



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO MINERAL DO MILHO CULTIVADO COM  
FERTILIZANTE ORGANOMINERAL À BASE DE RESÍDUOS DE CARVÃO E DE  
VERMICULITA**

**VITOR MANOEL BEZERRA DA SILVA**

**POMBAL-PB**

**2023**

**VITOR MANOEL BEZERRA DA SILVA**

**CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO MINERAL DO MILHO CULTIVADO COM  
FERTILIZANTE ORGANOMINERAL À BASE DE RESÍDUOS DE CARVÃO E DE  
VERMICULITA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a  
Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias  
(UAGRA) – CCTA/UFMG, Curso de Agronomia,  
como requisito para obtenção do grau de  
Bacharel em Agronomia.

**Orientadora:** Prof. Dra. Adriana Silva Lima

**POMAL-PB**

**2023**

S586c Silva, Vitor Manoel Bezerra da.  
Crescimento e composição mineral do milho cultivado com  
fertilizante organomineral à base de resíduos de carvão e de vermiculita /  
Vitor Manoel Bezerra da Silva. – Pombal, 2023.  
44 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em  
Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro  
de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.

“Orientação: Profa. Dra. Adriana Silva Lima”.  
Referências.

1. *Zea mays* L. 2. Eficiência nutricional. 3. Grandes culturas. I. Lima,  
Adriana Silva. II. Título.

CDU 633.15 (043)

**VITOR MANOEL BEZERRA DA SILVA**

**CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO MINERAL DO MILHO CULTIVADO COM  
FERTILIZANTE ORGANOMINERAL À BASE DE RESÍDUOS DE CARVÃO E DE  
VERMICULITA**

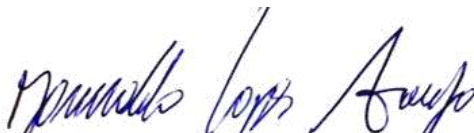
Trabalho de conclusão de curso apresentado a Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias (UAGRA) – CCTA/UFCG, Curso de Agronomia, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 24/11/2023

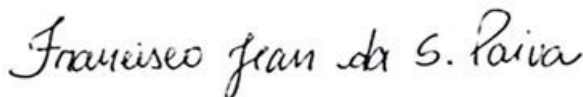
BANCA EXAMINADORA



Orientadora - Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Silva Lima  
(UAGRA/CCTA/UFCG)



Co-orientador - Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo Rocha  
(Universidade Federal de Campina Grande – CTRN – UAEA)



Membro - M. Sc. Francisco Jean da Silva Paiva  
(Universidade Federal de Campina Grande – CTRN – UAEA)



Membro - M. Sc. Reynaldo Teodoro de Fátima  
(Universidade Federal da Paraíba- PPGA/CCA/UFPB)

**POMAL-PB**

**2023**

“Aquele que quer aprender gosta que  
lhe digam quando está errado; só o  
tolo não gosta de ser corrigido”.

Provérbios 12:1

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por me ajudar a superar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

Aos meus pais Mosmaildo e Maria Geuma, que não mediram esforços para que esse sonho se tornasse realidade, e por todo o carinho, amor e educação que sempre me deram.

À minha irmã Vitória por sempre se fazer presente em minha vida.

À minha namora Flávia Almeida, por todo amor e carinho durante essa jornada. Por estar comigo nos momentos difíceis da minha vida.

Ao meu professor orientador Josinaldo, que me acompanhou pontualmente, fornecendo o suporte necessário para a elaboração deste trabalho.

À todos os professores do curso, em especial a Adriana Silva e Ewerton Marinho, pelos ensinamentos repassados e tempo disponibilizado para o esclarecimento de dúvidas, a vocês toda a minha admiração.

À equipe que compõe a empresa EMPAER, em especial a Seu Inácio pelo acolhimento e conhecimentos transmitidos, que foram de grande valia e contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos colegas de estágio, pela cumplicidade e apoio.

Aos amigos que o curso me proporcionou, Nadiana Praca, Letícia Silva, Mônica, Wallace, Alexandre, Felício, Carlos Augusto, Sávio, Rafaela Torres, Victoria Colman, Thais, que estiveram sempre comigo ao longo dessa jornada. Tenho profunda estima por cada um de vocês. Muito obrigado por toda a reciprocidade.

Aos amigos, Leandro, Michel, Rodolfo e Luiz, que participaram ativamente na condução de experimentos, nos quais pude aprender e compartilhar experiências.

Aos pernambucanos, Henrique Peixoto, Jair Barros, José Vitor, Edgar, Pedro Felipe, Igor Antônio e Sávio Callou, que se tornaram minha segunda família em Pombal, agradeço pelos momentos de alegria e descontração que ficarão eternamente gravados em minha memória.

A Universidade Federal de Campina Grande, CCTA, por dar suporte para execução do presente trabalho e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por incentivar a pesquisa.

Enfim, a todos que colaboraram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A extração de carvão vegetal, ainda que certificada, e a do mineral da vermiculita, provocam impactos ambientais negativos no ambiente devido ao acúmulo de resíduos gerados pelas indústrias. Uma das alternativas para mitigar estes impactos é o uso agrícola destes resíduos na formulação de fertilizantes ambientalmente sustentáveis, sobretudo na cultura do milho, que apresenta elevada exigência nutricional ao longo do ciclo. Desta forma, objetivou-se com a pesquisa estabelecer a eficiência do fertilizante organomineral, formulado com resíduos da extração do carvão vegetal, vermiculita e esterco bovino, na nutrição e crescimento da cultura do milho. Para isso, foi realizado um experimento em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com oito tratamentos e quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais. Os tratamentos corresponderam a sete doses do fertilizante proposto (0; 1,25; 2,50; 3,75; 5,00; 6,25 e 7,50 t ha<sup>-1</sup>) e um tratamento controle com base na recomendação de adubação para o milho. O fertilizante organomineral foi composto por 40% de carvão vegetal 40% de resíduo de vermiculita e 20% de esterco bovino. A cultivar de milho verde utilizada foi a AG 1051, o qual permaneceu por 70 dias em vasos contendo de 7 L de solo. O incremento das doses do fertilizante elaborado a partir do resíduo de vermiculita, carvão vegetal e esterco bovino promoveu aumento do crescimento do milho aos 70 dias após o semeio. A dose de até 5,25 t/ha do fertilizante elaborado promoveu maior acúmulo de fitomassa em plantas de milho aos 70 dias após o semeio. O fertilizante se mostrou promissor quando ao acúmulo de nitrogênio e fósforo nos tecidos vegetais, sendo este comportamento inverso quando ao acúmulo de potássio. Houve incremento do pH e no teor de potássio no solo à medida em que se aumentou a dose do fertilizante elaborado.

