor optasse por utilizar este fertilizante orgânico.

Outro aspecto a ser considerado seria a logística de aplicação desse insumo, pois dividindo-se 29 toneladas em 4 adubações, daria 7.258 kg por adubação, e dividindo-se cada adubação pelo número de plantas da área, daria 2,419 kg de adubo por planta, um valor plenamente possível de se manejar e usar no dia a dia da propriedade.

Salienta-se que o produtor tem capacidade atual de produzir 8 toneladas mês (96 toneladas ano) desse fertilizante, uma vez que só usaria 29 toneladas, restariam ainda 67 toneladas, que poderiam ser comercializadas, gerando um ganho adicional para o produtor. Em consulta ao site de vendas *online* de produtos agropecuários Mfrural, na cidade de Ouro Preto-MG a tonelada desse material estava sendo vendida a R\$489,90, ou seja, esse produtor tem o potencial de comercializar o excedente e obter como receita anual adicional R\$32.823,30.

5. CONCLUSÕES

Foi possível tratar o resíduo da produção do cogumelo *shimeji*, utilizando a técnica de vermicompostagem, produzindo um fertilizante orgânico, reduzindo o descarte inadequado desse resíduo, impactando positivamente no meio ambiente.

Analisando as concentrações dos elementos presentes no fertilizante orgânico, com a demanda da cultura cafeeira da área em estudo, é possível afirmar que o fertilizante orgânico produzido poderá substituir a adubação dos nutrientes fósforo, nitrogênio e micronutrientes por completo, e ainda parte da demanda por potássio para o ciclo e produtividade esperada nessa área.

A utilização de somente o resíduo do resíduo da produção do cogumelo *shimeji* e minhocas foi suficiente para completar a vermicompostagem, fato não verificado em trabalhos acadêmicos pesquisados.

6. REFERÊNCIAS

Aquino, A.M.; Almeida, D.L.; Silva, V.F. Utilização de minhocas na estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa Biológica do Solo, 1992. (Comunicado Técnico, 8).

Associação Nacional dos Produtores de Cogumelos. Setor de cogumelos, 2020. Disponível em: <https://www.anpccogumelos.org/cogumelos>. Acesso em: 29 de janeiro de 2020.

Banco de Alimentos. Desperdício de Alimentos. Relatório Anual 2018. Disponível em: https://www.bancodealimentos.org.br/wp-content/uploads/2019/04/0326-relatorio-oba-2018_textorevisado_design_fim-quad_20190416.pdf. Acesso em: 29 de janeiro de 2021.

Bassaco, A. C. Caracterização química de resíduos de origem animal e comportamento de Eisenia Andrei. Ciência e Natura, Santa Maria, v.37 n.1, p. 45 – 51, 2015.

Bhat, S.A., Singh, J., Vig, A.P., 2017. Instrumental characterization of organic wastes for evaluation of vermicompost maturity. Journal of Analytic.

Bidone, F. R. A. Resíduos Sólidos provenientes de coletas especiais: reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RIMA, 2001. 240p.

Cetesb- Companhia ambiental do estado de São Paulo. Resíduos Sólidos, 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/>. Acesso em: 28 de janeiro de 2020.

Correio Braziliense, Agronegócio: Consumo e produção de cogumelos cresce no Brasil, 2018. Disponível em: https://www.correio braziliense.com.br/app/noticia/economia/2018/01/29/internas_economia,656318/consumo-e-producao-de-cogumelos-no-brasil.shtml. Acesso em: 29 de janeiro de 2020.

Cunha, C. Substratos alternativos para produção de mudas de alface e couve em sistema orgânico. Scientia Plena, Aracaju, v. 10, n. 11, p. 1-9, 2014.

Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. – 2. Ed. Rev. Ampl. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/256766/manual-de-analises-quimicas-de-solos-plantas-e-fertilizantes>. Acesso em: 20 de março de 2022.

Embrapa, Produção de húmus de minhoca com resíduos orgânicos domiciliares, 2008. Documento 126. Acesso: 29/05/2020. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2008/Doc-126.pdf. Acesso em 29 de maio de 2020.

Embrapa, Produção de húmus de minhoca com resíduos orgânicos domiciliares, 2008. Documento 126. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2008/Doc-126.pdf. Acesso em: 29 de maio de 2020.

Fernandes, A.L.T.; Santiago, F.; Ferreira, R.T.; Santiago, Redução da adubação mineral do cafeeiro arábica com a utilização de palha de café. R. Coffee Science, Lavras, v. 8, n. 3, p. 324-336, jul./set. 2013.

Ferreira, R.G., Propriedades físico-químicas de húmus comercial e de húmus doméstico obtidos por vermicompostagem e de solo. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá-MT. Orientadora Prof^a. Dr^a. Walcylene L. M. Pereira Scaramuzza.

Fonseca, L.S., Araújo, A. N. F., Machado, A. E. V., Siqueira, F. G. de, Lemos, M., Mendonça, S. Caracterização química do resíduo pós cultivo de cogumelos destoxicantes em torta de algodão. ENCONTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA AGROENERGIA, 4.2017, Brasília, DF. Anais... Brasília, DF: Embrapa, 2017.

Garg, V. K.; Yaday, A. Management of food industry waste employing vermicomposting technology. Bioresource Technology, 2012-12, Vol.126, p.437-443.

Garg, V. K.; Yaday, A. Vermicomposting: an effective tool for the management of invasive weed *Parthenium hysterophorus*. Bioresource Technology, Oxon, v. 102, n. 10, p. 5891-5895, 2011.

Gomes, D.; Akamatsu, I.; Souza, E.; Figueiredo, G. J. B. Censo paulista de produção de cogumelos comestíveis e medicinais. Pesquisa & Tecnologia, v. 13, n. 1, p. 1-6, 2016.

Guimarães, P.T.G.; Garcia, A.W.R.; Alvarez V., V.H.; Prezotti, L.C.; Viana, A.S.; Miguel, A.E.; Malavolta, E.; Corrêa, J.B.; Lopes, A.S.; Nogueira, F.D.; Monteiro, A.V.C. Cafeeiro. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5^a aproximação, 1999.

Gupta, R.; Garg, V.K. Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting. Journal of hazardous materials, 2008, Vol.153 (3), p.1023-1030.

Karmegam, N., Vijayan, P., Prakash, M., Paul, J.A.J., 2019. Vermicomposting of paper industry sludge with cowdung and green manure plants using *Eisenia* *étida*: a viable option for cleaner and enriched vermicompost production. J. Clean. Prod. 228, 718–728. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.313>. Acesso em: 29 de maio de 2020.

Khatua, C., Sengupta, S., Balla, V.K., Kundu, B., Chakraborti, A., Tripathi, S., 2018. Dynamics of organic matter decomposition during vermicomposting of banana stem waste using *Eisenia* *étida*. Waste Manag. 79, 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.043>. Acesso em: 29 de maio de 2020

Korahi, E. K, Produção do cogumelo comestível *Pleurotus ostreatus* em resíduos lignocelulósicos e avaliação das características do substrato exaurido visando sua utilização como fertilizante orgânico. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em agronomia, Universidade Federal do Paraná, 2000.Khatua

Leistritz, F. L.; Hodur, N. M.; Senechal, D. M.; Stowers, M. D.; Mccalla, D.; Saffron, C. M. Biorefineries Using Agricultural Residue Feedstock in the Great Plains, 2007. Disponível em: <https://ageconsearch.umn.edu/record/7323?ln=en>. Acesso em: 29 de janeiro de 2020.

Lima, L.K.S; Moura, M.C.F.; Santos, C.C.; Nascimento, K.P.C.; Dutra, A.S. Produção de mudas de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) em resíduos orgânicos. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 64, n.1, p. 001-011, jan/fev, 2017.

Loh, T.C; Lee, Y.C; Liang, J.B; Tan, D. Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia fétida* and their growth and reproduction performance. *Bioresource technology*, 2005, Vol.96 (1), p.111-114.

Longo, A.D. Minhoca – De Fertilizadora do solo à fonte alimentar. 2. Ed. São Paulo: Ícone, 1992. P. 46.

Malavolta, E. Manual de nutrição de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

Martinez, I.E.; Gomez, M.B.M.; Armesto, L.X.A. Climatic and Socioeconomic Aspects of Mushrooms: The Case of Spain. Barcelona: Espanha, 2019

Maziero, R. Substratos alternativos para o cultivo de *Pleurotus* spp. São Paulo, 1990. 136p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas na Área de Botânica) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Agricultura Sustentável. Brasília: MMA, 2000, 57p.

Ministério do Meio Ambiente, Quanto lixo é produzido no Brasil, 2012. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/component/fsf/?view=faq&catid=11&faqid=264>. Acesso em: 29 de janeiro de 2020.

Nascimento, A.F. Pires, F.R. Czepak, M.P. Fernandes, A.A. Rodrigues, J.O. Caracterização de vermicomposto produzido com palha de café e esterco bovino. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 1 – 9, ISSN 1983-2125 (online), 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/Master/Downloads/3633-Artigo%20de%20submiss%C3%A3o-19797-1-10-20151118.pdf>. Acesso 06 de setembro de 2021.

Oliveira, A.P.; Espinola, J.E.F.; Araujo, J.S.; Costa, C.C. Produção de raízes de cenoura cultivadas com húmus de minhoca e adubo mineral. *Hortic. Bras.* 19 (1) • Mar 2001 • <https://doi.org/10.1590/S0102-05362001000100016>. Acesso 06 de setembro de 2021.

Oliveira, J.N. Compostagem e vermicompostagem de bagaço de cana-de-açúcar da produção de cachaça de alambique, Salinas, MG. Ilhéus, BA. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. 2010.

Onu – Organização das Nações Unidas. Podemos alimentar o mundo e garantir que ninguém passa fome? Disponível em: <https://unric.org/pt/podemos-alimentar-o-mundo-e-garantir-que-ninguem-passa-fome/>. Acesso em: 28 de janeiro de 2020.

Pereira, E. W. L. Azevedo, C.M.S.B. Filho, J.L. Nunes, G.H.S.Torquato, J.E. Simões, B.R. Produção de Vermicomposto em Diferentes Proporções de Esterco Bovino e Palha de Carnaúba. Revista CAATINGA, Mossoró-RN, v.18, n.2, p.112-116, abr./jun. 2005 Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237121137008>. Acesso em: 06 de setembro de 2021.

Pirola, R. D. P. B.; Tonelotto, M.; Delabona, P. D.; Tremacoldi, C. R.; Farinas, C. S.; Characterization of fungi isolated from the Amazon region for the potential of biomass – degrading enzymes production. Ciência Rural 45: 1606-1612. 2015.

Ricci, M dos S.F. Manual de vermicompostagem. Porto Velho, RO. EMBRAPA- CPAF-Rondônia, pag. 16, 1996.

Rodrigues, V. C.; Theodoro, V. C. A.; Andrade, I. F.; Inácio Neto, A.; Rodrigues, V. N.; Alves, F.V. Produção de minhoca e composição mineral do vermicomposto e das fezes procedentes de bubalinos e bovinos. Ciência Agrotécnica, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1409-1418, nov/dez 2003.

Silva, C.; Costa, L.M.; Matos, A.T.; Cecon, P.R; Silva, D.D. Vermicompostagem de lodo de esgoto urbano e bagaço de cana-de-açúcar. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 487-491, 2002.

Siqueira, F. G.; Ferreira, F. E. X.; Plant cell wall as a substrate for the production of enzymes with industrial applications. Mini-Reviews in Organic Chemistry.7: 54-60. 2010.

Soares, J. P. Souza, J. A.; Cavalheiro, E. T. G. Caracterização de amostras comerciais de vermicomposto de esterco bovino e avaliação da influência do pH e do tempo de adsorção de Co (II), Zn (II) e Cu (II). Química Nova, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 5-9, 2004

Souza, J. L. A. M. Utilização de húmus de minhoca no crescimento de mudas de cebolinha (*Allium fistulosum*, L.). Universidade Federal de Mato Grosso. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Agricultura Tropical e Universidade de Cuiabá, Cuiabá-MT. UNICIÊNCIAS, v. 20, n. 1, p.05-10, 2016.

Srivastava, V.; Squartini, A.; Masi, A.; Sarkar, A.; Singh, R. P. Metabarcoding analysis of the bacterial succession during vermicomposting of municipal solid waste employing the earthworm *Eisenia fetida*. Science of The Total Environment, v. 766, p. 144389, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144389>. Acesso em: 23 de março 2022.

Virmond, E. Rocha J. D.; Moreira, R. F. P. M.; Jose, H. J.; Valorization of Agroindustrial Solid Residues and Residues from Biofuel Production Chains by Thermochemical Conversion: A Review, Citing Brazil as a Case Study. Brazilian Journal of Chemical Engineering 30: 197-229. 2013.

3 ARTIGO 2 - SUBSTRATO REMANESCENTE DE MINERAÇÃO DE BAUXITA: UM DIAGNÓSTICO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS NO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS

RESUMO

Foi realizada coleta de amostras de um substrato remanescente da mineração de bauxita no município de Poços de Caldas-MG. As amostras foram analisadas em seus atributos químicos e físicos, nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm, com o objetivo de descrever a fertilidade do substrato remanescente de uma área recentemente minerada, e com implantação recente de cultura silvipastoril. Nas áreas objeto deste estudo verificou-se: baixos níveis generalizados de fósforo, potássio e micronutrientes, além de altos níveis de argila, tanto superficialmente como em profundidade. Os níveis de fósforo variaram de 0,0 a 4,4 mg/dm³, e potássio de 0,0 a 46,3 mg/dm³, o pH variou de 5,35 a 5,79, alumínio de 0,0 a 0,4 cmol/ dm³, enquanto que o V% (saturação por bases) variou de 16,3 a 40,4%, a matéria orgânica variou de 0,52 a 2,59 dag/kg, o fósforo remanescente de 6,53 a 17,08 ppm, e os micronutrientes zinco, ferro, manganês, cobre e boro variaram (respectivamente) de 1,6 a 2,9 mg/ dm³, 47,7 a 176,5 mg/dm³, 7,6 a 72,1 mg/ dm³, 0,1 a 0,1 mg/dm³, 0,1 a 0,2 mg/dm³. Os teores de argila variaram de 50,5% a 64,7 %, areia de 18,6 a 37,0% e silte de 5,2 a 23,4%. Enquanto que a densidade de solo variou de 1,009 a 1,245 g/cm³, a densidade de partículas variou de 1,961 a 2,410 g/cm³ e a porosidade total variou de 38,534 a 57,507.

Palavras-chave: Limitações Nutricionais; Limitações Físicas; Análise em Profundidade; Mineração de Alumínio.

SUBSTRATE REMAINING FROM BAUXITE MINING: A DIAGNOSIS OF CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES IN THE MUNICIPALITY OF POÇOS DE CALDAS

ABSTRACT

Samples were collected from a substrate remaining from bauxite mining in the municipality of Poços de Caldas-MG. The samples were analyzed for their chemical and physical attributes, at depths of 0-20; 20-40 and 40-60 cm, with the aim of describing the fertility of the remaining substrate of a recently mined area, and with recent implementation of silvopastoral culture. In the areas covered by this study, there were: generalized low levels of phosphorus, potassium and micronutrients, as well as high levels of clay, both superficially and in depth. Phosphorus levels ranged from 0.0 to 4.4 mg/dm³, and potassium from 0.0 to 46.3 mg/ dm³, pH ranged from 5.35 to 5.79, aluminum from 0.0 to 0.4 cmol/ dm³, while the V% (base saturation) varied from 16.3 to 40.4%, the organic matter varied from 0.52 to 2.59 dag/kg, the remaining phosphorus from 6.53 to 17.08 ppm, and the micronutrients zinc, iron, manganese, copper and boron ranged (respectively) from 1.6 to 2.9 mg/ dm³, 47.7 to 176.5 mg/ dm³, 7.6 to 72.1 mg/ dm³, 0.1 to 0.1 mg/ dm³, 0.1 to 0.2 mg/ dm³. Clay contents varied from 50.5% to 64.7%, sand from 18.6 to 37.0% and silt from 5.2 to 23.4%. While soil density ranged from 1.009 to 1.245 g/cm³, particle density ranged from 1.961 to 2.410 g/cm³ and total porosity ranged from 38.534 to 57.507.

Keywords: Recovery of Degraded Areas; Nutritional Limitations; Physical Limitations; Depth Analysis; Bauxite Mining.

1 INTRODUÇÃO

As características químicas e físicas dos solos influenciam algumas propriedades importantes como a retenção de água e a reciclagem de nutrientes, impactando diretamente no desenvolvimento vegetal e assim a produção agrícola em seu contexto amplo (Niero, 2010).

Não só a atuação do ser humano, mas também a ação da natureza pode agir positivamente ou negativamente nos atributos do solo, conforme o uso, bem como a depender de agentes externos, como chuvas intensas, ventos e demais fenômenos extremos (Vries *et al.*, 2013).

Os efeitos da erosão do solo estão relacionados com o tipo de solo e acontece de forma natural, mas intensifica-se pela ação do ser humano, agravando-se em regiões tropicais (Adenosun, 2015).

Uma atividade econômica que promove e propulsiona o desenvolvimento tanto social como econômica é a mineração, tratada no Decreto nº 9.406 de 12 de junho de 2018 (BRASIL, 2018) que regulamentou o Decreto-Lei 227/1967 e institui o Novo Marco Regulatório da Mineração.

A mineração, apesar da sua reconhecida importância econômica, é uma atividade que pode trazer sérias consequências para o ambiente, uma vez que necessitam de grandes escavações, para retirar o minério, gerando resíduos e rejeitos. Neste contexto, o solo superficial mais fértil é retirado, e os substratos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos, devido à remoção da vegetação e da camada superficial, tendo seus atributos químicos, físicos e biológicos alterados significativamente em grau e intensidade diferentes (Fengler *et al.*, 2021 apud Carvalho *et al.* 2022).

A presença de vegetação é fator primordial para manter as propriedades naturais do solo, influenciando propriedades como umidade, textura, estrutura/porosidade (macro e microporosidade), densidade e estabilidade dos agregados (Frota e Nappo, 2012).

A restauração de áreas degradadas por mineradoras, sempre foi um problema conflituoso, mas ao longo do tempo essas empresas têm sofrido forte pressão para recuperar essas áreas com recursos e meios próprios (Milder, Santos e Ruiz, 2013). Esse processo de recuperação deve considerar características os atributos químicos, físicos e biológicos da área, seu histórico, composição vegetal original, tipo de ação antrópica ocorrida, visando as atividades e ações que resultarão na recuperação da mesma.

Assim, o objetivo deste estudo, foi de descrever a fertilidade do substrato remanescente de uma área recentemente minerada, com base em seus atributos químicos e físicos, e discutir esses resultados analíticos visando dar suporte para posterior ação de recuperação dessa área.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Recuperação de solos degradados

O impacto ambiental é derivado da ação humana ou natural e produz como efeito uma redução e ou perda da capacidade de recuperação do solo tanto em termos de qualidade quanto quantidade num determinado espaço de tempo (Sanchez, 2008).

Métodos possíveis de recuperação incluem plantio de leguminosas inoculadas com bactérias que fixam nitrogênio e fungos micorrízicos (Chaer *et al.*, 2011), uma vez que essas espécies tendem a se adaptar rapidamente, cobrindo a área e favorecendo a retomada do processo de sucessão natural (Correia *et al.* 2020).

Para o retorno da normalidade da biodiversidade de um ecossistema é preciso equilíbrio das características químicas, físicas e biológicas do solo, tornando-o autossustentável (Shrestha e Lal, 2010). Para que o ecossistema esteja funcional, deve-se aferir um fator fundamental, os tipos, formas, processos e ciclos dos elementos no paradigma solo-planta, com destaque para o carbono que regula as ciclagens dos demais elementos do solo. Materiais orgânicos são transformados e catalisados por microrganismos do solo, sendo fundamental e essencial na recuperação de solos degradados (Srivastava e Singh, 1991).

Em uma área de mineração de bauxita na Austrália foi realizado um estudo que mostrou perda de 90% do carbono orgânico e nitrogênio total no solo, levando em média 33 anos para se recuperar e igualar patamares de solos vizinhos não minerados (Schwenke, Mulligan e Bell, 2000).

Para isso, podem ser utilizadas técnicas de restauração, tais como o plantio de espécies adaptadas ao local, o desenvolvimento de sistemas agroflorestais, o manejo da cobertura do solo, o uso de aditivos orgânicos, entre outras (Harrison *et al.*, 2003).

Uma das principais formas de restaurar áreas degradadas pela mineração é a reintrodução de matéria orgânica. Esta pode ser reintroduzida através da adição de material orgânico, como composto, húmus, folhas e madeira, além de outras fontes (Kruger e Cornélio, 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de pesquisa

A área de estudo localiza-se na região do Planalto de Poços de Caldas, em propriedade rural na divisa entre os Estados de Minas Gerais e São Paulo. O planalto é composto de formações classificadas como Floresta Semidecidual Alto Montana, com presença de fitossonomias de campos de altitude, prevalecendo clima mesotérmico do tipo Cwb (Meireles, Shepherd e Kinoshita, 2008; Alvares *et al.*, 2014).

A coleta do solo foi realizada através de amostragem utilizando sonda coletora, na profundidade 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, no mês de julho. A área de coleta concentrou-se numa área de aproximadamente 500 m² recentemente minerada, com início de restauração com a cultura do eucalipto recém-implantada, portanto em fase inicial de crescimento, com mudas de aproximadamente 50 cm de altura. Para a coleta de amostras do substrato, a área foi dividida em 3 pontos, e as amostras, posteriormente à coleta, foram identificadas e armazenadas em recipiente plástico, e encaminhadas para o Laboratório de Fertilidade de solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS - Campus Inconfidentes - MG), onde os procedimentos analíticos foram realizados. A avaliação de parâmetros químicos seguiu metodologia da Embrapa (1997).

As análises gravimétricas foram realizadas de acordo método da pipeta (EMBRAPA, 2011) e as medidas de densidade do solo (Ds) foi determinada pelo método do anel volumétrico, densidade de partícula (Dp) foi avaliada pelo método do balão volumétrico, de acordo com o método descrito pela EMBRAPA (2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização química do solo e da área de pesquisa

No ato da coleta, observou-se que havia uniformidade da coloração e aspecto físico das amostras das camadas coletadas, aferindo que mesmo a uma profundidade de 60 cm o remanescente apresentava características similares aos da camada superficial, indicando que a área foi submetida a uma grande recomposição de material remanescente. Os resultados das análises químicas dos solos da área pesquisada são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores de pH, Al, MO, P -Melich, P-rem, K, Ca, Mg e V% do substrato remanescente da mineração de bauxita no município de Poços de Caldas, com a cultura do eucalipto em fase inicial de implantação.

Amostra/ parâmetro	pH em H ₂ O	P mg/dm ³	K mg/dm ³	Ca cmol/ dm ³	Mg cmol/ dm ³	Al cmol/ dm ³	V%	MO dag/kg	Prem ppm
P1(0-20 cm)	5,50	0,3	11,8	2,0	0,21	0,00	40,4	2,59	12,01
P1(20-40cm)	5,76	0,0	0,0	1,4	0,05	0,40	27,6	0,62	9,99
P1(40-60cm)	6,01	0,0	0,0	0,8	0,02	0,40	16,3	0,52	7,24
P2(0-20 cm)	5,61	0,1	46,3	1,6	0,26	0,00	38,3	2,48	13,23
P2(20-40cm)	5,35	0,1	18,6	1,4	0,14	0,10	31,3	0,93	10,08
P2(40-60cm)	5,19	0,0	11,3	1,8	0,19	0,20	36,5	0,62	6,53
P3(0-20 cm)	5,59	4,4	20,6	1,1	0,26	0,00	34,6	1,97	17,08
P3(20-40cm)	5,79	0,3	21,9	1,1	0,19	0,00	32,4	1,86	14,42
P3(40-60cm)	5,72	0,1	21,8	1,1	0,14	0,00	34,7	1,55	15,57

Fonte: *Elaborado pelo autor (2023)*. Legenda: pH=Potencial Hidrogeniônico, P= Fósforo, K= Potássio, Ca= Cálcio, Mg= Magnésio, Al= Alumínio, V%= Saturação por bases, MO= Matéria Orgânica, Prem= Fósforo remanescente, mg= miligrama, dm³=decímetro cúbico, cmol= centímol de carga, dag= decagrama, kg= quilo, ppm= parte por milhão.

Os dados revelam que a acidez estava dentro dos padrões, pH em torno de 5,6 e alumínio 0,0 na camada de 0-20 cm, e valores de cálcio entre 1,1 e 2,0 indicando que houve alguma correção antes do plantio do eucalipto.

Carneiro *et al.* (2008) em estudo no município de Poços de Caldas, em área de mineração de bauxita, encontraram valores de pH 4,8 a 5,2; P, 0,1 a 3,0 mg dm⁻³; K, 14 a 60,6 mg dm⁻³; Ca²⁺, 0,4 a 2,4 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺, 0,1 a 2,6 cmol_c dm⁻³, Al³⁺, 0,3 a 5,5 cmol_c dm⁻³; V, 10 a 51 %. Os valores de pH e Al diferem dos dados apresentados neste trabalho, indicando possivelmente mínima correção da acidez. O nutriente cálcio nos dois trabalhos, estavam dentro de um patamar semelhante, enquanto que o nutriente magnésio está diferente, o mesmo ocorrendo com o fósforo e potássio, que em ambos estavam muito baixos, indicando a não ocorrência de correções necessárias para implantação de culturas nessas áreas, comprovado

pela observação do índice V% (saturação por bases) que nos dois trabalhos estavam muito abaixo do indicado pela literatura.

Pereira e Souza (2019), estudando área de mineração de bauxita em Paragominas-PA, descreveram em seu tratamento (plântio de mudas-P09, camada de 0-20 cm) valores de pH (4,62), fósforo (1,14 mg dm⁻³), MO (1,51 dag/kg), V% (7,68), enquanto que na camada de 20-40 cm, valores de pH (4,74), fósforo (0,86 mg dm⁻³), MO (0,68 dag/kg), V% (9,23). Estes dados se diferenciam do presente trabalho sobretudo em relação a acidez. Pereira e Souza (2019) relacionaram as características dos solos amazônicos e da própria matriz remanescente. O fósforo, em ambos os trabalhos, também apresentava valores baixos, e a matéria orgânica na camada de 0-20 cm diferenciam-se, enquanto que na camada de 20-40cm estavam em consonância, evidenciando baixo nível de carbono nas camadas inferiores.

Neto *et al.* (2021) em sua pesquisa no município Paragominas - PA em área de mineração de bauxita (área com 2 anos de restauração natural NR2, camada de 0-20 cm) encontraram os valores: pH (4,56), fósforo (0,82 mg dm⁻³), potássio (11,73 mg dm⁻³), cálcio (0,27 cmol_c dm⁻³), magnésio (0,11 cmol_c dm⁻³), alumínio (0,8 cmol_c dm⁻³), e na camada de 20-40 cm pH (4,52), fósforo (0,55 mg dm⁻³), potássio (11,73 mg dm⁻³), cálcio (0,20 cmol_c dm⁻³), magnésio (0,10 cmol_c dm⁻³), alumínio (0,13 cmol_c dm⁻³), resultados estes mais baixos que os encontrados neste trabalho. Salienta-se que, segundo os autores mencionados, a área em questão é de regeneração natural, ou seja, não foi feita nenhuma ação em termos de alteração de fertilidade e os resultados comprovam esta linha, enquanto que no presente levantamento, os valores são diferentes em termos de acidez do solo, principalmente quando se observa os valores de pH (neutro em quase todos as camadas e pontos), alumínio (0,00 cmol_c dm⁻³) em quase todos os pontos e profundidade. O fósforo e potássio baixo nos dois trabalhos indicam a necessidade de reposição desses nutrientes para que se possa ter resultados em termos de revegetação comercial ou paisagística, principalmente o fósforo para que se possa promover enraizamento satisfatório.

Yada *et al.* (2015) pesquisando uma área de mineração de cassiterita no Estado de Rondônia, em estado de revegetação, apresentaram valor de fósforo (2,67 mg dm⁻³) acima dos encontrados neste trabalho (em relação ao ponto 1 e ponto 2), e de potássio (26,1 mg dm⁻³), acima dos encontrados neste trabalho (em relação ao ponto 1 e ponto 3), porém apresentaram para cálcio (0,30 cmol_c dm⁻³), magnésio (0,27 cmol_c dm⁻³) e pH (5,07) índices menores em relação ao presente trabalho acima dos encontrados neste trabalho (em relação ao ponto 1, 2 e 3). Estes autores atribuíram aos resultados, citando Longo, Ribeiro e Melo, 2005, que diferenças na fertilidade entre solos das áreas degradadas sob recuperação são devidos aos tipos de

cobertura vegetal implantados, às características do remanescente minerado em cada área e à possíveis ações de calagem e adubação de cobertura.

Longo, Ribeiro e Melo, 2005, pesquisando uma área de mineração de cassiterita na cidade de Itapuã d'Oeste-RO (área de piso de lavra, ou seja, com remanescente colocado recentemente), apresentou os seguintes resultados: pH (4,40), fósforo ($1,0 \text{ mg dm}^{-3}$), potássio ($148,4 \text{ mg dm}^{-3}$), cálcio ($4,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), magnésio ($1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), MO ($2,04 \text{ dag/kg}$), V% (28,2). Os autores relataram que esses resultados são inerentes a questão da operação de lavra do minério e características de fertilidade da região amazônica, o pH encontrado foi mais baixo em relação ao presente trabalho, assim como o fósforo, apontando para os aspectos críticos recorrentes para áreas de regeneração/revegetação, tais como a correção da acidez bem como a reposição de fósforo, enquanto que em relação a matéria orgânica ambos os trabalhos refletem que os níveis de carbono pós mineração são baixos. Na tabela 3, foram apresentados os valores de micronutrientes.

Tabela 3: Valores de micronutrientes do substrato remanescente da mineração de bauxita no município de Poços de Caldas, com a cultura do eucalipto em fase inicial de implantação.

Amostra	Parâmetro (mg/dm^3)				
	Zn	Fe	Mn	Cu	B
P1 (0-20 cm)	2,9	176,5	60,2	0,1	0,2
P1 (20-40 cm)	2,0	68,7	16,9	0,1	0,1
P1 (40-60 cm)	1,7	47,7	7,6	0,1	0,0
P2 (0-20 cm)	2,0	68,6	42,3	0,1	0,2
P2 (20-40 cm)	1,7	60,6	33,0	0,1	0,2
P2 (40-60 cm)	1,6	51,6	16,3	0,1	0,1
P3 (0-20 cm)	2,4	82,1	45,5	0,1	0,2
P3 (20-40 cm)	2,3	89,4	72,1	0,1	0,1
P3 (40-60 cm)	2,2	86,1	59,6	0,1	0,2

Fonte: *Elaborado pelo autor* (2023). Legenda: Zn = Zinco, Fe = Ferro, Mn =Manganês, Cu = Cobre, B = Boro.

Os micronutrientes (Tabela 3) Zinco ($\text{Zn}=2,4 \text{ mg dm}^{-3}$), Ferro ($\text{Fe}=109,1 \text{ mg dm}^{-3}$), Manganês ($\text{Mn}=49,3 \text{ mg dm}^{-3}$), na camada de 0-20 cm, apresentaram valores médios altos devidos a características geológica da área em estudo, contudo Boro ($\text{B}=0,2 \text{ mg dm}^{-3}$) e Cobre ($\text{Cu}=0,1 \text{ mg dm}^{-3}$) apresentaram valores baixos. Esses dados indicam limitações em micronutrientes, onde os mesmos deverão ser incluídos nos planejamentos de manejo das adubações, seja em projetos de implantação de culturas agrícolas diversas ou mesmo em programas de revegetação. Outro fator relevante, é que até as camadas mais profundas

apresentaram índices similares, indicando a regularidade do remanescente, necessitando dessa forma de uma intervenção mais assertiva e que impacte também as camadas mais profundas.

Caracterização física do solo

Pela análise física das amostras, enquadraram-se todas em tipo textural 3, grupo argilosa, mesmo nas camadas inferiores (Tabela 4), com pouca variação dos percentuais nas camadas pesquisadas, indicando que até no perfil 0-60 cm encontra-se uma uniformidade em termos físicos, muito possivelmente devido a regularização mecânica característica da prática do topsoil feita com o material remanescente, conforme pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4: Valores de parâmetros físicos do substrato remanescente da mineração de bauxita no município de Poços de Caldas, com a cultura do eucalipto em fase inicial de implantação, sendo areia%, argila%, silte%, tipo e grupo textural.

Amostra	Parâmetro				
	Areia %	Argila%	Silte%	Tipo textural	GRUPO
P1 (0-20 cm)	30,0	64,7	5,3	3	ARGILOSIA
P1 (20-40 cm)	27,3	56,4	16,3	3	ARGILOSIA
P1 (40-60 cm)	18,6	58,0	23,4	3	ARGILOSIA
P2 (0-20 cm)	29,5	57,6	13,0	3	ARGILOSIA
P2 (20-40 cm)	23,9	57,8	18,3	3	ARGILOSIA
P2 (40-60 cm)	26,5	50,5	23,0	3	ARGILOSIA
P3 (0-20 cm)	37,0	57,7	5,2	3	ARGILOSIA
P3 (20-40 cm)	36,3	53,1	10,6	3	ARGILOSIA
P3 (40-60 cm)	34,0	53,2	12,8	3	ARGILOSIA

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O resultado médio na camada de 0-20 cm das porcentagens de areia (32,2%), argila (60,0%) e silte (7,8%) corroboram com os dados apresentados por Carneiro et.al. (2008) (nos parâmetros areia e argila), do município de Poços de Caldas em área de mineração de bauxita, que variaram: areia de 8,0 a 39,0%; argila de 26,0 a 65,0% e silte de 25,0 a 39,0 %, nas amostras coletadas. Já Barros *et al.* (2013) em sua pesquisa no mesmo município encontrou valores de argila entre 53,76% a 56,33% corroborando com os resultados deste trabalho.

Pereira e Souza (2019) em seu trabalho em área de mineração de bauxita em Paragominas - PA no tratamento (plantio de mudas-P09) encontraram os valores de areia 3,85 %, argila 88,80 % e silte 7,35 % na camada de 0-20 cm, enquanto que na camada de 20-40 cm os valores foram areia 4,25 %, argila 86,95 % e silte 8,80 %. Constata-se valores altos de argila na camada superficial, e em profundidade não descreve um padrão de diminuição, confirmando

a característica desse tipo de remanescente, que mesmo estando em áreas diferentes descrevem características físicas semelhantes.

Silva *et al.* (2016) pesquisando características químicas, mineralógicas e físicas de um material acumulado na margem do rio de lama fluído do colapso da barragem de rejeitos de minério de ferro em Bento Rodrigues - MG, encontraram valores de areia (58%), argila (6%) e silte (36%) apesar dos rejeitos serem diferentes em sua constituição, tem-se uma correlação em termos de degradação e regeneração de área, mas com valores diferentes em relação ao presente trabalho. Contudo os autores relacionaram esses atributos à dificuldade de restabelecer a cobertura vegetal nas áreas.

Neto *et al.* (2021) em sua pesquisa no município Paragominas-PA em área de mineração de bauxita (área com 2 anos de restauração natural NR2), encontraram valores de argila (70,0%), valor superior à deste trabalho, mas condizente com área remanescente de mineração de bauxita, indicando similaridade das áreas e melhorias nas intervenções e ações.

Longo, Ribeiro e Melo, 2005 pesquisando uma área de mineração de cassiterita na cidade de Itapuã d'Oeste-RO (área de piso de lavra, ou seja, com remanescente colocado recentemente) encontraram valores de areia (26,08%), argila (58,08%) e silte (14,04%), valores similares aos encontrados no presente levantamento.

Caracterização densimétrica e porosidade

Os resultados das análises densimétricas das amostras coletadas da área pesquisada apresentaram baixa variação entre os pontos estudados e entre os perfis amostrados, mostrando uniformidade da área, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5: Valores de densimetria e porosidade do substrato remanescente da mineração de bauxita no município de Poços de Caldas, com a cultura do eucalipto em fase inicial de implantação, sendo densidade de solo, densidade de partícula e porosidade total.

Amostra	Parâmetro		
	Densidade de solo (g/cm ³)	Densidade de partícula (g/cm ³)	Porosidade Total
P1 (0-20 cm)	1,136	2,151	46,720
P1 (20-40 cm)	1,148	2,151	46,610
P1 (40-60 cm)	1,124	2,151	47,756
P2 (0-20 cm)	1,009	1,981	49,052
P2 (20-40 cm)	1,199	2,198	45,444
P2 (40-60 cm)	1,024	2,410	57,507
P3 (0-20 cm)	1,245	2,174	42,754
P3 (20-40 cm)	1,205	1,961	38,534
P3 (40-60 cm)	1,146	1,981	42,151

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Barros *et al.* (2013) em sua pesquisa no município de Poços de Caldas em área de mineração de bauxita, encontraram valores de densidade de partículas (camada de 10-20 cm) de $2,41 \text{ g/cm}^3$, e densidade de solo e porosidade total na camada de 0-10 cm de $1,33 \text{ g/cm}^3$ e 45,16, respectivamente. Em relação à densidade de partículas, os valores encontrados neste trabalho, estavam abaixo dos encontrados por Barros *et al.* (2013) com exceção do ponto 2, profundidade 20-40 cm que foram iguais. Em relação à densidade do solo, os valores encontrados neste trabalho também foram inferiores, enquanto que os valores de porosidade total foram maiores neste trabalho. A dinâmica decorrente do uso dessas áreas pode impactar diferentemente tais parâmetros, mas os valores de modo geral estão próximos, esses dados são importantes uma vez que refletem a qualidade do solo e influenciam na compactação do substrato, e conseqüentemente no comportamento da raiz, e, assim, no desenvolvimento geral das plantas.