**Palavras-chave:** *Zea mays L.*, eficiência nutricional, grandes culturas.

## ABSTRACT

The extraction of vegetation charcoal, even if certified, and the extraction of vermiculite mineral, cause negative environmental impacts on the environment due to the accumulation of waste generated by industries. One of the alternatives to mitigate these impacts is the agricultural use of these residues in the formulation of environmentally sustainable fertilizers, especially in corn crops, which have high nutritional requirements throughout the cycle. Thus, the objective of the research was to establish the efficiency of organomineral fertilizer, formulated with residues from the extraction of charcoal, vermiculite and cattle dung, in the nutrition and growth of corn crops. For this, an experiment was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design, with eight treatments and four replications, totaling 32 experimental units. The treatments corresponded to seven doses of the proposed fertilizer (0; 1.25; 2.50; 3.75; 5.00; 6.25 and 7.50 t ha<sup>-1</sup>.) and a control treatment based on the recommendation of fertilizer for corn. The organomineral fertilizer was composed of 40% charcoal, 40% vermiculite residue and 20% cattle manure. The green corn cultivar used was AG 1051, which remained for 70 days in pots containing 7 L of soil. The increase in doses of fertilizer made from vermiculite residue, charcoal and cattle manure promoted an increase in corn growth 70 days after sowing. The dose of up to 5.25 t/ha of the elaborated fertilizer promoted greater accumulation of phytomass in corn plants 70 days after sowing. The fertilizer showed promise when it comes to the accumulation of nitrogen and phosphorus in plant tissues, with this behavior being the opposite when it comes to the accumulation of potassium. There was an increase in pH and potassium content in the soil as the dose of fertilizer produced was increased.

**Keywords:** *Zea mays* L., nutritional efficiency, large crops.



## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	7
<b>ABSTRACT</b> .....	8
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	12
2.1 Geral .....	12
2.2 Específicos.....	12
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
3.1 Aspectos gerais da cultura do milho .....	13
3.2 Mineralogia da vermiculita .....	13
3.3 Localização das jazidas de vermiculita .....	14
3.4 Viabilidade do uso de resíduos de vermiculita na produção vegetal.....	14
3.5 Carvão vegetal.....	15
3.6 Finos de carvão vegetal .....	16
3.7 Fertilizante organomineral.....	17
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	18
4.1 Local do estudo e obtenção das matérias-primas.....	18
4.2 Preparo do produto, fertilizante organomineral .....	19
4.3 Tratamentos e delineamento experimental .....	20
4.4 Condução do experimento .....	21
4.5 Variáveis analisadas .....	21
4.5.1 Crescimento .....	21
4.5.2 Química do solo .....	22
4.5.3 Fitomassa e acúmulo de nutrientes .....	22
4.5.4 Análise estatística .....	22
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	23
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	38
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	39

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura amplamente utilizada na alimentação humana e animal, além disso, possui aptidão para fabricação de silagem e etanol. Essa ‘*commodity*’ é classificada como o terceiro cereal mais cultivado no mundo inteiro, possui elevado valor de mercado e ainda desempenha um grande papel social. O Brasil, detém mais de 100 milhões de toneladas do produto, sendo superado apenas pela China e Estados Unidos (SIMONETTI, 2023; CONAB, 2020). Em função do aumento da área plantada e da recuperação de produtividade, no que se refere a terceira safra 22/23, o Brasil conseguiu aumentar a produção para 130 milhões de toneladas de milho (CONAB, 2023). Neste sentido, com o aumento das áreas agricultáveis, há também um aumento significativo do consumo de fertilizantes minerais.

A necessidade de ampliação da produção de alimentos tem levado ao aumento do consumo de fertilizantes na agricultura, especialmente dos minerais sintéticos (BENITES et al., 2022). Apesar disso, a produção e o uso de fertilizantes minerais sintéticos, embora necessários à produção agrícola, além de impactarem negativamente o ambiente, as matérias-primas empregadas não são renováveis, e portanto, têm prazo determinado para acabarem (AZIZ et al., 2019).

O Brasil apresenta grande dependência pela aquisição de fertilizantes de outros países como Marrocos, China, Canadá, Estados Unidos, Rússia e Ucrânia, especialmente em relação aos fertilizantes fosfatados e potássicos (SANTOS et al., 2016). Dessa forma, faz-se necessário estabelecer novas tecnologias para o emprego de matérias-primas socioeconômicas e ambientalmente sustentáveis, como fonte de nutrientes para as plantas. Além do mais, o aproveitamento agrônomico de resíduos industriais, como aqueles gerados pela mineração de vermiculita, assim como os resíduos de carvão (fino de carvão) resultado da produção e manuseio do vegetal, podem reduzir parte dos impactos gerados por estas atividades (MARCELINO et al., 2022).

Os resíduos de vermiculita apresentam em sua composição nutrientes como potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), os quais fazem parte da estrutura de minerais silicatados como vermiculita, muscovita e biotita que compõem estes resíduos (SILVA et al., 2021; MARCELINO et al., 2022).

Outro resíduo que pode ser empregado como matéria-prima na produção de fertilizantes, especialmente os organominerais, são os resíduos finos de carvão vegetal (MENDONÇA, 2017). De acordo com Ribeiro (2016), os resíduos finos de carvão vegetal contêm nutrientes de plantas como K, Ca e Mg e carbono, em concentrações que podem contribuir com a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, e assim, melhorar o desempenho das culturas.

Visto que, são incipientes ou inexistentes estudos sobre a utilização desses resíduos na composição de fertilizantes agrícolas, se faz necessário o desenvolvimento de pesquisas que averiguem a eficiência destes sob as características agronômicas das culturas, especialmente daquelas produzidas em larga escala.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar a eficiência de um fertilizante organomineral formulado a partir da mistura de resíduos da mineração, carvão vegetal e esterco bovino, sob o crescimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho e seus efeitos sob características do solo utilizado no experimento.

### **2.2 Específicos**

Avaliar o crescimento através da altura de plantas, diâmetro dos colmos e índice de área foliar de plantas de milho adubadas a partir da formulação de um fertilizante organomineral;

Quantificar o acúmulo de fitomassa em plantas de milho adubadas a partir da formulação de um fertilizante organomineral;

Determinar o acúmulo de nutrientes em plantas de milho e avaliar a eficiência do produto formulado, relação a fertilizantes solúveis comerciais;

Avaliar as características químicas do solo cultivado com milho e adubadas a partir da formulação de um fertilizante organomineral.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Aspectos gerais da cultura do milho**

O milho (*Zea Mays* L.) é uma cultura originária do México, que sofreu adaptações morfológicas por meio de domesticação a partir do seu ancestral teosinto. Essa gramínea pode ser cultivada em diversas regiões do planeta, sua alta variabilidade de genótipos confere adaptações para climas subtropicais e tropicais (Duarte et al., 2016).

A condução eficaz do milho ao longo do seu ciclo de vida é crucial para otimizar a produção. Para contornar as variações ambientais e genéticas que tornam uma escala de tempo impraticável para contabilizar seu desenvolvimento, assim, o ciclo do milho foi subdividido em estádios fenológicos, identificados por características geralmente morfológicas como número de folhas, cujos estádios/subperíodo são: germinação, emergência, crescimento vegetativo, florescimento, frutificação e maturidade, em que cada estágio possui necessidades fisiológicas diferentes (FANCELLI, 2015).

De modo geral a família das Poaceae da qual pertence essa gramínea, possui alta responsividade ao uso de insumos, principalmente a adubação nitrogenada, na qual apresenta dinâmica complexa no solo com altas perdas por lixiviação e volatilização. Cujo a disponibilidade irá depender da fonte do adubo, sistema de cultivo, práticas de manejo e condições edafoclimáticas (FIGUEIREDO et al., 2005).

#### **3.2 Mineralogia da vermiculita**

A vermiculita compreende o grupo de filossilicatos, na qual a estrutura contém arranjos em folha octaédrica inserida entre duas folhas tetraédricas, empilhados por cátions lamelares e com a presença de Ca, K, Na e Mg hidrolisados (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008). A composição geral de uma vermiculita é de micas que se constitui em um silicato hidratado de magnésio, ferro e alumínio, em termos de óxidos, é 14,4% MgO, 43,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 12,8% FeO, 11,9% SiO<sub>2</sub>, 17,9% H<sub>2</sub>O. Geralmente existem variações do cálcio por sódio e por potássio também, assim como na vermiculita de Santa Luzia-PB, que tem um teor de aproximadamente 5% de K<sub>2</sub>O em sua composição (FRANÇA et al., 2010).

### **3.3 Localização das jazidas de vermiculita**

A intensificação da mineração no sertão paraibano tem uma relevante expressão socioeconômica, onde se situa o processo de beneficiamento de vermiculita no município de Santa Luzia-PB. Estas atividades são desenvolvidas na MPL - Mineração Pedra Lavrada Ltda, situada próxima a BR 230, km 277. O Município de Santa Luzia-PB encontra-se localizado na Região do Seridó Ocidental Paraibano e integrante da Região Metropolitana de Patos-PB. No Brasil há depósitos e jazidas de vermiculita no estado da Paraíba, Goiás e Piauí. A extração deste mineral gera forte impacto ambiental, pois implica geralmente na remoção da camada superficial do solo na área da jazida e na deposição superficial de resíduos (IBRAM, 2010).

### **3.4 Viabilidade do uso de resíduos de vermiculita na produção vegetal**

Geralmente, quando aplicamos resíduos minerais diretamente no solo, a taxa de liberação destes nutrientes para as plantas é muito lenta, e não atende às necessidades nutricionais de espécies de rápido crescimento como milho (MACEDO et al., 2020). Portanto, sua utilização como fonte de nutrientes está condicionada ao uso de aditivos ou aplicação de processos térmicos, capazes de acelerar o processo de liberação de nutrientes que seja compatível com a necessidade das plantas (VASANTHI et al., 2018; FOMINA & SKOROCHOD, 2020).

Neste sentido, Sousa et al. (2011) verificaram que resíduos da exploração da vermiculita no município de Santa Luzia (PB) apresentaram 3,46% de  $K_2O$ , Ca 9,35% CaO e Mg 16,14% MgO e cujo difratograma de raios-X demonstrou que vermiculita, Mg-hornblenda, quartzo e hidrobiotita foram os principais minerais do resíduo estudado. França et al. (2010) observaram que resíduos de vermiculita provenientes da União Brasileira de Mineração (UBM), situada em Campina Grande PB, continham 4,6% de  $K_2O$  e 21% de MgO e mineralogia composta principalmente por quartzo, vermiculita e Mg-hornblenda.

Uma das principais características dos fertilizantes de liberação rápida disponíveis no mercado é o seu elevado custo de aquisição e a inconsistência dos benefícios por eles proporcionados, uma vez que nem sempre produz os efeitos desejados (DOMINGHETT et al., 2016). Desta forma, alternativas de menor custo e de baixo impacto ambiental, precisam ser desenvolvidas para tornar a adubação das culturas, uma técnica mais econômica, social e ambientalmente sustentável,

utilizando-se matérias-primas geralmente não aproveitadas pelas indústrias e descartadas no ambiente, como os resíduos de mineração.

Apesar de apresentar elevados teores de nutrientes, a liberação de K, Ca e Mg nos resíduos da mineração de vermiculita é um processo muito lento, tendo em vista que depende do intemperismo químico dos minerais presentes (FRANÇA et al., 2010; SOUSA et al., 2012; LI et al., 2015). Desta forma, quando estes resíduos são aplicados diretamente no solo como fonte de nutrientes, quase sempre não proporcionam aumento no crescimento ou produtividade das plantas (LEITE et al., 2016; SANTOS et al., 2016; LEITE et al., 2018).

Embora não existam muitas pesquisas com uso de resíduo de mineração como fonte de nutrientes primárias, devido a liberação lenta em seu estado natural, sabe-se que este já é utilizado em testes de germinação de plântulas e na composição de substratos. Devido às propriedades de troca iônica, a vermiculita pode ser utilizada em processos de remoção de contaminantes no meio em que é inserida, confere estímulo o crescimento radicular, aeração e ainda um aumento da CTC do solo (CUCINELLI NETO; UGARTE, 2007). Para converter minerais primários de baixa solubilidade, como os resíduos de vermiculita, em fontes de nutrientes, faz-se necessário a adição de produtos, agentes ou processos capazes de acelerar o processo de intemperismo químico, através da hidrólise desses minerais e assim torná-los fontes de nutrientes para as plantas (ETESAMI et al., SILVA et al., 2021).

### **3.5 Carvão vegetal**

O carvão vegetal ou “biochar” é mundialmente conhecido como biocarvão, que é proveniente do processo de queima da biomassa fresca das madeiras de espécies florestais e bagaço, sendo carbonizada em condições controladas de temperatura e oxigênio (LEHMANN; JOSEPH, 2009). Esse tipo de material tem sido bastante usado na recuperação de áreas degradadas e em cultivos agrícolas, entre seus benefícios podemos citar um aumento na CTC do solo, o que influencia diretamente nos processos e manutenção da microbiota do solo em geral, com as reações de adsorção de nutrientes (MORALES, 2010).

Esse produto vegetal é advindo do processo de combustão em que se objetiva o aumento no teor de carbono na matéria seca do vegetal por meio da expulsão do conteúdo de água intercelular, o que confere um material de fácil combustão

(MENDONÇA, 2017). De acordo com Mendonça (2017) mais de 20% de carvão vegetal são perdidos devido ao processo de seleção para obter-se o carvão vegetal comercial, além disso, choques entre os grãos no manuseio para o transporte podem aumentar ainda mais esta perda. Segundo Rousset et al. (2011) na condução e manejo do carvão, são perdidos cerca de 25% do material em formas de “finos de carvão”, devido a sua alta friabilidade, acarretando perdas na produção total.

De acordo com Ribeiro (2016), o resíduo fino de carvão possui 236 g/kg de carbono, 14g/kg de nitrogênio, 0,8 g/kg de fósforo, 5,2 g/kg de potássio, 41,2 g/kg de cálcio e 5,6 g/kg de magnésio. Embora estas concentrações possam variar de acordo com o tipo de madeira ou fonte de carbono utilizada durante a pirólise, estes dados indicam que este resíduo pode ser utilizado como uma fonte suplementar de nutrientes para as plantas, se empregado adequadamente ou acrescentado a outros componentes, como os resíduos de mineração e esterco bovino.

Portanto, embora haja poucas pesquisas sobre o uso de resíduos de carvão na agricultura, suas características químicas indicam se tratar de um material com potencial para compor fertilizantes organominerais, principalmente em função do elevado teor de carbono e teores consideráveis de potássio, cálcio e magnésio.