Neto *et al.* (2021) em área com 2 anos de restauração natural, encontraram valores de densidade solo e porosidade total (camada de 0-20 cm) $1,42 \text{ g/cm}^3$ e 46,00, respectivamente. Esses valores são superiores aos do presente estudo, indicando maior compactação, ou diferença na recomposição do remanescente da área de Paragominas -PA, enquanto que a porosidade total nesta camada, para o ponto P1 deste trabalho, ficaram no mesmo patamar mostrando uma similaridade em termos de material analisado. Na profundidade 20-40 cm Neto *et al.* (2021) encontraram valores de densidade solo e porosidade total nos mesmos patamares da camada 0-20 cm mostrando uma uniformidade mesmo em profundidade, o que também ocorreu no presente levantamento.

Longo, Ribeiro e Melo, 2005, pesquisando uma área de mineração de cassiterita na cidade de Itapua d'Oeste-RO (área de piso de lavra, ou seja, com remanescente colocado recentemente) encontraram valores de densidade solo e densidade de partícula $1,47 \text{ g/cm}^3$ e $2,61 \text{ g/cm}^3$, respectivamente, e atribuíram o valor alto de densidade de partícula à compactação de solo nessa área, e a possíveis resíduos de cassiterita no rejeito. Os valores encontrados neste trabalho diferem do trabalho dos autores citados, mas também são altos, a característica da matriz analisada (bauxita) pode estar elevando esse índice, bem como o manejo da área.

5 CONCLUSÕES

Em relação aos parâmetros químicos do substrato remanescente de mineração de bauxita no município de Poços de Caldas, destaca-se os baixos níveis de fósforo, potássio, Cobre e Boro, nutrientes essenciais para o equilíbrio nutricional das plantas no processo de recuperação vegetal da área.

Em relação aos parâmetros físicos, os valores encontrados estão dentro do espectro verificado em outros trabalhos, e salienta-se o aspecto argiloso do substrato remanescente estudado.

Os valores encontrados para as análises densimétricas e de porosidade, não sofrem alteração em profundidade até a camada de 60 cm.

Salienta-se o fato desse remanescente não ser um solo característico, sendo seu estudo mais amplo de relevância para entender os processos de recomposição de área minerada.

6 REFERÊNCIAS

Adesodun, J. K. Carbon-Nitrogen Stocks and Structural Stability of a Tropical Loamy Sand Soil as Influenced By *Thitonia diversifolia* (L.) and other Fertilizers. *International Journal Of Soil Science*, n. 1816-4978, 2015.

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. de M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Barros, D. A. de; Guimrães, J. C. C.; Pereira, J. A. A.; Borges, L. A. C.; Silva, R. A.; Pereira, A. A. S. Characterization of the bauxite mining of the Poços de Caldas alkaline massif and its socio-environmental impacts. *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, v. 65, n. 1, p. 127-133, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672012000100018>

Barros, D. A. de; Pereira, J. A. A.; Ferreira, M.M.; Silva, B.M.; Filho, D.F.; Nascimento, G.O. Soil physical properties of high mountain fields under bauxite mining. *Ciênc. agrotec., Lavras*, v. 37, n. 5, p. 419-426, set./out., 2013

Brasil. Diário Oficial da União. Decreto federal nº 9.406 de 12 de junho de 2018. Publicado em: 13/06/2018. Edição: 112. Seção: 1. Página: 1. Órgão: Atos do Poder Executivo. Institui o Novo Marco Regulatório da Mineração. Brasília: 2018.

Carneiro, M.A.C.; Siqueira, J.O.; Moreira, F.M.S.; Soares, A.L.L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:621-632, 2008.

Carvalho, M.M.; Fengler, F.H.; Filho, A.P.; Longo, R.M.; Ribeiro, A.I. Análise da morfométrica de agregados do solo em áreas mineradas em diferentes estágios de recuperação na Amazônia. *Revista Ciência Florestal*. ISSN 1980-5098. Santa Maria, v. 32, n. 4, p. 2156-2179, out./dez. 2022.

Chaer, G.M.; Resende, A.S.; Campello, E.F.C.; Faria, S.M.; Boddey, R.M. Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. *Tree Physiology* 31, 139–149. 2011 doi:10.1093/treephys/tpq116.

Correia; M. E. F.; Moreira, J. F.; Reis, L. L.; Camilo, F. L.; Rodrigues, K. M.; Campello, E. F. C.; Faria, S. M.; Chaer, G. M.; Resende, A. S. Fauna edáfica no processo de revegetação de

áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas, Pará. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 1048-1060, out./dez. 2020. Doi: <https://doi.org/10.5902/1980509839276>.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de método de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. anual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. EMBRAPA, 2011.

Fengler, F.H.; P, Filho, A.; Carvalho, M.M.; Ribeiro, A.I. Análise de parâmetros morfométricos de agregados do solo: proposta para avaliação do estado de agregação. *TERRA - Vulnerabilidades e Riscos Ecológicos*, Ituiutaba, São Paulo. v. 3, p. 1068-1080, Jan. 2021.

Frota, P. V.; Nappo, M. E. Processos erosivos e a retirada da vegetação na Bacia Hidrográfica do Açude Orós - CE. *Geonorte*, v. 4, n. 4, p. 1472–1481, 2012.

Guzman, J. G.; Ussiri, D. A. N.; LAL, R. Soil physical properties following conversion of a reclaimed minesoil to bioenergy crop production. *Catena*, Amsterdam, v. 176, p. 289–295, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.catena>. 2019.01.020

Harrison, R.B.; Guerrini, I.A.; Henry, C.L.; Cole, D.W. Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento. Piracicaba: Circular Técnica IPEF, n.198, 2003. 20 p.

Kruger, E. L.; Cornélio, A. A. Recuperação ecológica de áreas degradadas pela mineração. *Ações Restauradoras e Recuperação de Ecossistemas Degradados* (pp. 583-618). Springer, Cham. 2017.

Lapa, R. P.; Bozelli, R. L.; Esteves, F. A; Roland, F. Lago, B. Impacto e recuperação de um ecossistema amazônico. Rio de Janeiro: IB-UFRJ; SBL, 2000. p. 25-36.

Lima, T. M.; Neves, C. A. R. (coord.). Sumário Mineral. Brasília: DNPM, 2016. 136 p.

Longo, R.M, Ribeiro, A.I, Melo, W.J. Caracterização física e química de áreas mineradas pela extração de cassiterita. *Bragantia*, Campinas, v.64, n.1, p.101-107, 2005

Meirelles, L. D.; Shepherd, G. J.; Kinoshita, L. S. Variações na composição florística e na estrutura fitossociológica de uma floresta ombrófila densa altomontana na Serra da Mantiqueira, Monte Verde, MG. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 559-574, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042008000400003>

Milder,, A. I.; Santos, F.B.; Ruiz, M. C. Colonization Patterns Of Woody Species On Lands Mined For Coal In Spain: Preliminary Insights For Forest Expansion. *Land Degradation and Development*, v. 24, n. February 2011, p. 39–46, 2013.

Neto, A.B.B.; Schwartz, G.; Noronha, N.C.; Gama, M.A.P.; Ferreira, G.C. Natural regeneration for restoration of degraded areas after bauxite mining: A case study in the Eastern Amazon. *Ecological Engineering* 171 (2021). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857421002470>. Acesso: 07/03/2023

Niero, L. A. C. *et al.* Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um latossolo vermelho distroférico com usos e manejos distintos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2010.

Pereira, I.C.B.; Souza, L.S.F. Fertilidade do solo construído em áreas degradadas sob recuperação após mineração de bauxita em Paragominas-PA. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

Schwenke, G.D.; Mulligan, D.R. & Bell, L.C. Soilstripping and replacement for the rehabilitation of bauxite-mined land at Weipa. III. Simulated long-term soil organic matter development. *Austr. J. Soil Res.*, 38:395-410, 2000.

Shrestha, R. K.; LAL, R. Carbon and nitrogen pools in reclaimed land under forest and pasture ecosystems in Ohio, USA. *Geoderma*, v.157, n.3, p.196-205, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.04.013>

Silva, A.C.; Cavalcanti, L.C.D.; Fabris, J.D.; Junior, R.F.; Barral, U.M.; Farnezi, M.M.M.; Viana, A.J.S.; Ardisson, J.D.; Outonl, E.F.; Lara, L.R.S.; Stumpf, H.O.; Barbosa, A, J.B.S. Silva, L.C. Chemical, mineralogical and physical characteristics of a material accumulated on the river margin from mud flowing from the collapse of the iron ore tailings dam in Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brazil. *Revista Espinhaço*, 2016, 5(2): 44-53

Srivastava, S.C. & Singh, J.S. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: Effects of alternate land-user and nutrient flux. *Soil Biol. Biochem.*, 23:117-124, 1991.

Vries, F. T. *et al.* Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 110, n. 35, p. 14296–14301, 2013.

Williams, D. Memorial da Companhia Geral de Minas: seus 65 anos (1935 - 2000) e apontamentos da mineração no planalto de Poços de Caldas. Poços de Caldas: Alcoa, 2001. 151 p

Yada, M.M; Mingotte, F.L.C.; Mmelo, W.J.; Melo, G.P.; Melo, V.P.; Longo, R.M.; Ribeiro, A.I. Atributos Químicos e Bioquímicos em Solos Degradados por Mineração de Estanho e em Fase de Recuperação em Ecossistema Amazônico. *R. Bras. Ci. Solo*, 39:714-724, 2015

4 ARTIGO 3 - ESTABELECIMENTO DE *Megathyrus maximum* cv. Mombaça EM REMANESCENTE DE MINERAÇÃO DE BAUXITA SOB ADUBAÇÃO FOSFATADA E ORGÂNICA

RESUMO

A mineração é uma atividade de alta importância econômica, contudo suas operações de escavações do solo para retirada do minério, geram impactos ambientais importantes. No município de Poços de Caldas-MG as áreas de mineração são de tamanho relativamente pequenos e dispersos, sendo as práticas de recuperação dos seus remanescentes frequentemente adotadas com a implantação da cultura do eucalipto ou de pastagens, onde limitações em fertilidade deste remanescente são frequentemente observadas. O presente trabalho estudou a viabilidade de estabelecimento inicial, acúmulos de macro e micronutrientes da *Megathyrus maximum* cv. Mombaça em remanescente de mineração de bauxita do município de Poços de Caldas-MG com uso de dosagens de fósforo associada a vermicomposto produzido a partir do resíduo de produção do cogumelo *shimeji*. Esta espécie forrageira, além de sua ampla disponibilidade de sementes no mercado brasileiro, tem sido apontada como de alta produtividade desde que atendida sua alta exigência em fertilidade do solo. Oito tratamentos foram definidos a partir de Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial 4x2, sendo: T1 (sem composto + 0 fósforo), T2 (com composto + 0 fósforo), T3 (sem composto + 60 ppm de fósforo), T4 (com composto + 60 ppm de fósforo), T5 (sem composto + 120 ppm de fósforo), T6 (com composto + 120 ppm de fósforo), T7 (sem composto + 240 ppm de fósforo) e T8 (com composto + 240 ppm de fósforo). Foram avaliados como respostas a matéria seca e acúmulos de macro e micronutrientes na massa seca, em 2 cortes consecutivos, além da somatória dos mesmos. No 1º corte, para a matéria seca, no tratamento com composto e dosagem de 240 ppm de fósforo verificou-se um incremento de 2.283,3 % em relação ao não uso do composto e ausência de fósforo. No 2º corte, obteve-se um acréscimo de 641,6 % em relação ao não uso do composto e 0 de fósforo para matéria seca. O estabelecimento inicial do capim mombaça em remanescente de mineração de bauxita no município de Poços de Caldas-MG é limitado na ausência do vermicomposto de *Shimeji*, mesmo utilizando altas doses de fósforo. O acúmulo dos macros e micronutrientes nos tratamentos com o vermicomposto, demonstraram seu alto potencial de aplicação no estabelecimento do capim Mombaça quando aliada à adubação fosfatada.

Palavras-chave: Recuperação Área Degradada; Composto Orgânico; Gramínea; Acúmulo de Macro e Micronutrientes.

Abstract

Mining is an activity of high economic importance, however its soil excavation operations to remove ore generate important environmental impacts. In the municipality of Poços de Caldas-MG, mining areas are relatively small and dispersed, with recovery practices for their remnants often adopted with the implementation of eucalyptus or pasture cultivation, where limitations in the fertility of this remnant are frequently observed. The present work studied the viability of initial establishment, accumulation of macro and micronutrients of *Megathyrus maximum* cv. Mombaça in bauxite mining remnants in the municipality of Poços de Caldas-MG using phosphorus dosages associated with vermicompost produced from shimeji mushroom production residue. This forage species, in addition to its wide availability of seeds on the Brazilian market, has been identified as having high productivity as long as its high requirement

for soil fertility is met. Eight treatments were defined using a Completely Randomized Design (DIC) in a 4x2 factorial scheme, as follows: T1 (without compound + 0 phosphorus), T2 (with compound + 0 phosphorus), T3 (without compound + 60 ppm phosphorus), T4 (with compound + 60 ppm phosphorus), T5 (without compound + 120 ppm phosphorus), T6 (with compound + 120 ppm phosphorus), T7 (without compound + 240 ppm phosphorus) and T8 (with compound + 240 ppm phosphorus). Responses to dry matter and accumulation of macro and micronutrients in dry mass were evaluated in 2 consecutive cuts, in addition to their sum. In the 1st cut, for dry matter, in the treatment with compost and dosage of 240 ppm of phosphorus, there was an increase of 2,283.3% in relation to not using the compost and absence of phosphorus. In the 2nd cut, an increase of 641.6% was obtained in relation to not using compost and 0 in phosphorus for dry matter. The initial establishment of mombaça grass in bauxite mining remnants in the municipality of Poços de Caldas-MG is limited in the absence of Shimeji vermicompost, even using high doses of phosphorus. The accumulation of macro and micronutrients in treatments with vermicompost demonstrated its high potential for application in the establishment of Mombaça grass when combined with phosphate fertilizer.

Keywords: Recovery of Degraded Area; Organic Compost; Grass; Accumulation of Macro and Micronutrients.

1. INTRODUÇÃO

A mineração, apesar da sua reconhecida importância econômica, é uma atividade que pode trazer sérias consequências para o ambiente, uma vez que necessitam de grandes escavações para a retirada do minério, gerando passivos com características significativamente diferentes dos originais. Nas operações, o solo superficial mais fértil é retirado, e os substratos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos, devido a remoção da vegetação e da camada superficial, deixando alteradas as suas propriedades físico-químicas e biológicas. O município de Poços de Caldas-MG está situado sobre uma formação geológica rica em bauxita, fonte natural do alumínio. Dessa forma, esta mineração é uma atividade marcante no município e fundamental para o seu desenvolvimento econômico. A maioria dos projetos executados por grandes empresas do setor na região, prevê em seus planos de recuperação pós extração mineral, o estabelecimento de eucalipto, pastagem ou vegetação nativa (Fengler *et al.*, 2021 apud Carvalho *et al.*, 2022).

Sendo a atividade pecuária, comum na recuperação de áreas mineradas no município de Poços de Caldas, destacam-se que limitações em fertilidade do solo estão entre as principais causas das baixas produções mesmo nas condições naturais dos solos das regiões tropicais e subtropicais (Santos *et al.* 2002), sendo o fósforo apontado como aquele mais crítico para o estabelecimento de pastagens e, frequentemente, observa-se que seus teores no solo são muito baixos (Cecato, Pereira e Jobim, 2004). Este nutriente merece destaque uma vez que é imprescindível para plantas crescerem e produzirem, estando ligado a processos como a

fotosíntese, respiração, armazenamento e distribuição de energia, crescimento e divisão celular e também no desenvolvimento das raízes, sua restrição traz severos impactos negativos na produção de massa seca (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

É importante salientar que o fósforo apresenta baixa mobilidade no solo e, conseqüentemente, limitada absorção pelas plantas (Santos *et al.*, 2002). Também tem sido considerado relevante na fase de manutenção (Belarmino *et al.*, 2003) e, assim, a necessidade de sua suplementação é associada à altas produtividades dos sistemas pastoris (Cecato *et al.*, 2007).

Em solos que apresentam textura de média a argilosa, as quantidades de fósforo a serem aplicadas devem ser ainda maiores, pois o P adicionado pode ser fortemente fixado à matriz coloidal do solo, tornando-se indisponível (Mesquita *et al.*, 2004).

A espécie *Megathyrus maximus* cv. Mombaça apresenta alta produção de massa seca por área, grande quantidade de folhas, alto nível nutricional e ampla adaptação às condições climáticas brasileiras, porém seu aspecto restritivo está concentra-se em sua alta exigência nutricional (Muller *et al.*, 2002 apud Cecato *et al.*, 2008). Contudo, em solos corrigidos e com adubação equilibrada, aliado a um manejo adequado da pastagem, atinge-se altas produtividades com altos valores nutricionais (Mello *et al.*, 2009). Neste contexto, combinar fontes de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, além de reduzir os custos com adubação, pode promover o descarte apropriado para resíduos agroindustriais (Silva, Simioni e Lucena, 2012).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento inicial e acúmulo de macro e micronutrientes na massa seca (primeiro e segundo cortes) da forrageira (*Megathyrus maximus* cv. Mombaça) em substrato remanescente da atividade de mineração de bauxita submetidas a doses de fósforo combinadas à adição ou não de fertilizante orgânico produzido a partir de um resíduo da agroindústria do cogumelo *shimeji*.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de pesquisa

A área de estudo, submetida à mineração de bauxita, corresponde a região do Planalto de Poços de Caldas, localizada na divisa entre os Estados de Minas Gerais e São Paulo. Este planalto é composto de formações classificadas como Floresta Semidecidual Alto Montanha, com presença de fitosionomias de campos de altitude, prevalecendo clima mesotérmico do tipo Cwb (Maireles, Shepherd e Kinoshita, 2008; ALVARES *et al.*, 2014).

A área selecionada para coleta de amostras, foi submetida ao processo de mineração de bauxita, e o cultivo de eucalipto encontrava-se em fase inicial de implantação (plantas com aproximadamente 50 cm), onde a prática de topsoil havia sido executada anteriormente nas etapas de recuperação. Dividiu-se a área em 3 (três) pontos de aproximadamente 500 m² cada, e no ponto central de cada área retirou-se amostras para composição de amostras compostas destinadas tanto à análises laboratoriais para fins de diagnóstico da fertilidade quanto para a condução da fase experimental. Portanto, inicialmente coletou-se amostras, na profundidade de 0-20cm, para avaliação de atributos químicos e físicos e, posteriormente, volumes maiores foram retirados para a condução do experimento em casa de vegetação.

Em sequência, as amostras foram encaminhadas tanto para o setor de casas de vegetações destinadas a condução da fase experimental, quanto ao Laboratório de Fertilidade do Solo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS campus Inconfidentes-MG). Após análises seguindo metodologia da Embrapa (1997), verificou-se a seguinte composição química para o substrato remanescente coletado: pH de 5,57; 1,60 mg dm⁻³ de P; 26,23 de mg dm⁻³ de K; 0 cmolc dm⁻³ de Al; 1,57 cmolc dm³ de Ca, 0,24 cmolc dm⁻³ de Mg, 3,22 cmolc. dm⁻³ de H, 5,10 cmolc. dm⁻³ de CTC, 36,53 % de V, 2,35 dag dm⁻³ de MO, 2,43 mg dm⁻³ de Zn, 109,07 mg. dm⁻³ de Fe, 49,33 mg. dm⁻³ de Mn, 0,10 mg. dm⁻³ de Cu, 0,20 mg. dm⁻³ de B.

Produção do fertilizante orgânico a partir de resíduo de cogumelo shimeji

Anteriormente à coleta do substrato remanescente da área, objeto do estudo, foi produzido 1 (um) lote de fertilizante orgânico utilizando-se 450 kg de resíduo de cogumelo *Shimeji* (adquirido de agroindústria da cidade de Ouro Fino-MG) e 4,5 kg de minhoca, ou seja, 1 % em massa de minhoca (Ricci, 1996, pag.16). A espécie da minhoca utilizada foi a *Eisenia fétida* (Savigny, 1826) uma Oligochaetas -Lumbricidae, também conhecida como vermelha da Califórnia, ou minhoca europeia do esterco, coletada no setor de cunicultura do IFSULDEMINAS campus Inconfidentes-MG.

Esta etapa de produção do fertilizante orgânico foi conduzida no setor de vermicompostagem do campus Inconfidentes do IFSULDEMINAS, local este coberto, fresco e sombreado, composto de 4 (quatro) estruturas de alvenaria em forma retangular (tipo coxo bovino) de 8 (oito) metros comprimento, 0,5 metros largura e 0,40 metros de altura. O resíduo foi distribuído neste coxo de forma homogênea em seu comprimento, colocando as minhocas em intervalos de espaço de forma a distribuí-las homogeneamente no resíduo.

O processo foi realizado em um período de 6 meses. Ao final, o material foi peneirado e amostra retirada para análises químicas, estas realizadas no laboratório de fertilidade do solo do IFSULDEMINAS campus Inconfidentes-MG seguindo metodologia (Embrapa, 2009).

Verificou-se a seguinte composição química do vermicomposto produzido a partir do resíduo do cogumelo *shimeji*: 15,5 g/Kg de N, 3,5 g/Kg de P, 2,7 g/Kg de K, 54,5 g/Kg de Ca, 8,4 g/Kg de Mg, 2,5 g/Kg de S, 210 mg kg⁻¹ de Zn, 2369 mg kg⁻¹ de Fe, 613 mg kg⁻¹ de Mn, 52 mg kg⁻¹ de Cu, 31,8 mg kg⁻¹ de B, com 36,84% de umidade, 147,0 g/Kg de CO e uma relação C:N de 9,5.

Condução da etapa experimental: preparos, semeadura, tratamentos e análise dos dados

O substrato remanescente da mineração, levado ao setor de casas de vegetações, do IFSULDEMINAS campus Inconfidentes-MG, foi peneirado em peneira de 2mm e, em seguida, utilizando-se vasos plásticos com capacidade de 6 L, um total de 5 kg do substrato remanescente foi pesado e distribuído para todos os vasos previamente revestidos de sacos plásticos em seu interior, a fim de se evitar perdas futuras de nutrientes por lixiviação durante a condução do estudo. Após essa operação inicial, o calcário dolomítico (PRNT 95%) necessário para elevar a saturação por bases a 60%, foi adicionado e uniformemente incorporado mediante agitação. A aplicação do calcário foi realizada com antecedência de 30 dias da semeadura da forrageira. Durante esse período, os vasos receberam irrigação diária para a manutenção de uma lâmina equivalente a 60 % do VTP (volume total de poros) ocupados com água, conforme metodologia de Bomfim-Silva *et al.* (2011), e mantida com base em pesagens.

O experimento foi instalado em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial (4x2) sendo: 4 (quatro) doses de fósforo (0, 60, 120 e 240 ppm) e 2 (duas) doses do vermicomposto do *shimeji* (com e sem aplicação), em 5 repetições. A adubação para atender os nutrientes N, K e os micronutrientes B, Cu e Zn (soluções nutritivas) foram realizadas uniformemente em todas as parcelas experimentais para atingir as dosagens de 120, 100, 1,0, 3,0 e 10 kg/ha, respectivamente, de acordo com os resultados da análise do substrato, dosagens descritas por LOPES *et al.* (2014) e recomendações de CANTARUTTI *et al.* (1999). Duas soluções foram preparadas, sendo uma contendo B, Cu e Zn e outra contendo N, e ambas foram aplicadas em 2 (duas) parcelas, sendo a primeira 5 dias antes da semeadura, e a segunda após primeiro corte da parte aérea. Para o tratamento com aplicação do vermicomposto, a dosagem correspondente à 10.000 kg/ha foi estabelecida como aquela correspondente a aplicação de 150 kg/ha de N. Com esta dose, o tratamento com aplicação de vermicomposto

receberia ao longo do experimento um total de 270 kg/ha de N, não ultrapassando a aplicação anual total de 300 kg/ha para sistemas irrigados conforme CANTARUTTI *et al.* (1999). O vermicomposto foi aplicado 3 dias antes da sementeira, e esta foi realizada semeando-se sobre cada vaso 2 gramas de sementes comerciais, com 50 % de valor cultural.

O 1º corte foi realizado após 90 dias da sementeira, e o 2º corte foi executado 30 dias após o primeiro. Após o primeiro corte, foi realizada uma coleta do solo dos vasos por meio de sonda coletora para fins de análises químicas, onde valores médios são apresentados na Tabela 1. Os cálculos de acúmulo de macro e micronutrientes foram feitos multiplicando-se os respectivos teores nutricionais de parte aérea (Embrapa, 2009; sendo Tabela 2 – teores foliares do 1º corte e Tabela 3 para teores foliares do 2º corte) pela massa seca.

Os dados foram analisados quanto à normalidade e, em seguida, submetidos a uma análise exploratória por meio de Componentes Principais. Posteriormente, as variáveis respostas foram submetidas à análise de variância – ANOVA, onde em seguida tanto, ajustes de modelos regressão quanto testes de comparações entre médias foram realizadas.

Tabela 1: Resultados médios análise de solo dos vasos pós primeiro corte, sendo K, P, Zn, Fe, Mn e Cu em mg/dm³ e Ca, Mg e Al em cmolc/dm³.

TRAT.*	K	P	Ca	Mg	Al	Zn	Fe	Mn	Cu
T1 (sem composto + 0 fósforo)	141,36	4,26	4,39	0,78	0,00	1,28	61,92	44,80	0,17
T2 (com composto + 0 fósforo)	125,84	6,76	4,25	0,76	0,00	1,94	63,26	32,34	0,19
T3 (sem composto + 60 ppm de fósforo)	98,04	7,78	2,90	0,35	0,00	0,76	45,16	13,64	0,04
T4 (com composto + 60 ppm de fósforo)	131,18	25,83	4,11	0,56	0,00	1,60	42,70	20,42	0,10
T5 (sem composto + 120 ppm de fósforo)	145,68	9,47	4,06	0,35	0,00	1,62	60,26	34,88	0,00
T6 (com composto + 120 ppm de fósforo)	127,38	15,75	4,88	0,42	0,00	2,02	51,36	39,40	0,01
T7 (sem composto + 240 ppm de fósforo)	113,72	15,25	3,94	0,30	0,00	2,04	43,22	27,50	0,00
T8 (com composto + 240 ppm de fósforo)	140,00	38,70	4,66	0,39	0,00	2,80	38,88	39,56	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2024). *tratamentos

Tabela 2: Teores foliares médios no corte 1, para os nutrientes: fósforo, potássio, cálcio e magnésio (em g/kg) e zinco, manganês, ferro e cobre (em mg/kg).

ANÁLISE FOLIAR CORTE 1								
TRAT. *	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu
T1 (sem composto + 0 fósforo)	0,106	0,800	18,700	10,200	4,300	9,000	22,400	30,900
T2 (com composto + 0 fósforo)	0,958	23,900	28,780	10,500	36,040	154,620	268,260	11,600
T3 (sem composto + 60 ppm de fósforo)	0,962	22,020	12,440	5,000	45,260	76,580	332,060	1,060
T4 (com composto + 60 ppm de fósforo)	1,521	25,620	3,940	3,280	44,360	121,540	309,300	1,300
T5 (sem composto + 120 ppm de fósforo)	0,781	13,500	1,800	1,667	19,833	54,800	317,467	2,533
T6 (com composto + 120 ppm de fósforo)	1,756	28,100	2,900	3,467	28,833	108,567	256,700	1,500
T7 (sem composto + 240 ppm de fósforo)	1,025	20,337	2,800	2,700	21,733	101,467	297,200	3,067
T8 (com composto + 240 ppm de fósforo)	2,642	30,040	5,740	5,420	40,400	158,820	266,560	1,300

Fonte: *Elaborado pelo autor (2024).* *tratamentos

Tabela 3: Teores foliares médios no corte 2, para os nutrientes: fósforo, potássio, cálcio e magnésio (em g/kg) e zinco, manganês, ferro e cobre (em mg/kg).

ANÁLISE FOLIAR CORTE 2								
TRAT. *	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu
T1 (sem composto + 0 fósforo)	0,505	17,960	3,060	1,400	38,420	148,040	105,480	22,460
T2 (com composto + 0 fósforo)	0,916	21,360	3,140	1,400	33,580	282,080	99,500	9,280
T3 (sem composto + 60 ppm de fósforo)	1,027	24,240	3,160	2,320	39,020	216,620	132,120	5,200
T4 (com composto + 60 ppm de fósforo)	1,082	23,100	3,080	2,120	36,800	195,240	133,540	7,040
T5 (sem composto + 120 ppm de fósforo)	1,846	28,560	2,620	2,460	35,340	262,640	131,760	3,740
T6 (com composto + 120 ppm de fósforo)	2,042	30,320	2,440	2,520	30,680	220,380	103,560	5,780
T7 (sem composto + 240 ppm de fósforo)	2,221	31,980	3,320	3,080	27,740	302,200	103,300	17,420
T8 (com composto + 240 ppm de fósforo)	1,836	23,700	2,320	1,940	25,740	240,400	53,740	6,020

Fonte: *Elaborado pelo autor (2024).* *tratamentos

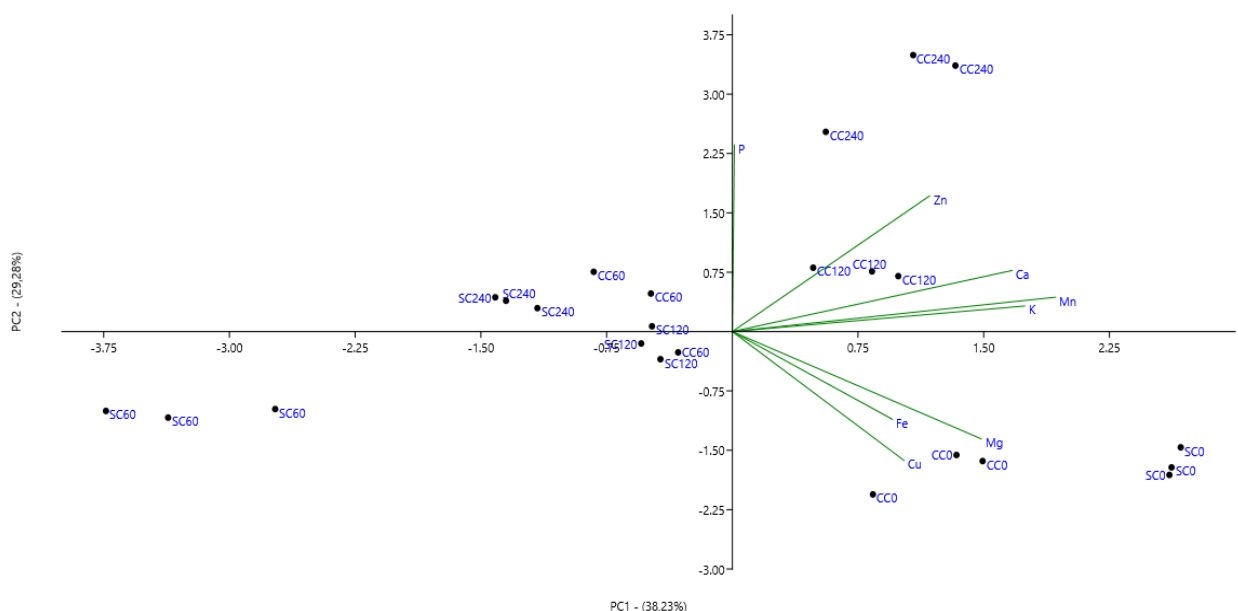
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises multivariadas por componentes principais

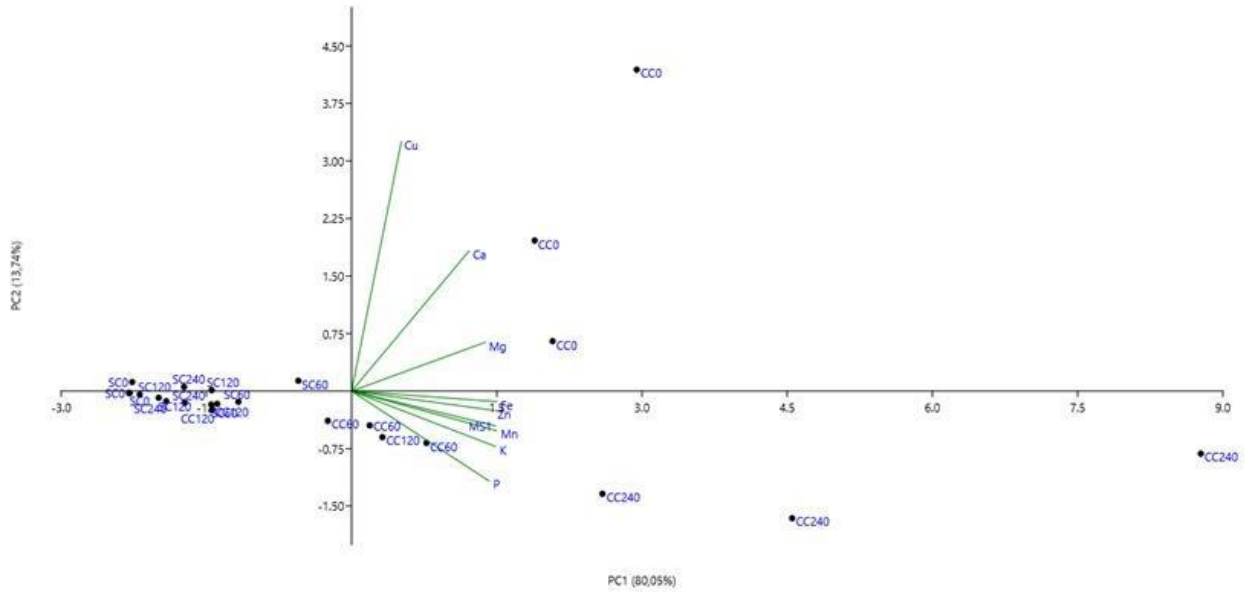
Pela análise por componentes principais, avaliando a dispersão dos tratamentos e disponibilidades de nutrientes no solo pós primeiro 1º corte, o primeiro componente principal explicou 38,23% da variância, onde os pesos verificados para disponibilidades dos nutrientes no solo foram para o Mg (0,3822), Fe (0,2458) e Cu (0,2637), como os que apresentaram maior correlação com esta componente (Figura 1a). Verificou-se os pesos para o P (0,6065), K (0,0833), Ca (0,1988), Mn (0,1119) e Zn (0,4413) e foram as variáveis mais correlacionadas com a componente principal 2, que por sua vez explicou 29,26% da variância total.

Figura 1: a) Dispersão da disponibilidade de nutrientes no solo pós 1º corte e tratamentos de doses de P com e sem aplicação de vermicomposto de Shimeji, b) Dispersão das variáveis matéria seca da parte aérea e nutrientes acumulados na parte aérea para o 1º corte, c) Dispersão das variáveis matéria seca da parte aérea e nutrientes acumulados na parte aérea para o 2º corte d) Dispersão das variáveis matéria seca da parte aérea e nutrientes acumulados parte aérea para a soma dos cortes. Nutrientes (P, K, Ca, Mg, Zn Cu Fe e Mn), Massa seca da parte aérea, em função de doses de fósforo aplicadas (0, 60, 120, 240 mg dm³) combinadas com aplicação de composto orgânico do resíduo da produção de cogumelos *shimeji* (CC) ou não (SC).