### **3.6 Finos de carvão vegetal**

Na agricultura familiar é ainda comum a prática de queima de vegetação para posteriormente ser feito o preparo do solo, causando problemas ambientais como poluição da atmosfera, volatilização de nutrientes e destruição da microbiota do solo. O fato é ainda mais agravante quando é considerada a liberação instantânea de nutrientes da matéria orgânica, como Ca, Mg, N, e P resultante da queima, e ainda torna o solo suscetível a erosões (SILVA et al., 2021).

Como forma de reutilização dos resíduos de carvão vegetal, o pó dos fragmentos pequenos (finos de carvão), é capaz de ser usado na produção de plantas devido à contribuição para a retenção de água, porosidade, multiplicação de organismos presentes no solo, compostos orgânicos solúveis e substratos (MADARI et al., 2006).

A aplicação de carvão vegetal de textura finos ao solo pode melhorar seus atributos físicos, químicos e biológicos em função da adição de carbono e nutrientes minerais ao solo (AMOAHA-ANTWI et al., 2020). Neste sentido, Coimbra et al. (2021)



observaram um aumento significativo no crescimento e produção de massa seca de cedro australiano devido ao aumento de doses de moinha de carvão vegetal aplicado no substrato na proporção de até 15%.

Em relação aos benefícios advindos do carvão vegetal, tanto a eficiência, quanto as reações físico-químicas do seu uso, estão diretamente ligadas a granulometria do material, não existindo muitos estudos que definam esse parâmetro. De acordo com Mendonça (2017), em seu estudo com carvão vegetal, observou-se na análise química do solo que o fino de carvão vegetal na granulometria G2 (2 a 4 mm) apresentou os melhores resultados em condutividade elétrica, pH, P, Ca, Mg, S e Mn, além de estimular a parte aérea e raízes.

### **3.7 Fertilizante organomineral**

Em conformidade com a Lei Federal 6.894, de 16 de dezembro de 1980, podem ser considerados fertilizantes organominerais, um produto alternativo no qual combina componentes minerais e orgânicos. Estes necessitam atender concentrações mínimas de nutrientes essenciais, macro e micronutrientes, além de material orgânico.

Diversas espécies vegetais, principalmente perenes, tem a necessidade do fornecimento exógeno de nutrientes em quantidades pequenas, porém constantes, podendo ser teoricamente mais viável em um pomar de frutíferas devido à dificuldade no acesso de implementos, dificultando o manejo da adubação convencional e manutenção de nutrientes. Esta fonte alternativa é capaz de reunir uma série de atributos físicos e químicos ao solo em que lhe é empregado, refletindo no aumento na produção das culturas devido à ação da matéria orgânica e nutrientes contidos.

Diversas áreas da agronomia, como horticultura, olericultura e grandes culturas ainda não se mobilizaram ao uso de fertilizantes organominerais devido à falta de estudos direcionados à viabilidade desse método não convencional de adubação. Neste sentido, a escolha da cultura é crucial para exploração do potencial do fertilizante quanto ao desenvolvimento das plantas e aos quantos atributos do solo.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Local do estudo e obtenção das matérias-primas

O estudo foi realizado em ambiente protegido, pertencente ao Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (CCTA), no período de março a maio de 2023.

O resíduo de vermiculita foi obtido na mineradora Pedra Lavrada, localizada na cidade de Santa Luzia-PB. Após a coleta, os resíduos foram peneirados em malha de 2,0 mm para homogeneização da granulometria e eliminação de materiais minerais ou orgânicos grosseiros misturados aos resíduos. Em seguida, foi seco em estufa a 105-110 °C para posterior utilização na composição das formulações dos fertilizantes.

Nesta pesquisa, utilizou-se o mesmo resíduo de vermiculita empregado nos trabalhos de Silva et al. (2021) e Marcelino et al. (2022), onde sua caracterização química e mineralógica e que serviu de base para a proposição das formulações deste projeto se encontra na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise química do fertilizante.

Material	M.O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	C/N
	-----g/kg-----							
Resíduo de vermiculita	--	--	0,9	17,6	42,0	114,9	3,1	--
Esterco bovino	91,5	16,7	9,5	9,8	--	--	4,3	9/1
Organomineral	--	14,6	10,5	18,1	--	--	--	--
Total	91,5	31,3	20,9	45,5	42,0	114,9	7,4	9/1

O resíduo de vermiculita (RV) coletado da mineradora Pedra Lavrada na cidade de Santa Luzia – PB, foi caracterizado quanto aos teores pseudo-totais de P, K, Ca, Mg e Na. Sucedida de uma amostra de 0,5 g digerida com 9 mL de ácido nítrico (65 %) e 3 mL de ácido clorídrico (36%) (água régia). ND: não analisado.

O resíduo de carvão vegetal foi obtido na cooperativa de produção de carvão Ipueira, município de Ipueira (RN). O resíduo de carvão produzido é derivado de plantio comercial de algaroba com certificação pelo IDEMA (Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. Já o esterco bovino foi adquirido em currais de pequenos produtores de vaca leiteira do município de Pombal (PB).

O solo teste para a realização no experimento foi um Luvissole, coletado na camada de 0-20 cm em áreas pertencentes à fazenda experimental do CCTA, localizada na cidade de São Domingos - PB. Após secas ao ar, destorroadas e

passadas em peneira de malha de 2,0 mm, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos e Nutrição Mineral do CCTA/UFCG para sua caracterização química conforme procedimentos descritos em Embrapa (2011). As determinações compreendem de pH em CaCl<sub>2</sub> a 0,01 mol L<sup>-1</sup>, os teores de Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, H + Al, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> trocáveis, P disponível e matéria orgânica (M.O) e estão dispostas na (Tabela 2).

**Tabela 2.** Atributos químicos do solo teste antes da aplicação dos tratamentos.

pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H+Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	P	M.O	V	
CaCl <sub>2</sub>	-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----						mg/dm <sup>3</sup>	g/kg	%	
5,20	5,30	5,80	0,07	0,12	7,90	0,47	15,39	13,70	58,83	
SB	t	CTC	m	PST	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----			-----%-----		-----mg/dm <sup>3</sup> -----					
11,29	11,76	19,19	4,00	0,36	-	-	-	-	-	-

pH em CaCl<sub>2</sub>; P, K e Na: Extrador Mehlich I; CTC (T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; Ca, Mg e Al – Extrador: KCl – 1 mol/L; H+Al- extrator acetato de cálcio 0,5 mol/L; V%= Índice de Saturação de Bases; PST = percentagem de sódio trocável (100 x na/CTC); Mat. Org. (M.O) – Oxidação: K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; SB = Soma de Bases Trocáveis; m =índice de saturação por alumínio.

#### 4.2 Preparo do produto, fertilizante organomineral

O produto formulado constitui da combinação de proporções de resíduo de carvão vegetal (CV), resíduo de mineração de vermiculita (RV) e esterco bovino (EB) (Figura 1). Após a coleta, estes materiais foram secos em estufa a temperatura de 60 °C a 65 °C, triturados em moinho tipo Wiley e posteriormente passados em peneira de 0,3 mm.

Para otimizar a liberação de nutrientes. Antes do preparo da mistura, o resíduo de vermiculita (RV) foi aquecido em forno tipo mufla à 550 °C por 30 minutos. Posteriormente o produto fertilizante foi preparado pela mistura homogênea dos três componentes obedecendo a proporção percentual (v/v) de 40% CV + 40% RV + 20% EB, assim, de modo que cada (kg) do produto contenha 400g de CV, 400g de RV e 200g de EB.