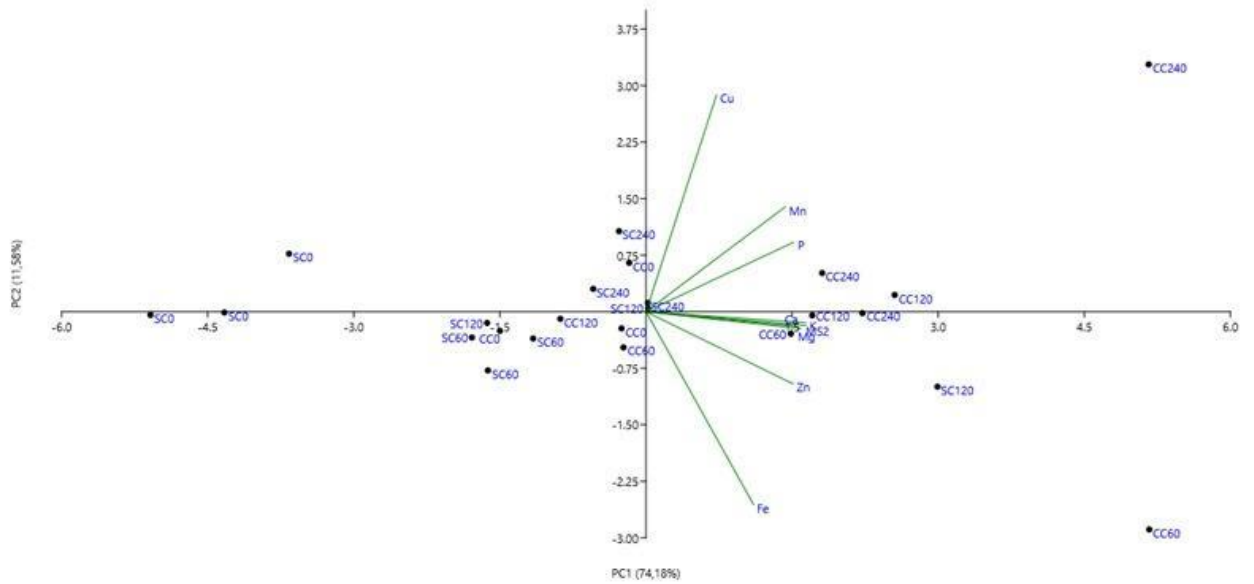
a) Tratamentos x teor no solo (1º Corte)



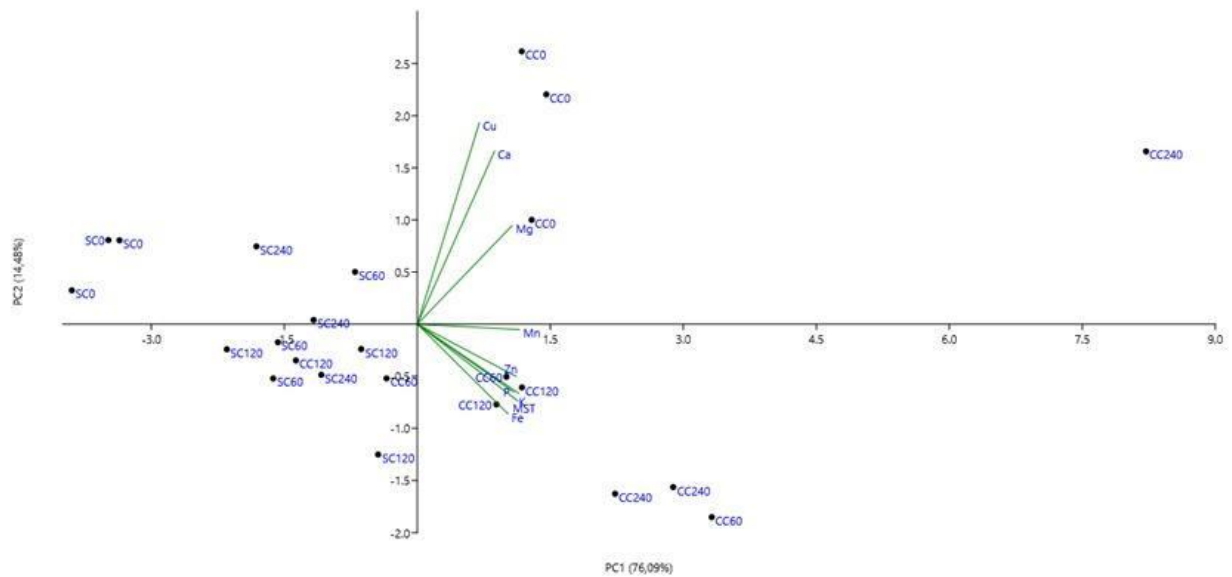
b) 1° Corte



c) 2° Corte



d) Corte Total



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Com os dados de matéria seca e de acúmulo de nutrientes no 1º corte (figura 1b), O primeiro componente principal explicou 80,05 % da variância, sendo que as disponibilidades de P (0,3469), K (0,3633), Fe (0,3668), Mn (0,3660), Zn (0,3600) e matéria seca parte aérea (0,3632) foram as que apresentaram maior correlação com esta componente. Verificou-se os pesos para Ca (0,4462), Mg (0,1556) e Cu (0,7940) foram as variáveis mais correlacionadas com a componente principal 2, que por sua vez explicou 13,74 % da variância total.

Com os dados de matéria seca e de acúmulo de nutrientes no 2º corte (figura 1c) o primeiro componente principal explicou 74,18 % da variância, sendo que as disponibilidades de K (0,3804), Ca (0,3572), Mg (0,3676), Fe (0,2556), Zn (0,3495) e matéria seca parte aérea (0,3801) foram as que apresentaram maior correlação com esta componente. Verificou-se os pesos para P (0,2135), Mn (0,3221) e Cu (0,6656), como aquelas variáveis mais correlacionadas com a componente principal 2, que por sua vez explicou 11,58 % da variância total.

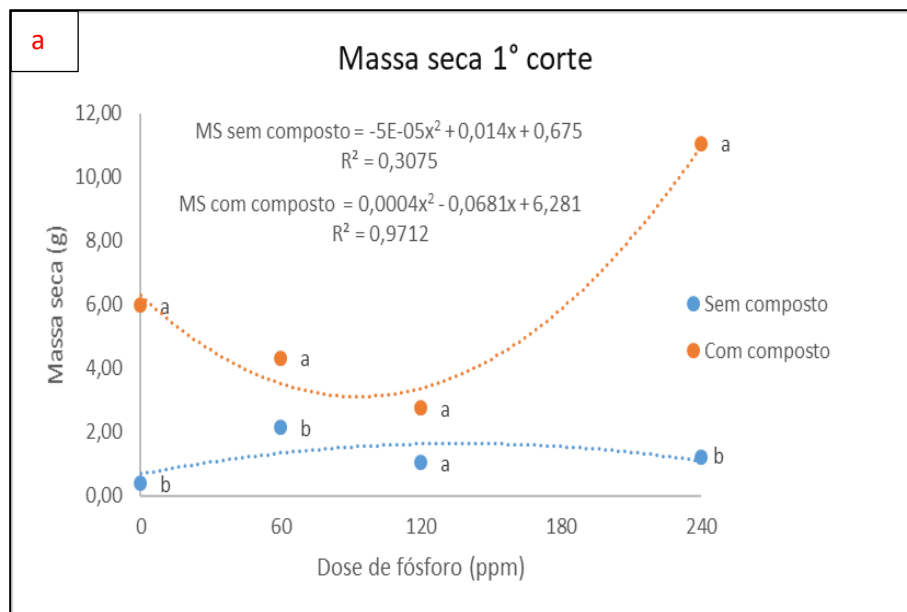
Com a matéria seca total e acúmulo total de nutrientes (figura 1d), o primeiro componente principal explicou 76,09 % da variância, sendo que as disponibilidades de P (0,3480), Mn (0,3684), Fe (0,3270), Zn (0,3561) e matéria seca total parte aérea (0,3626) foram as que apresentaram maior correlação com esta componente. Verificou-se os pesos para Ca (0,5303), Mg (0,3021) e Cu (0,6178) como as variáveis mais correlacionadas com a componente principal 2, que por sua vez explicou 14,48 % da variância total.

Pela análise das PCA's, verificou-se um padrão de dispersão e agrupamento dos tratamentos entre doses de P com (CC) e sem (SC), o que ratifica a importância dos parâmetros determinados, para avaliação tanto da fertilidade quanto de um prognóstico da eficiência do manejo da adubação orgânica e inorgânica, sobre o crescimento inicial do capim Mombaça em remanescente de mineração. Destaca-se ainda, as correlações expressivas das disponibilidades de Mg, Fe e Cu, com a primeira componente principal.

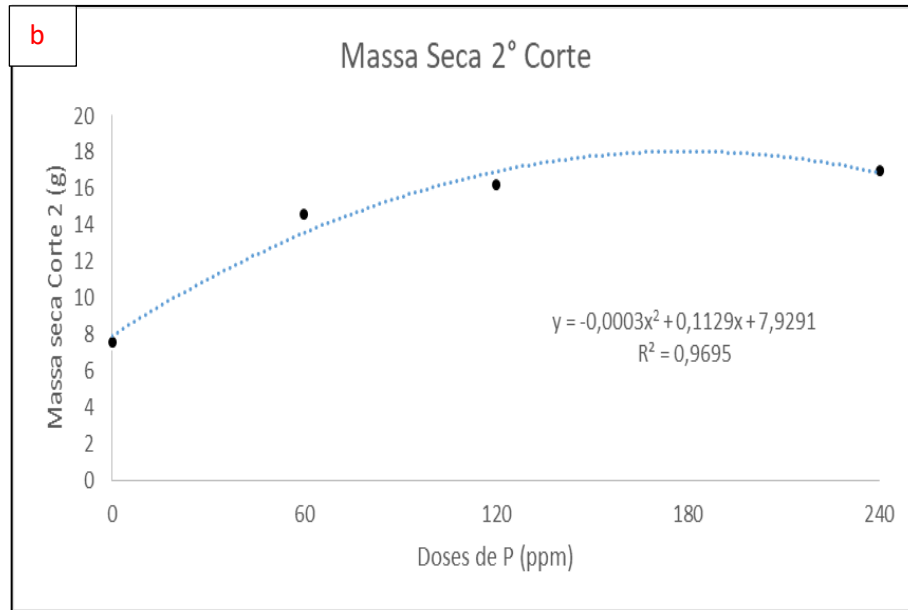
Avaliações da Matéria Seca da Parte Aérea

Para análise da matéria seca 1º corte (figura 2a), verificou-se efeito da interação entre doses de fósforo x uso do vermicomposto. Desdobrando-se as doses de P dentro do Fator composto orgânico (com uso), destaca-se que o modelo significativamente ajustado se deu com observância de ponto de mínimo. E que, no desdobramento do efeito do composto nas doses de P, verificou-se para 0P, 60P e 240P (mg dm³) com aplicação de composto, o incremento médio em relação ao não uso do composto da ordem de 1.584%, 203% e 931% respectivamente (Figura 2a).

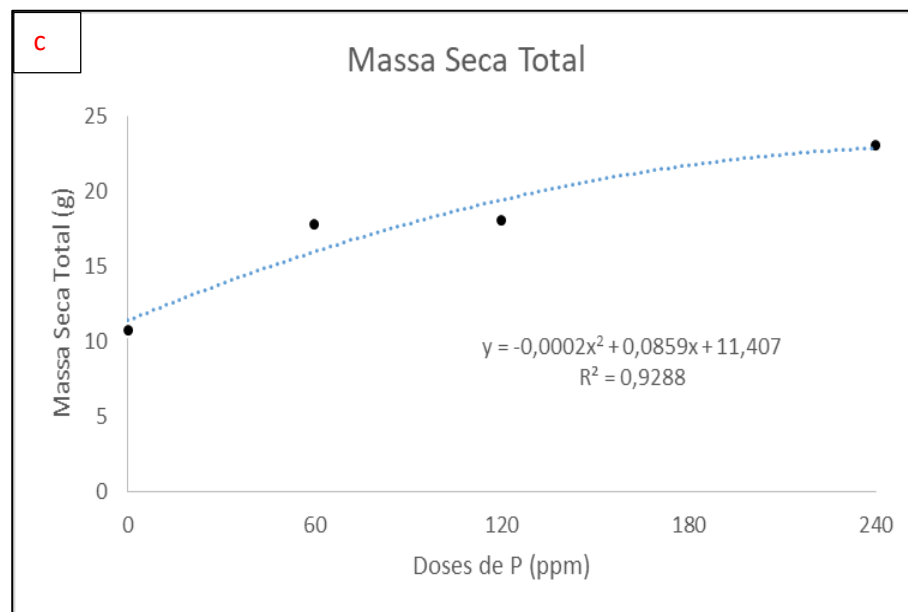
Figura 2: a) Massa seca 1º corte, b) massa seca 2º corte e c) massa seca total, do capim Mombaça, sob influência de doses de fósforo com ou sem aplicação de fertilizante orgânico do resíduo de produção de cogumelos *Shimeji*, em substrato remanescente de um Cambissolo pós-mineração em área do município de Poços de Caldas-MG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A correlação positiva ou negativa entre nutrientes, pode afetar o desenvolvimento da planta. PRADO (2008) relatou que as interações entre os nutrientes afetam os processos de absorção, transporte, redistribuição e metabolismo, e também processos no solo como o contato do nutriente com as células da raiz, podendo dessa forma, ocasionar desequilíbrio nutricional, tanto por deficiência como por toxidez, o que reflete de maneira significativa nos parâmetros produtivos da planta, esse efeito nos tratamentos sem composto ficou mais evidenciado.

OLIVEIRA *et al.* (2000) avaliaram a produtividade, a composição química e a qualidade do *Megathyrus maximus* cv Tanzânia em resposta a níveis crescentes de fósforo (0, 50 e 100 kg de P ha⁻¹) e verificaram incremento significativo nos parâmetros produtivos. SILVA *et al.* (2018) avaliaram os métodos de adubação e correção do solo na produtividade de *Urochloa decumbens* degradada e nos atributos químicos do solo. Estes verificaram que a maior produtividade de massa seca da *Urochloa decumbens* foi proporcionada pela adubação com a cama de frango e adubação convencional, esse tratamento também apresentou maiores valores de MO, P, Ca, Mg e V% em relação aos solos submetidos a adubação convencional ou apenas calagem. Resultados similares foram observados nos tratamentos com uso de composto e dosagens de fosforo neste trabalho.

Avaliando o efeito da adubação com cama sobreposta de suíno (CSS) de forma exclusiva e associada com fertilizantes minerais na produtividade e qualidade de *Megathyrus maximus* cv. Mombaça, GUERRERO *et al.* (2020) testaram em condições de campo, 5 doses de CSS (0; 5; 10; 15 e 20 t ha⁻¹), com e sem adubação de NPK (50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 10 kg ha⁻¹ de K₂O e 10 kg ha⁻¹ de N), em 4 cortes. Os autores verificaram que tanto a adubação convencional como a orgânica, interferiram na produtividade e qualidade do capim Mombaça. A massa seca apresentou ajustes lineares em função das doses de CSS. No primeiro corte o tratamento com a maior dose do composto orgânico possibilitou um incremento superior a 200% em relação ao tratamento que não recebeu nenhuma adubação. Na comparação dos tratamentos associados em relação aos que receberam apenas adubação química verificou-se um ganho superior a 100% na massa seca. A análise global considerando o somatório de todos os cortes, observaram que os melhores resultados foram obtidos com as doses de cama de suínos mais adubação mineral. Para os tratamentos que receberam apenas CSS na soma de todos os cortes, houve comportamento quadrático, atingindo ponto máximo com dose de CSS de 19,72 t ha⁻¹. Resultados similares foram observados nos tratamentos com uso de composto e dosagens de fosforo neste trabalho.

GIOSTRI *et al.* (2014) avaliaram o uso agrícola de resíduos líquidos da indústria de enzimas (LWE) e seu impacto na fertilidade do solo, no crescimento e nutrição mineral de um pasto nativo instalado em um Cambissolo Háplico distrófico. O uso do LWE constatou-se melhoria nos demais parâmetros como: acidez e disponibilidade de P, indicando sua ação como corretivo da acidez e fonte de nutrientes. Houve ainda, melhoria na qualidade da pastagem através do aumento dos teores de N, K e P nas plantas e maior produtividade. Resultados similares foram observados nos tratamentos com uso de composto e dosagens de fosforo neste trabalho.

Adubos originados de resíduos animais foram os que mais influenciaram na produtividade de massa seca do capim-Mombaça quando comparados com as fontes de origem vegetal (Araujo *et al.*, 2008), neste trabalho o uso de composto e dosagens de fósforo, influenciaram positivamente a produção de matéria seca.

As médias dos tratamentos sem adição de fósforo (tratamento Sem Composto/0 fósforo) segue um padrão de baixa produção de matéria seca como também relatado por Mesquita *et al.*, 2004, Eichler *et al.*, 2008, Oliveira *et al.*, 2012, Torres *et al.*, 2016, Florentino *et al.*, 2019, em experimentos em vasos com capim Mombaça, enquanto que nos tratamentos em campo ocorreu uma produção de 25 a 43,9 % menor, conforme dados de Faria *et al.*, 2015, Carneiro *et al.*, 2017 e Costa *et al.*, 2017.

Com adição de fósforo houve um aumento de produção de matérias seca (tratamento sem composto/60P) figura 2a, essa mesma tendência foi verificada pelos autores Mesquita *et al.*, 2004, Eichler *et al.*, 2008, Oliveira *et al.*, 2012, Torres *et al.*, 2016, Florentino *et al.*, 2019 em estudos também em vasos com capim mombaça, contudo em menor proporção em relação a este trabalho, com exceção do trabalho Mesquita *et al.*, 2004 que chegou a 1970,0 %. Nos trabalhos de campo a tendência foi um acréscimo de até 43.9% como relatado por Carneiro *et al.*, 2017.

No tratamento com composto/0P houve um acréscimo substancial na produção de massa seca evidenciando-se que a matéria orgânica presente no composto auxilia nos processos de fixação desse elemento pelas raízes, como já relatado por Singh *et al.* (2022).

Nos trabalhos em vasos a adição de dosagens de fósforo *versus* produção de matéria seca segue uma tendência ascendente até se estabilizar e manter uma constante, até caindo a produção com uma dosagem superior, como verificado pelos autores Mesquita *et al.* (2004), Eichler *et al.* (2008), Oliveira *et al.* (2012), Torres *et al.* (2016), Florentino *et al.*, (2019). Nos trabalhos de campo esta tendência também se manteve como demonstrado pelos autores Faria *et al.* (2015), Carneiro *et al.* (2017) e Costa *et al.* (2017). Esta mesma tendência também foi verificada neste trabalho (tratamentos sem composto/120P e sem composto/240P), contudo a adição do composto orgânico mudou esta tendência de estabilização de produção nas altas dosagens de fósforo e ocorreu acréscimo de produção na maior dosagem com adição do composto (tratamento com composto/240P), acréscimo este devido à alta carga de matéria orgânica da matriz do composto, como verificado na análise química feita neste composto (147,0 g/Kg de carbono orgânico).

Os resultados obtidos neste estudo estão em consonância com os encontrados por ALMEIDA *et al.* (2013), que, ao investigarem a produção de massa fresca e seca do capim

Mombaça, observaram um aumento progressivo na produção conforme os níveis de fósforo aplicados (0, 40, 80, 120 e 160 kg/ha de P₂O₅), corroborando com os resultados também apresentados por CARNEIRO *et al.* (2017) e FLORENTINO *et al.* (2019).

Os resultados obtidos em primeiro corte, conforme verificados por TORRES *et al.* (2016) (dose 5 mg dm³), FLORENTINO *et al.* (2019) (dose 75 mg dm³), assemelham-se aos deste experimento (tratamento 240 mg dm³ com composto) quando avaliaram a produção de massa seca da parte aérea do capim Mombaça em relação às diferentes doses de fósforo. Salienta-se o fato do trabalho destes autores serem realizados em solo, enquanto que o presente trabalho ter sido realizado em remanescente de mineração, um tipo de substrato totalmente diferente com características diversas por isso a diferença de dosagens apresentarem resultados similares.

Para a matéria seca do corte 2, verificou-se que não houve interação significativa entre os fatores Doses de P x Aplicação de composto orgânico. Houve efeito significativo das doses de P, isoladamente, ajustando-se uma regressão de modelo quadrático (Figura 2b). A máxima produção foi atingida com a dose estimada de 188,2 ppm de P. Houve efeito significativo do uso do composto, isoladamente, e seu incremento médio em relação ao tratamento sem composto foi de 193,2 %.

No corte 2, para a produção de massa seca no tratamento T1, sem composto/ 0P, houve um acréscimo de produção em relação ao corte 1, diferente do que obtiveram EICHLER *et al.* (2008) e OLIVEIRA *et al.* (2012), que relataram queda na produção do segundo corte para zero adição de fósforo. Supõe-se que as aplicações de N e Micronutrientes em cobertura, tenha contribuído para tal fato no presente estudo.

Nos tratamentos onde foram adicionados o composto orgânico a tendência de aumento da produção de matéria seca manteve-se também no segundo corte, como verificado no tratamento T8 (com composto/240P).

Com uma dosagem de 750 (mg dm³) de P e 350,43 (mg dm³) de N em seu experimento em vaso com capim Mombaça, EICHLER *et al.* (2008) chegaram a uma produção de 57,9 g/vaso de massa seca, 5 vezes superior a este trabalho, contudo com uma dosagem de fósforo 3 vezes superior. No segundo corte, FLORENTINO *et al.* (2019) relataram que não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, atribuindo esse resultado à redução na quantidade de perfilhos durante o segundo corte, o que conseqüentemente diminuiu a biomassa e o volume da massa seca da parte aérea. O perfilhamento das gramíneas forrageiras desempenha um papel crucial na produção de biomassa e é uma característica fundamental para o estabelecimento das plantas e a produtividade das pastagens, como destacado por FARIA *et al.* (2015).

Os resultados obtidos no segundo corte (tratamento 240 mg dm³ com composto), se assemelham aos encontrados por OLIVEIRA *et al.* (2012) (dose 300 mg dm³) e EICHLER *et al.* 2008 (dose 250 mg dm³), para a produção de massa seca da parte aérea do capim Mombaça, em doses aplicadas semelhantes.

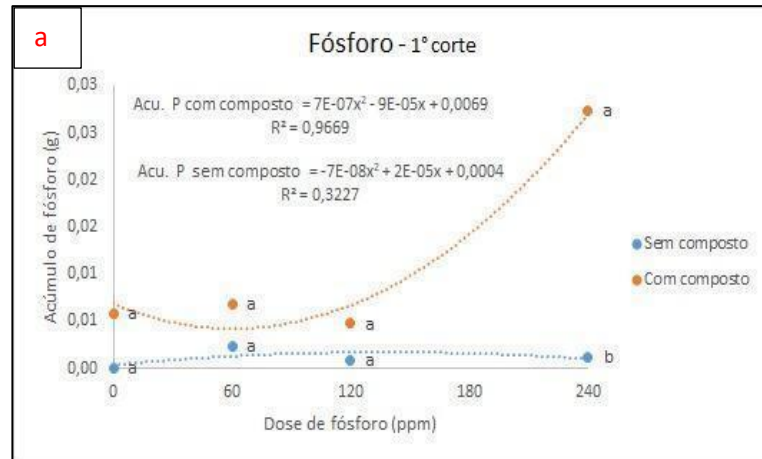
Para a matéria seca do Total, verificou-se que não houve interação significativa entre os fatores Doses de P x Aplicação de composto orgânico. Houve efeito significativo das doses de P, isoladamente, ajustando-se uma regressão de modelo quadrático (Figura 2c). A máxima produção foi atingida com a dose estimada de 214,8 ppm de P. Houve efeito significativo do uso do composto, isoladamente, e seu incremento médio em relação ao tratamento sem composto foi de 228,5 %. Ao analisar a produção de matéria seca da parte aérea de gramíneas e leguminosas em áreas degradadas recuperadas com adubações orgânicas, FAVARETTO *et al.* (2000) observaram resultados mais promissores na produção de matéria seca total (MST) nas parcelas que receberam adubação orgânica.

Os valores de produção de matéria seca total observados nos tratamentos com composto pode ser atribuído à capacidade deste em incrementar as quantidades de nutrientes mineralizados. Assim, mais nutrientes, em formas mais acessíveis, ficam disponíveis para absorção radicular. De acordo com DURIGON *et al.* (2002), praticamente todo o nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P) adicionados por meio de compostos orgânicos tornam-se disponíveis para as plantas, contribuindo de maneira significativa para a produção de massa seca total.

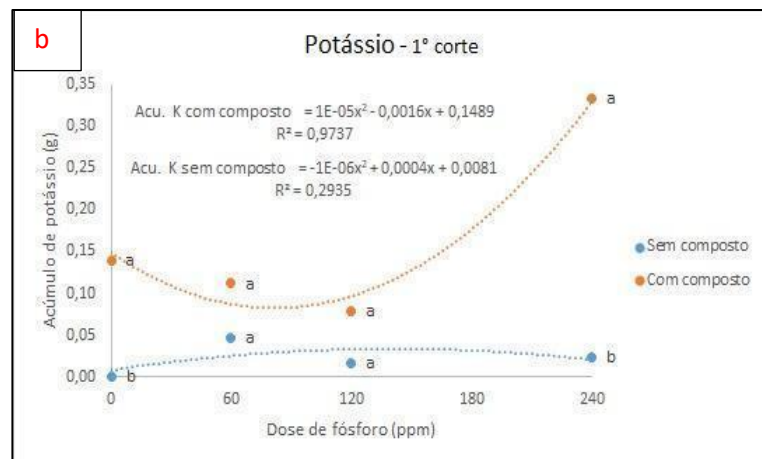
Acúmulos dos macronutrientes Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio

Para acúmulo de P na massa seca do 1º corte (Figura 3a) desdobrando-se os efeitos das Doses de P em cada nível do fator composto, verificou-se ajuste significativo do modelo quadrático, com ponto de mínimo para com composto e de máximo para sem composto. Para o efeito do composto dentro de Doses de P, destaca-se o incremento significativo observado com uso do composto na dose 0P e 240 (mg dm³) em 817,5 vezes superior e 2.263,8 % respectivamente em relação ao não uso.

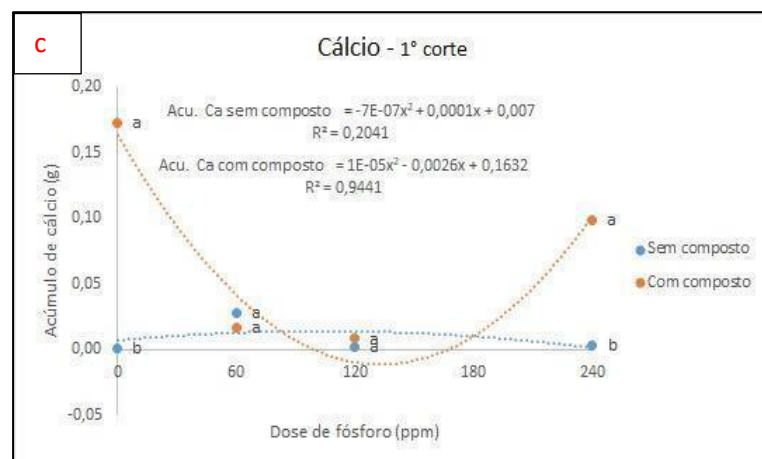
Figura 3: a) Acúmulo de fósforo do 1º corte b) Acúmulo de potássio do 1º corte e c) Acúmulo de cálcio de 1º corte, do capim Mombaça, sob influência de doses de fósforo com ou sem aplicação de fertilizante orgânico do resíduo de produção de cogumelos *Shimeji*, em substrato remanescente de um Cambissolo pós-mineração em área do município de Poços de Caldas-MG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

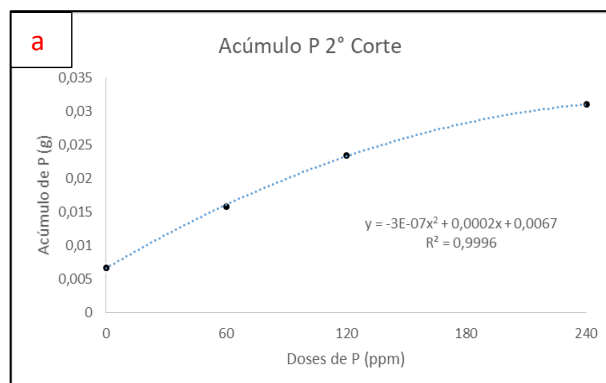
Para acúmulo de k na massa seca do 1º corte (Figura 3b), desdobrando-se os efeitos das Doses de P em cada nível do fator composto, verificou-se ajuste significativo do modelo quadrático, com ponto de mínimo para com composto e de máximo para sem composto. Para o efeito do composto dentro de Doses de P, destaca-se o incremento significativo observado com uso do composto na dose 0P e de 240 (mg dm³) em 2.568 vezes superior e 1.429,2 % respectivamente em relação ao não uso.

Também para o acúmulo de Ca na massa seca (Figura 3c), assim como verificado para o P e K, desdobrando-se os efeitos das Doses de P em cada nível do fator composto, verificou-se ajuste significativo do modelo quadrático, com ponto de mínimo para com composto e de máximo para sem composto. Para o efeito do composto dentro de Doses de P, destaca-se o incremento significativo observado com uso do composto na dose 0P e de 240 (mg dm³), de 135 vezes superior e 30,9 vezes superior em relação ao seu não uso.

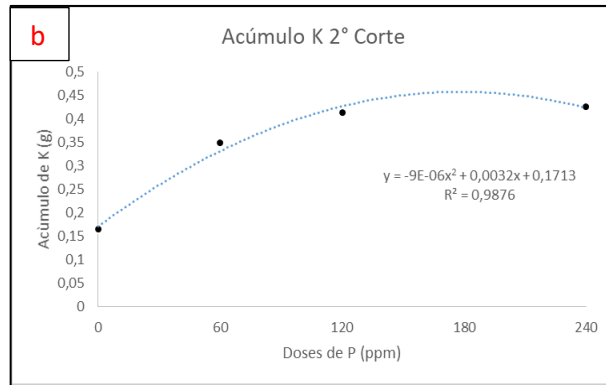
Para o acúmulo do nutriente magnésio do 1º corte não houve interação entre os fatores estudados bem como não houve efeito das doses de P, mas houve efeito da aplicação do composto orgânico, onde em média o uso do composto proporcionou um incremento de 1.011 % em relação ao não uso.

Para o acúmulo de fósforo no 2º corte, verificou-se que não houve interação significativa entre os fatores Doses de P x Aplicação de composto orgânico. Houve efeito significativo das doses de P, isoladamente, ajustando-se uma regressão de modelo quadrático (Figura 4a). O máximo acúmulo foi atingido com a dose estimada de 333,3 ppm de P. Houve efeito significativo do uso do composto, isoladamente, e seu incremento médio em relação ao tratamento sem composto foi de 183,3 %.

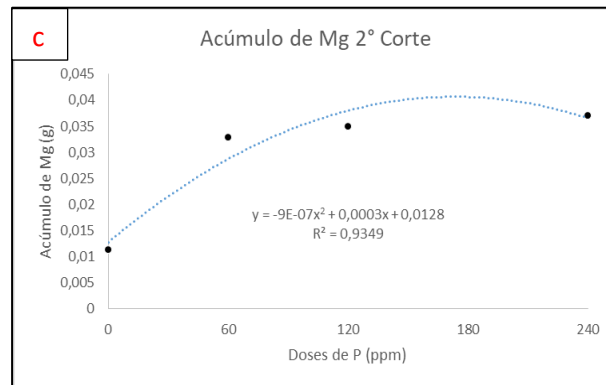
Figura 4: a) Acúmulo de fósforo do 2º corte b) Acúmulo de potássio do 2º corte e c) Acúmulo de magnésio do 2º corte, do capim Mombaça, sob influência de doses de fósforo com ou sem aplicação de fertilizante orgânico do resíduo de produção de cogumelos *Shimeji*, em substrato remanescente de um Cambissolo pós-mineração em área do município de Poços de Caldas-MG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

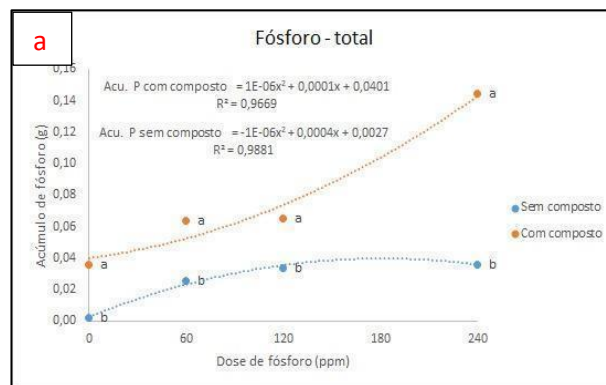
Para o acúmulo do nutriente potássio do 2º corte, verificou-se que não houve interação significativa entre os fatores Doses de P x Aplicação de composto orgânico. Houve efeito significativo das doses de P, isoladamente, ajustando-se uma regressão de modelo quadrático (Figura 4b). O máximo acúmulo foi atingido com a dose estimada de 177,8 ppm de P. Houve efeito significativo do uso do composto, isoladamente, e seu incremento médio em relação ao tratamento sem composto foi de 172,2 %.

Para o acúmulo do nutriente magnésio do 2º corte, verificou-se que não houve interação significativa entre os fatores Doses de P x Aplicação de composto orgânico. Houve efeito significativo das doses de P, isoladamente, ajustando-se uma regressão de modelo quadrático (Figura 4c). O máximo acúmulo foi atingido com a dose estimada de 166,7 ppm de P. Houve efeito significativo do uso do composto, isoladamente, e seu incremento médio em relação ao tratamento sem composto foi de 150,3 %.

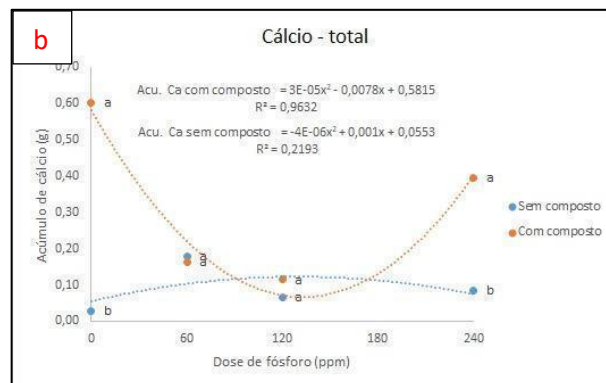
Para o acúmulo do nutriente cálcio do 2º corte não houve interação entre os fatores estudados bem como não houve efeito das doses de P, mas houve efeito da aplicação do composto orgânico, onde em média o uso do composto proporcionou um incremento de 167,9 % em relação ao não uso.

Para acúmulo de P total na massa seca (Figura 5a) desdobrando-se os efeitos das Doses de P em cada nível do fator composto, verificou-se ajuste significativo do modelo quadrático com aplicação do composto, para o efeito do composto dentro de Doses de P, destaca-se o incremento significativo observado com uso do composto na dose 0P 60 e 240 (mg dm³) em 1918,0 %, 250,3% e 400,5 % respectivamente em relação ao não uso.

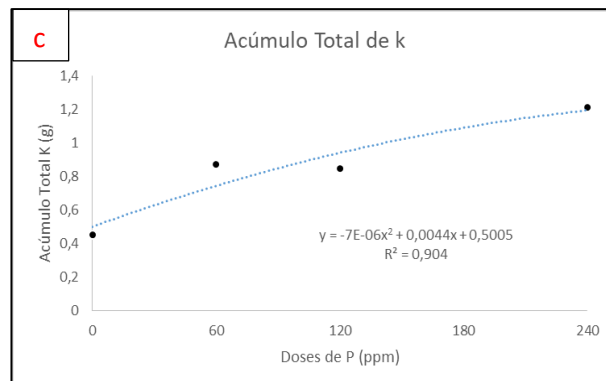
Figura 5: a) Acúmulo de fósforo total b) Acúmulo de cálcio total e c) Acúmulo de potássio total, do capim Mombaça, sob influência de doses de fósforo com ou sem aplicação de fertilizante orgânico do resíduo de produção de cogumelos *Shimeji*, em substrato remanescente de um Cambissolo pós-mineração em área do município de Poços de Caldas-MG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para acúmulo de Ca na massa seca total (Figura 5b) desdobrando-se os efeitos das Doses de P em cada nível do fator composto, verificou-se ajuste significativo do modelo quadrático com aplicação do composto, para o efeito do composto dentro de Doses de P, destaca-se o incremento significativo observado com uso do composto na dose 0P e 240 (mg dm³) em 2.202,1 % e 473,5 % respectivamente em relação ao não uso.

Para o acúmulo do nutriente potássio massa seca total (Figura 5c), verificou-se que não houve interação significativa entre os fatores Doses de P x Aplicação de composto orgânico. Houve efeito significativo das doses de P, isoladamente, ajustando-se uma regressão de modelo quadrática. O máximo acúmulo foi atingido com a dose estimada de 314,3 ppm de P. Houve efeito significativo do uso do composto, isoladamente, e seu incremento médio em relação ao tratamento sem composto foi de 271,8 %.

Para o acúmulo do nutriente magnésio massa seca total não houve interação entre os fatores estudados, mas houve efeito da aplicação do composto orgânico, onde em média o uso do composto proporcionou um incremento de 346,0 % em relação ao não uso.

OURIVES *et al.* (2010) avaliaram os efeitos da aplicação do composto orgânico *Bokashi* sobre os teores de macro e micronutrientes do solo e nas folhas, além da produção de massa seca da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, avaliando o potencial do adubo orgânico como fonte de fósforo, em comparação à adubação química convencional. Os resultados demonstraram um incremento dos teores de fósforo em 4,32 vezes em relação ao tratamento sem adubação.

O aumento dos níveis de fósforo com a aplicação do fertilizante orgânico, reflete a importância de seu uso na construção da fertilidade do solo, principalmente os solos tropicais onde o fósforo é o nutriente mais limitante da produtividade de biomassa (COSTA, SILVA e RIBEIRO, 2013). Além disso, a utilização de fontes orgânicas tende a diminuir a adsorção do fósforo e conseqüentemente propicia maior aproveitamento pela planta do P oriundo da adubação fosfatada (RAMOS *et al.*, 2010).

A deficiência de fósforo pode impactar diretamente a fase regenerativa do ciclo de Calvin, afetando o fluxo adequado de gliceraldeído 3-fosfato do estroma do cloroplasto para o citosol, conforme destacado por WALKER (1983). Para manter esse fluxo sem interrupções, é crucial que o fósforo exportado como fosfato orgânico retorne ao estroma na forma de fosfato inorgânico (Pi). Uma diminuição no suprimento de Pi leva a uma redução na razão [ATP]/[ADP], resultando em uma diminuição na reação de redução do 3-fosfoglicerato e retardando a fase regenerativa do ciclo de Calvin. A máxima eficiência fotossintética (produção de massa seca) é alcançada somente quando a exportação de fósforo orgânico é maximizada, fato ocorrido na dosagem de 240 (mg dm³) com composto.

Segundo as observações de PINHEIRO (2006), os teores de fósforo foliar no capim-Marandu aumentaram proporcionalmente às doses de dejetos líquidos de suínos (DLS) aplicadas (100, 150 e 200 m³/ha/ano). No entanto, de acordo com os estudos de ROSA *et al.* (2004), tanto os tratamentos minerais quanto os orgânicos não influenciaram os teores de fósforo foliar no capim-Marandu, que se mantiveram em torno de 0,3 dag/kg, FREITAS *et al.* (2011) aplicando adubação convencional e dejetos líquidos de suíno também não observou interação da adubação com os teores de fósforo foliar, contudo neste trabalho a aplicação do composto promoveu aumento significativo do acúmulo de fósforo foliar, corroborando com os resultados de pinheiro (2006).

No entanto, COSTA *et al.* (2008) apud GALINDO *et al.* (2018) observaram que a concentração de fósforo (P) no capim-xaraés apresentou uma relação quadrática com o aumento das doses de nitrogênio (N) e potássio (K). O efeito individual da maior dose de N resultou em um aumento de 42,6% na extração de P. Os autores relataram que o principal efeito responsável pelo aumento na extração de P em relação ao controle foi a interação entre a adubação nitrogenada, fosfatada e potássica, resultando em um aumento de 97,4%, tal fato se associa ao verificado nos tratamentos com composto, que tem teor de nitrogênio 15,5 g/Kg, e resultou num maior acúmulo em relação ao não uso.