**Figura 1.** Moagem do resíduo de vermiculita (A), aquecimento do material em forno mufla (B), RV expandido após ser submetido a altas temperaturas (C), peneiramento do esterco bovino e mistura dos componentes (D), pesagem do fertilizante de acordo com os tratamentos (E), aplicação dos tratamentos em vaso (F).

### 4.3 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizado, com oito tratamentos e quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso de 7 L de solo com duas plantas de milho. Os tratamentos correspondem a sete doses do produto fertilizante proposto (0, 17,5, 35, 52,5, 70 e 87,5 e 105 g/vaso de 7L) correspondentes à 0; 1,25; 2,50; 3,75; 5,00; 6,25 e 7,50 t/ha, considerando uma população de 50.000 plantas de milho em um hectare. Além dos tratamentos estabelecidos, também foi adicionado um tratamento composto pela adubação convencional, com um adubo mineral solúvel, de modo a ser utilizado como referência dos valores obtidos.

No tratamento referente à adubação convencional com fertilizantes solúveis, as dosagens foram baseadas de acordo com Santos e Araújo (2018), com as seguintes proporções em  $\text{mg dm}^{-3}$ : N = 250; P = 200; K = 300; Ca = 200; Mg = 50; S = 50; B = 0,5; Cu = 1,5; Fe = 5; Mn = 4; Mo = 0,15 e Zn = 5,0, que em t/ha correspondem a: N=0,5, P=0,4, K=0,6, Ca= 0,4, Mg= 0,1, S= 0,1, B= 0,001, Cu= 0,001, Fe= 0,01, Mn=

0,008, Mo=0,003, Zn= 0,01. As fontes de macronutrientes utilizadas foram: ureia [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ], MAP( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) e sulfato de potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ). Para micronutrientes foram utilizadas as fontes: sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), sulfato de manganês ( $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), Fe-EDTA, sulfato de zinco ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) e molibdato de amônio [ $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ]. O fornecimento da adubação convencional foi realizado parceladas em cinco aplicações.

Os as doses do adubo formulado foram aplicadas de uma única vez, antes do início do experimento, através da incorporação ao solo de acordo com os respectivos tratamentos. Após aplicação dos tratamentos, o solo foi posto em capacidade de campo e em seguida realizou-se a semeadura do milho.

#### **4.4 Condução do experimento**

O milho foi escolhido para o estudo porque além de ser uma cultura de grande importância econômica também é uma espécie de rápido crescimento e com grande capacidade de extração de nutrientes. O genótipo utilizado foi o híbrido de milho verde com tecnologia VT PRO 2, AG 1051, que é um dos preferidos da maioria produtores da região Nordeste para produção de milho verde e/ou silagem.

A semeadura foi realizada no dia dois de março de 2023 após a aplicação da adubação de fundação, em covas de 3 cm de profundidade, com a inserção de cinco sementes distribuídas de forma equidistante em cada vaso. Com oito dias após a semeadura foi feito desbaste para duas plantas por vaso. O arranjo espacial foi de 1x1,5 m contendo 4 linhas de 8 vasos para facilitar os tratamentos culturais como capinas manuais. Manejo da irrigação foi executado ao final do dia mantendo diariamente os vasos próximos a capacidade de campo.

#### **4.5 Variáveis analisadas**

##### **4.5.1 Crescimento**

Aos 70 dias após a emergência (DAS), foram avaliados os parâmetros de crescimento: altura da planta (AP), com auxílio de uma fita métrica, sendo os resultados expressos em cm; diâmetro do colmo (DC), avaliado a uma altura de cinco centímetros acima do colo da planta, utilizando-se um paquímetro digital com resultados expressos em mm. Índice de área foliar (IAF), estimado utilizando-se um Ceptômetro (AccuPAR modelo LP-80). Na avaliação do IAF, as leituras foram

realizadas no intervalo das 12h00min às 13h00min em função da otimização das leituras no horário de maior intensidade luminosa.

#### **4.5.2 Química do solo**

Ao final do experimento foi retirada uma amostra de cerca de 300g de solo em cada vaso, para realização das avaliações de: pH em  $\text{CaCl}_2$  a  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  (pH); condutividade elétrica do extrato de 1:5 (relação solo: água 1:5) (CEes); os teores de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ , potássio trocável e fósforo disponível, conforme metodologia proposta pela Embrapa (2011).

#### **4.5.3 Fitomassa e acúmulo de nutrientes**

Aos 70 DAS, as plantas foram coletadas, separadas em folhas, caule e raízes, e postas para secagem em estufa de circulação forçada de ar  $60 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  para a obtenção da massa seca de folhas (MSF), massa seca de caules (MSC) e massa seca de raízes (MSR), a partir destas determinou-se a massa seca total (MST).

Foi determinado o acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio nos tecidos foliares e no colmo (NF; PF; KF; NC; PC e KC, respectivamente). O teor de nitrogênio (N) foi determinado de acordo com a metodologia proposta pela EMBRAPA (2011), já fósforo (P) e potássio (K) foi determinado de acordo com Tedesco et al. (1995). Com base na produção de massa seca total (MST) e na quantidade acumulada de cada nutriente (AN), foi estimada a eficiência do uso (EU) de N, P e K conforme Siddiqi & Glass (1981), utilizando-se a seguinte expressão:  $\text{EU} = (\text{MST})^2 / \text{AN}$ .

#### **4.5.4 Análise estatística**

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste 'F'. Nos casos de significância, utilizou-se análise de regressão polinomial linear e quadrática para as doses do fertilizante, utilizando-se do software estatístico SISVAR-ESAL (FERREIRA, 2019).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

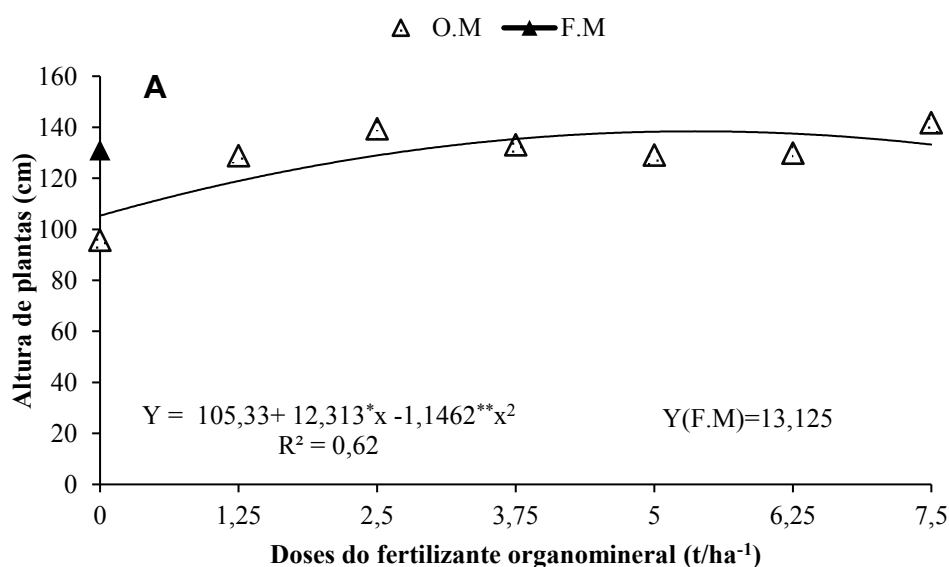
De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 3), observa efeito significativo dos tratamentos para a altura de plantas (AP), índice de área foliar (IAF), massa seca da folha (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca total (MST) das plantas de milho, aos 70 dias após o semeio. Não houve efeito significativo dos tratamentos para diâmetro dos colmos (DC) e massa seca de raízes (MSR).

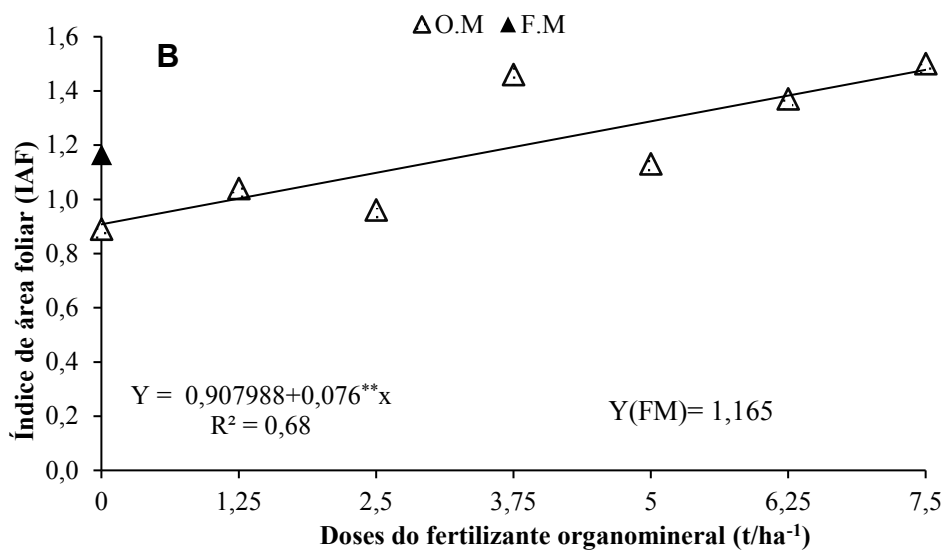
**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para altura de planta (AP), diâmetro dos colmos (DC), índice de área foliar (IAF), massa seca de folhas (MSF), massa seca dos colmos (MSC), massa seca de raízes (MSR) e massa seca total (MST) de plantas de milho, aos 70 dias após o semeio.

F.V.	G.L.	Quadrados médios						
		AP	DC	IAF	MSF	MSC	MSR	MST
Tratamentos	6	929,03**	1,13 <sup>ns</sup>	0,25**	159,43**	429,42**	154,23 <sup>ns</sup>	2189,93**
Regressão Linear	1	2416,60**	0,29 <sup>ns</sup>	1,02**	316,18**	900,35**	510,32 <sup>ns</sup>	6344,50**
Regressão Quadrática	1	2369,97**	0,96 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	559,189**	1611,81**	5,01 <sup>ns</sup>	6028,78**
Erro	21	182,02	0,70	0,03	6,95	31,70	206,87	353,85
CV (%)	-	10,52	5,33	16,31	8,14	11,00	25,56	13,56

FV: fontes de variação, GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação. \*\* significativo a 1%; \* significativo a 5%; ns não significativo pelo teste F.

Para a altura de plantas (AP), os dados ajustaram ao modelo de regressão polinomial, sendo o maior valor estimado de 138,38 cm, na dose correspondente a 5,5 t ha<sup>-1</sup> (Figura 2A).





**Figura 2.** Altura de plantas (A) e Índice de área foliar (B) de plantas de milho em função das doses do fertilizante organomineral, aos 70 dias após o semeio.

Quando comparado a adubação mineral, constatou-se que, este valor é 5,53% superior. Estes resultados foram análogos aos observados por Santos et al. (2017), testando doses de fertilizante organomineral e mineral na cultura do milho, que com 70 dias após emergência (DAE) mensurou maiores médias de altura, com o fertilizante organomineral com 1,28 m e para adubação mineral 1,20 m. Pereira (2019), também encontrou em seu trabalho para altura de plantas (AP), resultados superiores ao utilizar adubação organomineral na cultura do milho, em relação a testemunha sem adubação e do tratamento mineral, a autora ainda ressalta que a composição foi capaz de suprir as necessidades da cultura durante a condução do experimento.

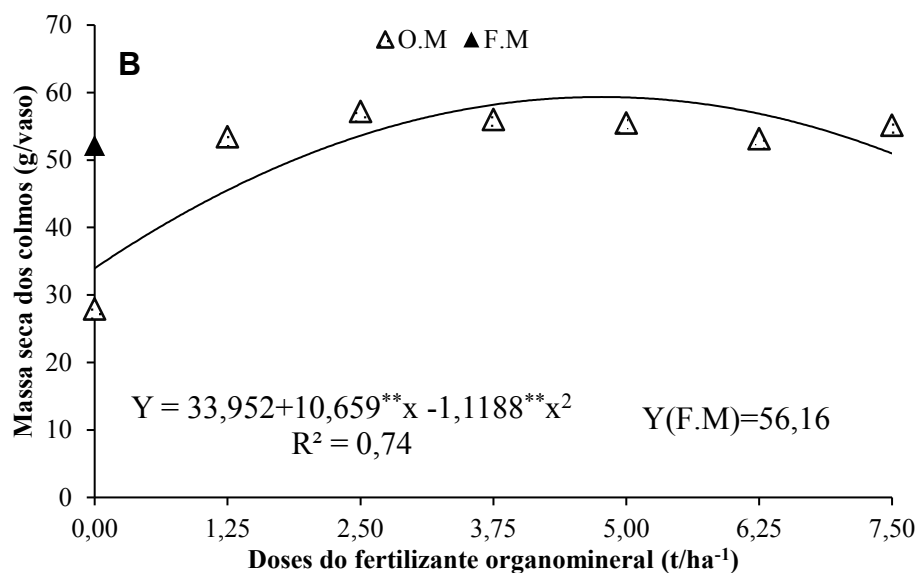
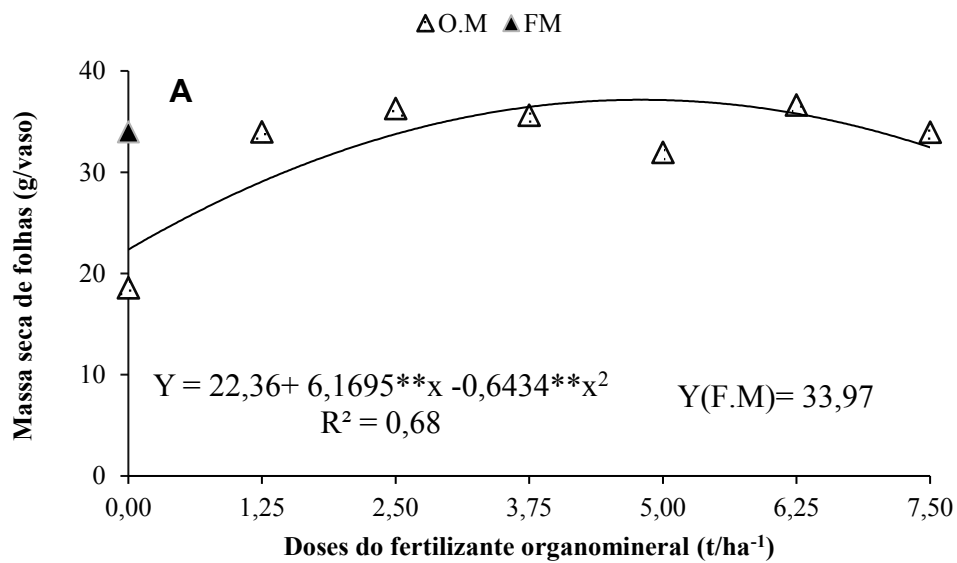
Para o índice de área foliar (IAF), observa-se que houve aumento linear crescente à medida em que se aumentou as doses do fertilizante, sendo o menor valor estimado de  $0,91 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ , na concentração de  $0 \text{ t/ha}^{-1}$  e o maior valor de  $1,46 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ , na concentração de  $7,5 \text{ t/ha}^{-1}$  (Figura 2B). Isso representa um incremento de 66,77 % no índice de área foliar quando comparado a menor em relação à maior dose ( $7,5 \text{ t/ha}^{-1}$ ) e um aumento de 26,86 % em relação a adubação com fertilizante mineral.