Conforme mencionado por OLIVEIRA (2004), o potássio (K) não está diretamente associado a nenhum elemento químico específico, mas desempenha um papel importante em diversas reações enzimáticas dentro da planta. FREITAS *et al.* (2011) aplicando adubação convencional e dejetos líquidos de suíno também não observou interação da adubação com os teores de potássio foliar, entretanto neste trabalho houve interação significativa do acúmulo de potássio com a dosagem de fósforo e composto orgânico. Enquanto que GALINDO *et al.* (2018) em seu trabalho de campo com capim Mombaça sob adubação das dosagens de nitrogênio relataram que uma justificativa plausível para o aumento do acúmulo de potássio (K) na parte aérea pode ser atribuída ao possível efeito do aumento da dose de nitrogênio (N), que pode levar a um maior desenvolvimento do sistema radicular, resultando em um aumento na absorção de potássio. Fato também observado no presente trabalho em maior proporção nos tratamentos com composto.

A importância do acúmulo dos macronutrientes é amplamente reconhecida pois esses minerais desempenham funções vitais no organismo animal, incluindo sua participação como componentes estruturais dos tecidos corporais, a regulação do equilíbrio ácido-base, a manutenção da pressão osmótica e permeabilidade das membranas celulares, além de servirem como ativadores de processos enzimáticos (TOKARNIA *et al.*, 2006 apud FREITAS *et al.*,

2011). Dada a importância desses minerais, os acúmulos médios de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas folhas satisfazem as necessidades nutricionais dos bovinos de corte e leite de forma adequada, mostrando a importância dos resultados apresentados neste trabalho pois o incremento médio desses nutrientes foi superior em relação ao não uso do composto orgânico.

Acúmulos dos micronutrientes Zinco, Ferro, Manganês e Cobre

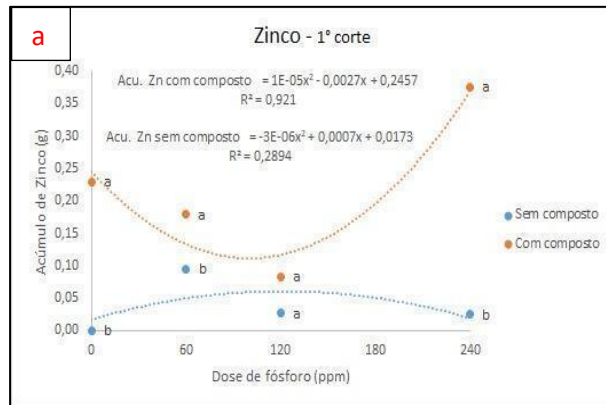
Quanto ao impacto sobre o acúmulo dos Micronutrientes, verificou-se interação significativa entre os Fatores Doses de P e Aplicação do Composto para acúmulo dos micronutrientes (Zn, Fe e Mn) avaliados neste estudo, para o 1º corte.

Para o acúmulo de Zn, (Figura 6a), desdobrando-se os efeitos das Doses de P em cada nível do fator composto, verificou-se ajustes quadráticos significativos tanto com quanto sem aplicação do composto, entretanto, com ponto de mínima para a aplicação do composto e de máxima sem a aplicação do mesmo. Para o efeito do composto dentro de Doses de P, destaca-se o incremento significativo observado, nas doses 0, 60 e 240 (mg dm^3), da ordem de 782 vezes superior, 187,5% 1.504,1% respectivamente, em relação ao seu não uso

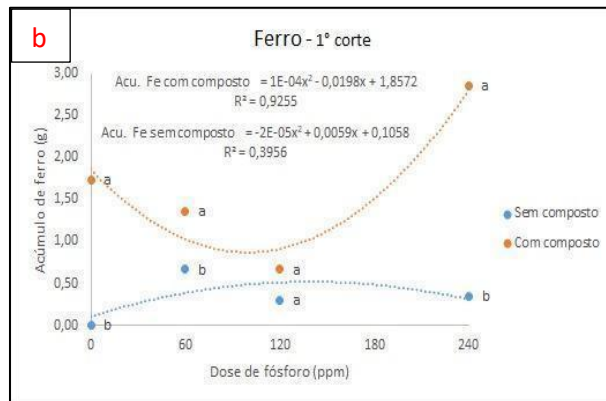
Para o acúmulo de Fe, (Figura 6b), desdobrando-se os efeitos das Doses de P em cada nível do fator composto, verificou-se ajustes quadráticos significativos tanto com quanto sem aplicação do composto, entretanto, com ponto de mínimo para a aplicação do composto e de máximo sem a aplicação do mesmo. Para o efeito do composto dentro de Doses de P, destaca-se o incremento significativo observado, nas doses 0, 60 e 240 (mg dm^3), da ordem de 1.137 vezes superior, 204,7% 841,6% respectivamente, em relação ao seu não uso.

Para o acúmulo de Mn, (Figura 6c), desdobrando-se os efeitos das Doses de P em cada nível do fator composto, verificou-se ajustes quadráticos significativos tanto com quanto sem aplicação do composto, entretanto, com ponto de mínimo para a aplicação do composto e de máximo sem a aplicação do mesmo. Para o efeito do composto dentro de Doses de P, destaca-se o incremento significativo observado, nas doses 0 e 240 (mg dm^3), da ordem de 1.364 vezes superior e 1.747,4% respectivamente, em relação ao seu não uso. Para o cobre não verificou-se interação significativa nem efeito dos fatores isoladamente.

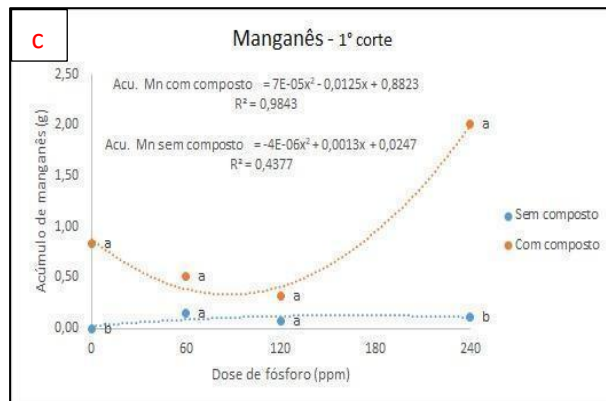
Figura 6: a) Acúmulo de zinco 1º corte b) Acúmulo de ferro 1º corte e c) Acúmulo de manganês 1º corte, do capim Mombaça, sob influência de doses de fósforo com ou sem aplicação de fertilizante orgânico do resíduo de produção de cogumelos *Shimeji*, em substrato remanescente de um Cambissolo pós-mineração em área do município de Poços de Caldas-MG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

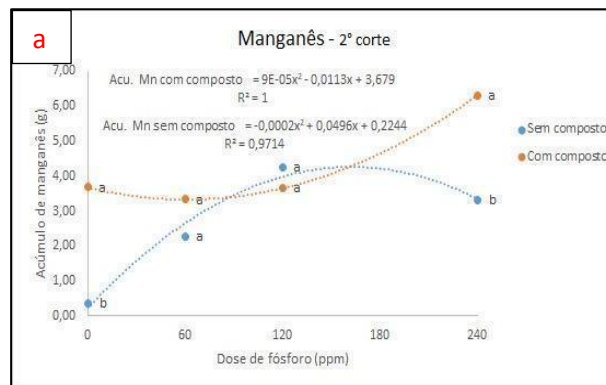


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

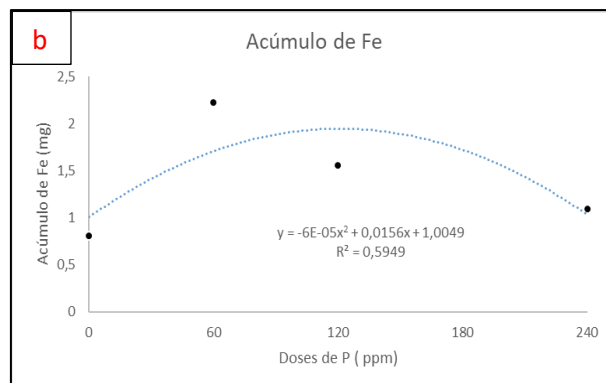
Para o acúmulo de Mn no 2º corte (Figura 7a), desdobrando-se os efeitos das Doses de P em cada nível do fator composto, verificou-se ajustes quadráticos significativos tanto com e sem aplicação composto, entretanto, com ponto de mínima para a aplicação do composto e de máxima sem a aplicação do mesmo. Para o efeito do composto dentro de Doses de P, destaca-se o incremento significativo observado, nas doses 0 e 240 (mg dm³), da ordem de 118,1 % e 166,0 % respectivamente, em relação ao seu não uso.

Figura 7: a) Acúmulo de manganês 2º corte b) Acúmulo de ferro 2º corte, do capim Mombaça, sob influência de doses de fósforo com ou sem aplicação de fertilizante orgânico do resíduo de produção de cogumelos *Shimeji*, em substrato remanescente de um Cambissolo pós-mineração em área do município de Poços de Caldas-MG.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



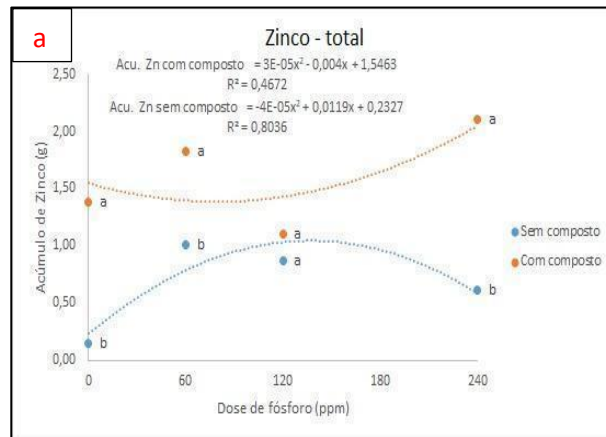
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para o acúmulo do nutriente ferro 2º corte, verificou-se que não houve interação significativa entre os fatores Doses de P x Aplicação de composto orgânico. Houve efeito significativo das doses de P, isoladamente, ajustando-se uma regressão de modelo quadrático (Figura 7b). O máximo acúmulo foi atingido com a dose estimada de 130,0 ppm de P. Houve efeito significativo do uso do composto, isoladamente, e seu incremento médio em relação ao tratamento sem composto foi de 180,9 %. No nutriente cobre não teve interação significativa

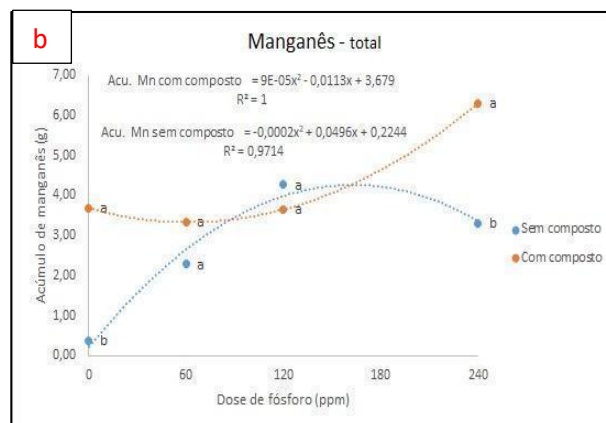
nem efeito dos fatores isolados. Para o acúmulo do nutriente zinco corte 2 não houve interação entre os fatores estudados, mas houve efeito significativo do uso do composto, isoladamente, e seu incremento médio em relação ao tratamento sem composto foi de 162,9 % em relação ao não uso.

Considerando a soma dos cortes, houve interação significativa no acúmulo dos elementos zinco (figura 8a) e manganês (figura 8b).

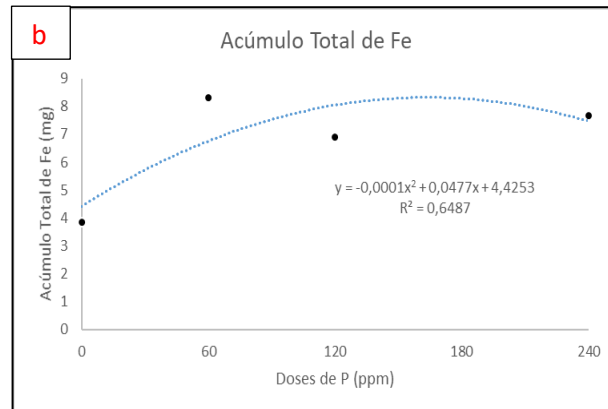
Figura 8: a) Acúmulo de zinco total b) Acúmulo de manganês total e c) Acúmulo de ferro total, do capim Mombaça, sob influência de doses de fósforo com ou sem aplicação de fertilizante orgânico do resíduo de produção de cogumelos *Shimeji*, em substrato remanescente de um Cambissolo pós-mineração em área do município de Poços de Caldas-MG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para o acúmulo de Zn, (Figura 8a), desdobrando-se os efeitos das Doses de P em cada nível do fator composto, verificou-se ajustes quadráticos significativos tanto com quanto sem aplicação do composto, entretanto, com ponto de mínima para a aplicação do composto e de máxima sem a aplicação do mesmo. Para o efeito do composto dentro de Doses de P, destaca-se o incremento significativo observado, nas doses 0, 60 e 240 (mg dm^3), da ordem de 926 %, 180,5% e 344,1 % respectivamente, em relação ao seu não uso.

Para o acúmulo de Mn na massa seca total (Figura 8b), desdobrando-se os efeitos das Doses de P em cada nível do fator composto, verificou-se ajustes quadráticos significativos tanto com quanto sem aplicação do composto, entretanto, com ponto de mínima para a aplicação do composto e de máxima sem a aplicação do mesmo. Para o efeito do composto dentro de Doses de P, destaca-se o incremento significativo observado, nas doses 0 e 240 (mg dm^3), da ordem de 1.749,5 % e 316,6 % respectivamente, em relação ao seu não uso.

Para o acúmulo do nutriente ferro massa seca total (Figura 8c), verificou-se que não houve interação significativa entre os fatores Doses de P x Aplicação de composto orgânico. Houve efeito significativo das doses de P, isoladamente, ajustando-se uma regressão de modelo quadrático. O máximo acúmulo foi atingido com a dose estimada de 238,5 ppm de P. Houve efeito significativo do uso do composto, isoladamente, e seu incremento médio em relação ao tratamento sem composto foi de 214,8 %. No nutriente cobre não teve interação significativa nem efeito dos fatores isolados.

Verifica-se que em relação aos resultados do acúmulo de micronutrientes a aplicação do composto teve importante função no incremento dos nutrientes Zn, Fe e Mn haja vista que esses mesmos micronutrientes, pela análise química do solo, apresentaram baixo nível enquanto que na análise química do composto orgânico esses nutrientes apresentaram alto teor, enquanto que o cobre no composto estava com baixo teor, e também no solo. Quando analisou-se o

acúmulo deste, verificou-se baixos valores mesmo com uso do composto, e impacto negativo das doses de P sobre o mesmo.

Os teores de micronutrientes recomendados por OLIVEIRA (2004) apud FREITAS *et al.* 2011 para *Megathyrsus maximus cv. Mombaça* são de 20 a 50 mg/kg para zinco, de 50 a 200 mg/kg para ferro, 40 a 200 mg/kg para manganês e de 4 a 14 mg/kg de cobre, utilizando esses valores de referência pode-se aferir que no presente trabalho os valores de zinco, ferro e manganês estão em consonância com as necessidades das plantas, e o cobre atendeu nos tratamentos sem composto/ OP e com composto/OP.

O substrato remanescente estudado apresentava nível de acidez baixa, onde um pH tendendo para alcalino prejudica a disponibilidade e absorção do Zn (FREITAS *et al.*, 2011). Com a adição do composto, os processos mediados pela elevação da matéria orgânica tendem a inverter o efeito danoso da alcalinidade, com isso nos tratamentos sem composto a resposta de acúmulo de zinco foi menor em relação ao com composto.

Salienta-se que o acúmulo total de micronutrientes levando-se em consideração os teores recomendados por OLIVEIRA (2004) apud FREITAS *et al.* 2011 para *Megathyrsus maximus cv. Mombaça* pode-se inferir que no presente trabalho os valores dos nutrientes zinco, ferro, manganês e cobre estão em consonância com as necessidades das plantas, porém nos tratamentos com composto esses valores foram em média superiores ao sem composto.

CONCLUSÕES

O estabelecimento inicial da *Megathyrsus maximus cv. Mombaça* em remanescente de mineração de bauxita no município de Poços de Caldas-MG é limitado, mesmo utilizando doses de fósforo recomendadas para cultura, na ausência do composto orgânico obtido de resíduo da agroindústria de cogumelos *Shimeji*.

A aplicação do composto orgânico produzido do resíduo do cogumelo *shimeji* no remanescente de mineração de bauxita no município de Poços de Caldas-MG, sobre o crescimento da *Megathyrsus maximus cv. Mombaça* associada a dosagem de 240 ppm de P de plantio promove acréscimo de 2.283,3 % em relação ao não uso do composto de *shimeji* sem aplicação de fósforo, no primeiro ciclo de crescimento.

No segundo ciclo de crescimento (2 ° corte) a resposta em matéria seca produzida pela *Megathyrsus maximus cv. Mombaça*, aliado a dosagem de 240 ppm de P promove um acréscimo de 641,6 % em relação ao não uso do composto e 0 de fósforo.

O acúmulo de macro e micronutrientes é maximizado na dosagem de 240 ppm de fósforo com uso de vermicomposto do *shimeji* tanto no primeiro corte, segundo corte ou corte total, proporcionando uma gramínea com qualidade nutricional.

O remanescente de mineração de bauxita apresenta limitação em cobre, fato que é agravado com a adubação fosfatada isoladamente. No entanto, quando o fósforo é aplicado junto ao vermicomposto de *Shimeji*, o acúmulo de Cu na matéria seca é potencializado.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. N., COUTINHO, P. W. R., SILVA, D. M. S., OKUMURA, R. S., SALDANHA, E. C. M. Produção de matéria fresca e seca do capim *panicum maximum* cv. “Mombaça” em resposta a adubação fosfatada no Nordeste Paraense. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 9, n. 16, p. 1776 2013.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ARAÚJO, L.C.; SANTOS, A.C.; FERREIRA, E.M.; CUNHA, O.F.R. Fontes de matéria orgânica como alternativa na melhoria das características químicas do solo e produtividade de capim-Mombaça. Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient., Curitiba, v. 6, n. 1, p. 65-72, jan./mar. 2008.
- BELARMINO, M.C.J., PINTO, J.C., ROCHA, G.P., NETO, A.E.F. e De MORAES, A.R. Altura de perfilho e rendimento de matéria seca de capim Tanzânia em função de diferentes doses de superfosfato simples e sulfato de amônio. **Ciênc Agrotecnol**, 2003. 27: 879-885
- BOMFIM-SILVA, E. M. ; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 180-186, abr./jun. 2011.
- CARNEIRO, J. S. S., SILVA, P. S. S., SANTOS, A. C. M., FREITAS, G. A. & SILVA, R. R. Response of grass Mombasa under the effect of sources and doses of phosphorus in the fertilization formation. **Journal of Bioenergy and Food Science**, 4, 12-25 .2017.
- CANTARUTTI, R.;RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 332-342.
- Carvalho, M.M.; Fengler, F.H.; Filho, A.P.; Longo, R.M.; Ribeiro, A.I. Análise da morfométrica de agregados do solo em áreas mineradas em diferentes estágios de recuperação na Amazônia. Revista Ciência Florestal. ISSN 1980-5098. Santa Maria, v. 32, n. 4, p. 2156-2179, out./dez. 2022.
- CECATO, U., PEREIRA, L.A.F. e JOBIM, C.C. Influência das adubações nitrogenada e fosfatada sobre a composição químicobromatológica do capim Marandu (*Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf cv. Marandu). *Acta Scient*, 26: 409-416. 2004.

- CECATO, U.; SKROBOT, V.D.; FAKIR, G.M.; JOBIM, C.C.; BRANCO, A.F.; GALBEIRO, S. e JANEIRO, V. Características morfogênicas do capim mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) adubado com fontes de fósforo, sob pastejo. **Rev Bras Zootecn**, . 36: 1699-1706. 2007.
- CECATO, U.; SKROBOT, V.D.; FAKIR, G.B.; BRANCO, A.F.; GALBEIRO, S. & GOMES, J.A.N. Perfilhamento e características estruturais do capim-mombaça, adubado com fontes de fósforo, em pastejo. **Acta Scientiarum. Animal Science** 30: 1-7.2008.
- COSTA, E.; SILVA, H.; RIBEIRO, P. R. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.
- COSTA, K.A.P.; ARAUJO, J.L.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I.O.; FIGUEIREDO, F.C.; GOMES, K.W. 2008. Extração de macronutrientes na fitomassa do capim-xaraés em função de doses de nitrogênio e potássio. *Ciência Rural*, Santa Maria, 38, 4, pp. 1162-1166
- COSTA, N. L., JANK, L.; MAGALHÃES, J. A., FOGAÇA, F.H.S.; RODRIGUES, A.N.A.; SANTOS, F.J.S. Resposta de *Panicum maximum* cv. Massai à fertilização fosfatada. *Pubvet: Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.11, n.11, p.1163-1168, Nov, 2017.
- DURIGON, R.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; BARCELLOS, L.A.R.; PAVINATO, P.S. Produção de forragem em pastagem natural com o uso de esterco líquido de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, p. 983-992, 2002.
- EICHLER, U.; SERAPHIN, E.S.; PORTES, T.A.; ROSA, B.; ARAUJO, L.A.; SANTOS, G. Produção de massa seca, minerio de perfílios e área foliar do capim Mombaça cultivado em diferentes níveis de nitrogênio e fósforo. **Ciência Animal Brasileira**, v. 9, n. 3, p. 617-626, jul./set. 2008.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. EMBRAPA, 2009.
- FARIA, A.J.G.; FREITAS, G.A.; GEORGETTI, A.C.P.; FERREIRA JÚNIOR, J.M.; SILVA, M.C.A.; SILVA, R.R. da. Efeitos da adubação nitrogenada e potássica na produtividade do capim mombaça cultivados sobre adubação fosfatada. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v.2, n.3, p.98-106, 2015.
- FAVARETTO, N.; MORAES, A.; MOTTA, A.C.V.; PREVEDELLO, B.M.S. Efeito da revegetação e da adubação de área degradada na produção de matéria seca e na absorção de
- FLORENTINO, L.S.; SANTOS, R.M.; OLIVEIRA, A.A.; LANDES, T.S.; PICAZEVICZ, A.A.C. Crescimento do capim *panicum maximum* cv” Mombaça” em resposta a adubação fosfatada na amazonia ocidental. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.16 n.30; p. 2019.
- FERREIRA, E.M., SANTOS, A.C., ARAÚJO, L.C. e CUNHA, O.F.R. Características agronômicas do *Panicum maximum* cv. Mombaça submetido a níveis crescentes de fósforo. **Ciêñ Rural**, 38: 484-491, 2008.

FREITAS, K.R.; ROSA, B.; NASCIMENTO, J.L.; BORGES, R.T.BARBOSA, M.M.; SANTOS, D.C. Composição química do capim-mombaça (*Panicum maximum Jacq.*) submetido à adubação orgânica e mineral. **Ci. Anim. Bras.**, Goiânia, v.12, n.3, p. 407-414, jul./set. 2011

GALINDO, F. S.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; DUPAS, E.; LUDKIEWICZ, M. G. Z. Acúmulo de matéria seca e nutrientes no capim-mombaça em função do manejo da adubação nitrogenada. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia - MS, v. 5, n. 3, p.1-9, jul./set. 2018. ISSN 2358-6303

GIOSTRI, A.F.; BOND, L.F.M.; MOTTA, A.C.V.; PIMENTEL, I.C.; CARVALHO, P.C.F.; DIONÍSIO, J.A. The effects of industrial waste from enzyme production on pasture growth and soil chemical properties. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v. 36, n. 2, p. 247-257, Apr.- June, 2014.

GUERRERO, M.C.; SOUSA, T.R.; OLIVEIRA, S.A.; CALDEIRA, R.R.; PELA, A. Productivity and quality of Mombasa grass under fertilization with pig deep-litter and NPK. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.24, n.7, p.437-443, 2020.

LOPES, C. M., PACIULLO, D. S. C., ARAÚJO, S. A. C., MORENZ, M. J. F., GOMIDE, C. A. M., MAURÍCIO, R. M., & BRAZ, T. G. S. (2017). Plant morphology and herbage accumulation of signal grass with or without fertilization, under different light regimes. **Ciência Rural**, 47(2), e20160472. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160472>.

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

MEIRELES, L. D.; SHEPHERD, G. J.; KINOSHITA, L. S. Variações na composição florística e na estrutura fitossociológica de uma floresta ombrófila densa altomontana na Serra da Mantiqueira, Monte Verde, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 559-574, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042008000400003>.

MELLO, S. Q. S.; FRANÇA, A. F. S.; LANNA, A. C.; BERGAMASCHINE, A. F.; KLIMANN, H. J.; RIOS, L. C.; SOARES, T. V. Adubação nitrogenada em capim Mombaça - produção, eficiência de conversão e recuperação aparente do nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia-GO, v. 09, n. 04, p. 935-947, 2009.

MESQUITA, E.E.; PINTO, J.C.; FURTINI NETO, A.E.; SANTOS, Í.P.A.; TAVARES, V.B. Teores Críticos de Fósforo em Três Solos para o Estabelecimento de Capim-Mombaça, Capim-Marandu e Capim-Andropogon em Vasos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n.2, p. 290-301, 2004

MÜLLER, M. S.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA, A. G. Y; OVEJERO, R. F. L. Produtividade do *Panicum maximum* cv. Mombaça irrigado, sob pastejo rotacionado. **Scientia Agrícola**, São Paulo-SP, v. 59, n. 03, p. 427-433, 2002.

OLIVEIRA, I.P.; CASTRO, F.G.F.; MOREIRA, F.P.; PAIXÃO, V.V.; CUSTÓDIO, D.P.; SANTOS, R.S.M.; FARIA, C.D.; COSTA, K.A.P. Efeito qualitativo e quantitativo da aplicação de fósforo no capim Tanzânia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 30(1): 37-41, jan./jun. 2000.

- OLIVEIRA, S. A. Análise foliar. In: SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. **EMBRAPA Informação Tecnológica**, Brasília:DF, 2004, cap. 10, p.245-256.
- OLIVEIRA, P. S. R., DEMINICIS, B. B., CASTAGNARA, D. D. & GOMES, F. C. N. Efeito da adubação com fósforo do capim Mombaça em solos com texturas arenosa e argilosa. **Archivos de Zootecnia**, 61, 397-406. 2012.
- OURIVES, O.E.A.; SOUZA,G.M.; TIRITAN,C.S.; SANTOS, D.H. Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo de *Brachiaria brizantha* cv.marandú. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 126-132, abr./jun. 2010
- PINHEIRO, E.P. Produção de massa seca e composição químico-bramatológica da *Brachiaria brizantha* stapf cv. maramdu fertilizada com dejetos líquidos de suínos e adubos mineral. 2006. 39 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- PRADO, M. R. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP, 2008.
- RAMOS, S.J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C.R.; SILVA, C.A. Efeito residual das aplicações de fontes de fósforo em gramíneas forrageiras sobre o cultivo sucessivo da soja em vasos. **Bragantia**, v.69, p.149-155, 2010.
- Ricci, M dos S.F. Manual de vermicompostagem. Porto Velho, RO. EMBRAPA- CPAF-Rondônia, pag. 16, 1996.
- ROSA, B.; BARNABÉ, F. H. G. A.; SILVA, L. T.; NAVES, M. A. T.; RAMOS, C. S.; FREITAS, K. R.; MOZENA, W. L. Produção e composição químico- bromatológica do capim Braquiara cv. Marandu fertilizado com diferentes doses de dejetos líquidos de suínos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004. Campo Grande. Anais... Campo Grande, CD ROM.
- SANTOS, I.P.A., PINTO, J.C., SIQUEIRA, J.O., MORAES, A.R. e SANTOS, C.L.. Influência do fósforo, micorriza e nitrogênio no conteúdo de minerais de *Brachiaria brizantha* e *Arachis pintoi* consorciados. **Rev Bras Zootecn**, 31: 605-616, 2002.
- SILVA, A. J.; CUNHA, F.F.; ROQUE, C. G.; SILVA, M.D.T.; RIBEIRO,D.O.;CARBALLAL, M.R. Replacement of liming and NPK fertilization with turkey litter in degraded areas grown with *Urochloa decumbens*. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 2, p. 467-475, 2018.
- SILVA, A. A.; SIMIONI, G. F.; LUCENA, A. Efeito da adubação orgânica no crescimento do capim *Brachiaria brizantha* cv. marandu em parecis/rondônia. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer. Goiânia-GO, v. 9, n. 16, p. 923 - 932, 2012.
- SINGH, V.K.; MALHI,G.S.; KAUR, M.; SINGH, G.; JATAV, H.S. Use of Organic Soil Amendments for Improving Soil Ecosystem Health and Crop Productivity. **Ecosystem Service**, ISBN: 978-1-68507-614-6, 2022.
- TOKARNIA, C. H.; DOBEREINER, J.; PEIXOTO, P. V. Deficiências minerais em animais de fazenda, principalmente bovinos. **Sanidade Animal**. Brasília, DF, p.41-52. 2006. In: DOBEREINER, J. EMBRAPA Informações Tecnológicas. Colégio Brasileiro de Patologia Animal. EMBRAPA Informações Tecnológicas, 282 p. 2005.

TORRES, F.E.; TEODORO, P.E.; RIBEIRO, L.P.; OLIVEIRA, E.P.; OLIVEIRA, M.V.M.; SILVA JUNIOR, C.A.; CORREA, C.C.G. Doses de fósforo no desenvolvimento inicial e produção de forragens de culturas de *panicum maximum*. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 32, n. 6, p. 1537-1544, Nov./Dec. 2016.

WALKER, D. C3, C4: mechanisms, and cellular and environmental regulation, of photosynthesis. Worcester: Book-plan, 1983. 524 p.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou os desafios inerentes ao estabelecimento de forrageiras de médio e alto rendimentos nos substratos pós-mineração na região de Poços de Caldas. Posteriormente, foram identificados os benefícios da adição de fertilizante orgânico ao solo, potencializando os efeitos positivos na construção da fertilidade e consequentemente sobre as plantas.

O processamento do resíduo de cogumelo *shimeji* transformando-o em um vermicomposto foi possível e resultou em um composto orgânico com níveis significativos nos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), ferro (Fe), Manganês (Mn) e cobre (Cu), também apresentou alto nível de carbono orgânico e nitrogênio. Evidenciando o potencial desse composto como uma opção viável para a fertilização do substrato investigado. Observou-se que a dose de 10 t ha⁻¹ pode trazer benefícios imediatos em crescimento do capim Mombaça, sinalizando para que trabalhos futuros avaliem seus efeitos residuais no solo a partir de aplicações sucessivas.

A aplicação do vermicomposto e dosagens de fosforo resultou em respostas positivas na produção de matéria seca, acúmulos de macro e micronutrientes nessa massa seca do capim Mombaça.

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam o potencial do vermicomposto produzido do resíduo da produção de cogumelos *shimeji* como uma opção eficaz para a fertilização do substrato pós-minerado, aliado a adição de fosforo. Além disso, os resultados destacam que o estabelecimento de uma pastagem de alto rendimento nessas áreas é severamente comprometido se o manejo da adubação se limitar apenas à calagem e/ou adubação química convencional.

REFERÊNCIAS

- BARBEDO, P.F.; ASSUNÇÃO, M.L.P.; ALVES, R.V.; LIMA, M.S.; BORGHI, N.F.; KNOBLAUCH, A.S.S.; SILVA, J.O.; GARCIA, R.R.F. Produção de diferentes cultivares de panicum maximume urochloa brizantha adubados com nitrogênio e potássio. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v.6, n.8, p. 60163-60169 ago.2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/15298/12607>. Acesso em: 29 jan. 2023.
- BRASIL. Decreto federal nº 9.406 de 12 de junho de 2018. Publicado em: 13/06/2018. Edição: 112. Seção: 1. Página: 1. Órgão: Atos do Poder Executivo. Institui o Novo Marco Regulatório da Mineração. **Diário Oficial da União** Brasília: 2018.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Quanto lixo é produzido no Brasil, 2012**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/component/fsf/?view=faq&catid=11&faqid=264>. Acesso em: 29 jan. 2020.
- BRASIL; Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050** (PNF 2050) Brasília: SAE, 2021, 195 p.1v.: il.
- CARVALHO, M.M.; FENGLER, F.H.; FILHO, A.P.; LONGO, R.M.; RIBEIRO, A.I. Análise da morfométrica de agregados do solo em áreas mineradas em diferentes estágios de recuperação na Amazônia. **Revista Ciência Florestal**. ISSN 1980-5098. Santa Maria, v. 32, n. 4, p. 2156-2179, out./dez. 2022.
- CETESB- Companhia ambiental do estado de São Paulo. **Resíduos Sólidos, 2020** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos>. Acesso em: 28 de janeiro de 2020.
- CORREIO BRAZILIENSE. Agronegócio: Consumo e produção de cogumelos cresce no Brasil, **Correio Braziliense**, [s. l.] 29 jan. 2018. Disponível em: https://www.correio braziliense.com.br/app/noticia/economia/2018/01/29/internas_economia,656318/consumo-e-producao-de-cogumelos-no-brasil.shtml. Acesso em: 29 jan. 2020
- EMBRAPA. **Produção de húmus de minhoca com resíduos orgânicos domiciliares: 2008**. Aracaju, 2008. Documento 126. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2008/Doc-126.pdf. Acesso: 29 jan. 2020.
- EMBRAPA. Manejo do capim-mombaça para períodos de águas e seca. **EMBRAPA**, [s. l.] 3 out. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2118000/artigo-manejo-do-capim-mombaca-para-periodos-de-aguas-e-seca>. Acesso: 10 dez. 2022.
- FERREIRA, C.F. **Fertilidade do solo: correção e adubação**. Curitiba: SENAR - Pr., 2016. – 1 v, P. 12. Disponível em: <https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/11/PR.0319-Fertilidade-Solo.pdf>. Acesso: 23 fev. 2023
- FONSECA, L.S., ARAÚJO, A. N. F., MACHADO, A. E. V., SIQUEIRA, F. G. de, LEMOS, M., MENDONÇA, S. Caracterização química do resíduo pós-cultivo de cogumelos destoxicantes em torta de algodão. ENCONTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA AGROENERGIA, 4.,2017, Brasília, DF. **Anais**[...] Brasília, DF: Embrapa, 2017.

GOMES, D.; AKAMATSU, I.; SOUZA, E.; FIGUEIREDO, G. J. B. Censo paulista de produção de cogumelos comestíveis e medicinais. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 1-6, 2016.

GUIMARÃES, R.N.; MATOS, A.T.; CARPANEZ, T.G. Alterações químicas e sanitárias em solos e estéril de mineração receptores de lodo de esgoto sanitário, composto orgânico e fertilizante mineral. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v.27, n.4, p.783-793, 2022, <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200225>.

KORAH, E. K. **Produção do cogumelo comestível *Pleurotus ostreatus* em resíduos lignocelulósicos e avaliação das características do substrato exaurido visando sua utilização como fertilizante orgânico**. 2000. 118f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2000.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MATOS, A.T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. 1. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2014. 240p

NASCIMENTO, H. L. B. do. **Cultivares de *Panicum maximum* adubadas e manejadas com frequência de desfolhação correspondente a 95% de interceptação luminosa**. Dissertação (Mestrado em zootecnia). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 67f. 2014.

ONU - Organização das Nações Unidas. Podemos alimentar o mundo e garantir que ninguém passa fome? ONU [s. l.] 18 dez. 2019. Disponível em: <https://unric.org/pt/podemos-alimentar-o-mundo-e-garantir-que-ninguem-passa-fome>. Acesso em: 28 de jan. 2020.

SANTOS, D. C.; CASTILHOS, D. D.; PAULETTO, E. A.; FERNANDES, F. F.; PINTO, L. F. S.; CASTILHOS, R. M. V. Biomassa e atividade microbiana em solo construído após mineração de carvão e submetido a diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Agrociência**. Pelotas, v.14, n.3-4, p.135-146, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Identificação da área e coleta de amostras para caracterização

Figura 9: Identificação da área pós-mineração e coleta de amostras de solo para caracterização no município de Poços de Caldas-MG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE B – Caracterização da propriedade rural

Figura 10: a) início processo produção *shimeji*; b) estufas de produção; c) estufas em produção; d) *shimeji* pronto para colheita; e) descarte do resíduo de produção do *shimeji*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE C – Produção de vermicomposto

Figura 11: a) Início da vermicompostagem; b) 2 meses de processo; c) 4 meses de processo; d) composto pronto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE D – Coleta do remanescente para condução experimental em vasos

Figura 12: a) Coleta do remanescente de mineração para condução do experimento, b) Armazenamento para transporte e c) Transporte ao IFSULDEMINAS.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE E – Preparação do remanescente para experimento em vasos

Figura 13: Processamento do remanescente.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE F – Preparação dos vasos para experimento

Figura 14: Pesagem e identificação dos vasos para o experimento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE G – Preparação e adição da solução de fósforo

Figura 15: Preparação de poluição de fósforo e adição nos vasos correspondentes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE H – Pesagem e adição das sementes ao composto

Figura 16: Pesagem das sementes e do composto orgânico para adição nos vasos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE I- Condução experimental em casa de vegetação

Figura 17: Experimentos de condução em casa de vegetação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE J – Corte do capim Mombaça para análise de matéria seca e acúmulo de nutrientes

Figura 18: Corte da forrageira para análises.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).