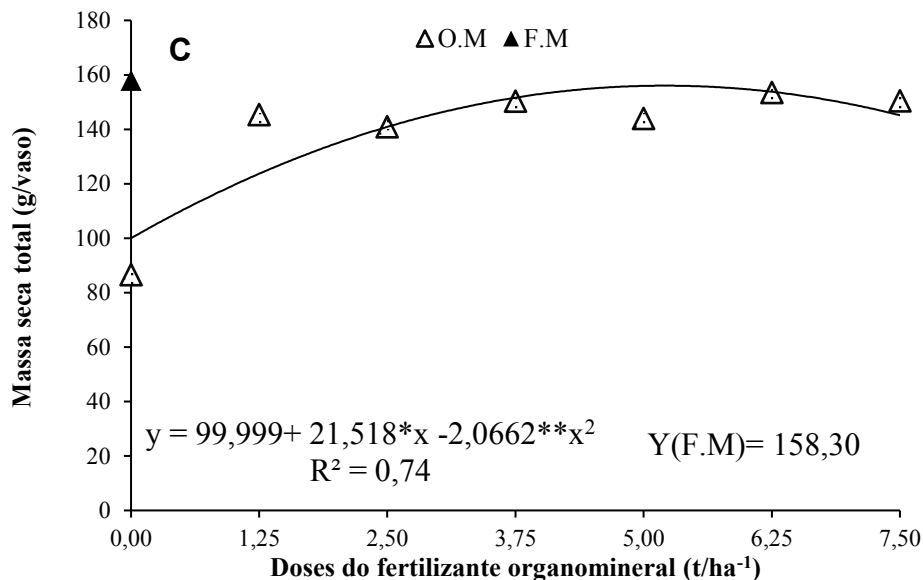
Em trabalho realizado por Krenchinski et al. (2014), avaliando bioestimulante organomineral a base de (N-P-K), compostos orgânicos e zinco na cultura do milho, constataram que não houve diferença significativa para IAF em relação ao tratamento sem uso do insumo. Resultado distinto ao do presente experimento que com doses crescentes notou-se incremento desta variável.



Esses resultados para crescimento são oriundos das características do fertilizante organomineral que contém em sua composição matéria orgânica susceptível em sofrer transformações e liberar nutrientes para plantas (DIAS et al., 2020).

Para massa seca de folhas (MSF) os dados de ajustaram ao modelo de regressão polinomial, sendo o maior valor estimado de 37,15 g, na dose correspondente a 4,75 t ha<sup>-1</sup> (Figura 3A). Quando comparado a adubação mineral, contata-se que, este valor é 9,35% superior.





**Figura 3.** Massa seca de folhas (A), massa seca de colmos (B) e massa seca total (C) de plantas de milho, híbrido AG1051 em função de doses de fertilizante organomineral, aos 70 dias após o semeio.

Em relação a massa seca de colmos (MSC) os resultados também se ajustaram ao modelo de regressão polinomial, em que o maior valor estimado foi de 59,34 g, na dose de 4,75 t ha<sup>-1</sup> (Figura 3B). Ao comparar com a adubação mineral, nota-se um aumento de 5,66% desta variável.

Para a massa seca total (MST) os resultados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial, em que o maior valor estimado foi de 156,02 g, na dose de 5,25 t ha<sup>-1</sup> (Figura 3C). Em relação a adubação mineral, constata-se decréscimo de 1,44%.

É desejável que um fertilizante organomineral, sendo composto por uma parte de material orgânico que sirva de nutrientes de plantas como fonte alternativa (CRUZ; PEREIRA; FIGUEIREDO, 2017).

Neste sentido, o fertilizante em questão possui características químicas e físicas capazes de alterar a resposta morfológicas pela sintetização de assimilados no tecido das plantas de milho, devido seus componentes inseridos. O esterco bovino e o carvão vegetal possuem alto teor de matéria orgânica (M.O) conforme (Tabela 1), exercendo um grande papel como condicionadores de solo, pela elevada capacidade de troca de cátions (CTC), estruturação e retenção de água no solo (BENITES et al., 2010).

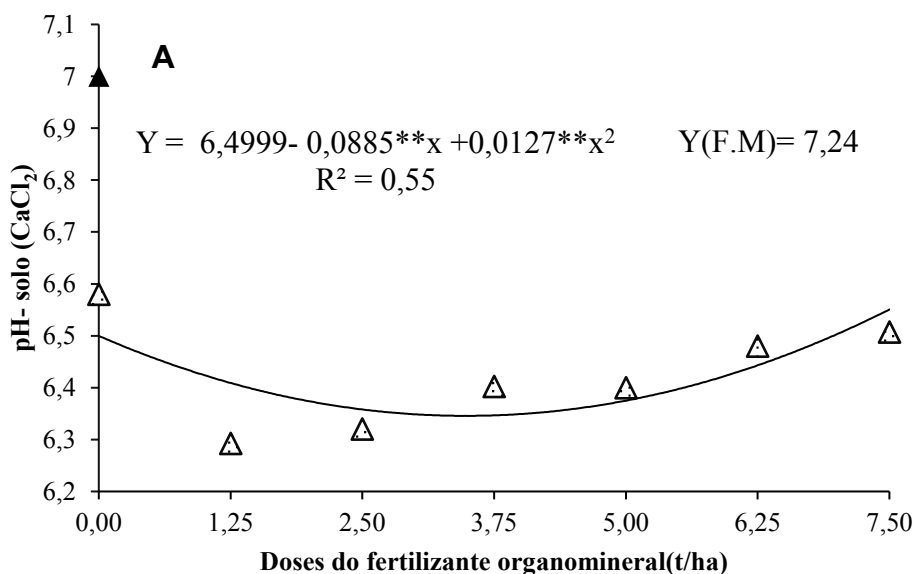
Conforme o resumo da análise de variância (Tabela 4), observa-se efeito significativo dos tratamentos apenas para potencial hidrogeniônico (pH) e potássio (K) no solo, aos 70 dias após o semeio.

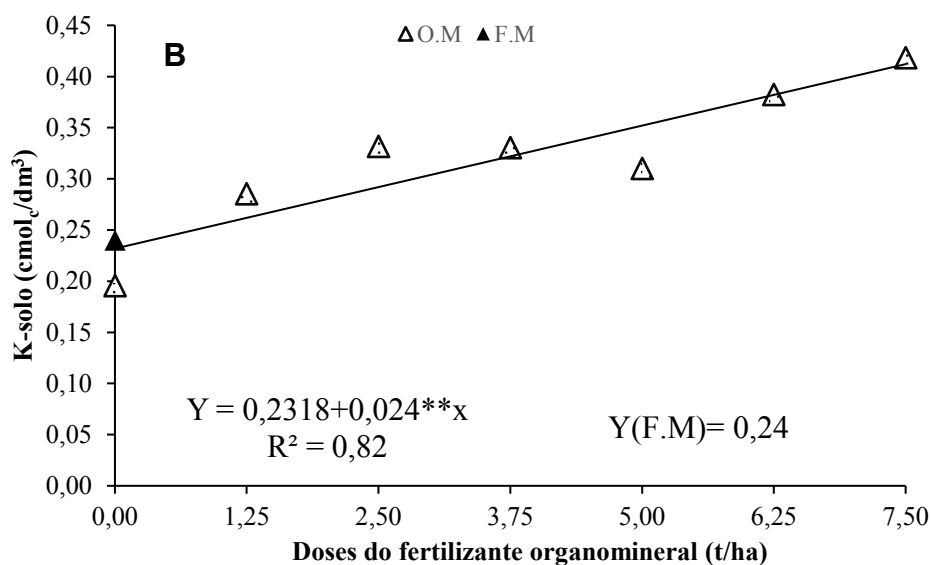
**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), potássio (K) e sódio (Na) no solo, após aplicação dos tratamentos.

F.V.	G.L.	Quadrados médios			
		pH	CE	K	Na
Tratamentos	6	0,042*	312,470 <sup>ns</sup>	0,020**	0,016 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	0,008 <sup>ns</sup>	581,491 <sup>ns</sup>	1,027**	0,020 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	0,225**	5,959 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>
Erro	21	0,014	311,975	0,001	0,005
CV (%)	-	1,89	10,23	13,22	8,79

FV: fontes de variação, GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação. \*\* significativo a 1%; \* significativo a 5%; ns não significativo pelo teste F.

Para a pH, os dados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial, sendo o maior valor de estimado de 6,65 na dose correspondente a 7,5 t ha<sup>-1</sup> (Figura 4A). Ao comparar a adubação mineral, constatou-se que este valor é 10,52% inferior. O pH do solo não sofreu flutuações drásticas, se mantendo próximo a alcalinidade. Esse resultado é explicado pela presença de materiais orgânicos que estabilizam as cargas do solo, exercendo um poder tamponante que pode variar com o teor de matéria orgânica do material, tipos de argila e a composição do solo (CENTURIÃO et al., 2021).





**Figura 4.** Valores de pH (A) e potássio do solo (B) em função das doses do fertilizante organomineral em de plantas de milho, híbrido AG1051, aos 70 dias após o semeio.

Para teor de potássio (K) no solo, observa que houve aumento linear crescente à medida em que se aumentou as doses do fertilizante, sendo o menor valor estimado de 0,23 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, na concentração de 0 t/ha<sup>-1</sup> e o maior valor de 0,41 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, na dosagem de 7,5 t/ha<sup>-1</sup> (Figura 4B). Isso representa um incremento de 77,65% no teor de K no solo quando comparado a menor em relação à maior dose e um aumento de 71,58 % em relação a adubação com fertilizante mineral.

Em relação ao potássio liberado no solo, Ugarte et al. (2008) afirmam, que o potássio proveniente da estrutura do mineral intemperizado vermiculita, são geralmente encontrados na concentração de 3 a 6,5%, estando aderidos na sua estrutura laminar. Embora a concentração/disponibilidade do elemento K<sup>+</sup> contido nos minerais de potássio seja teoricamente baixa, minerais do tipo 2:1 ainda podem adsorver em sua estrutura formas de K<sup>+</sup> solúveis por meio de reações reversíveis de troca iônica (GHOSH e SINGH, 2001). Portanto os resíduos de vermiculita podem adsorver cátions de outras fontes do meio como: solo, esterco bovino e até mesmo do carvão vegetal, além disso, o potássio trocável é fortemente retido pela matéria orgânica e pelas cargas negativas do meio (BASAK et al., 2017).

De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 5), é possível observar efeito significativo dos tratamentos para nitrogênio foliar (NF), no colmo (NC), fósforo foliar (PF), no colmo (PC) e potássio foliar (KF) e no colmo (KC), em plantas de milho aos 70 dias após o semeio.

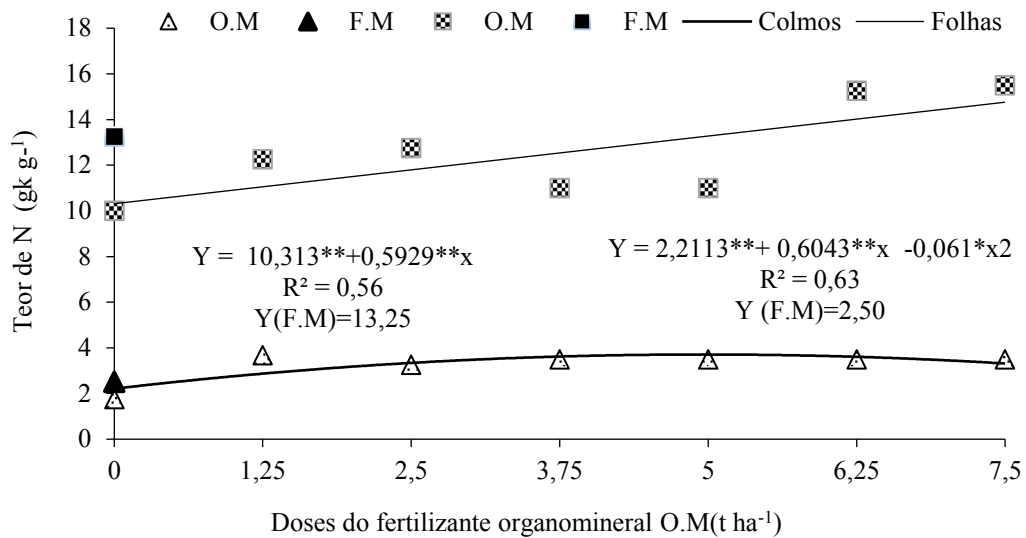
**Tabela 5.** Resumo da análise de variância para os teores de nitrogênio foliar (NF), E no colmo (NC), fósforo foliar (PF), no colmo (PC) e potássio foliar (KF) e no colmo (KC) em plantas de milho aos 70 dias após o semeio.

F.V.	G.L.	Quadrados médios					
		NF	NC	PF	PC	KF	KC
Tratamentos	6	18,285**	1,786**	0,816**	0,589**	2,800**	14,618**
Regressão Linear	1	61,508**	3,788**	3,871**	1,181**	5,348**	31,353**
Regressão Quadrática	1	7,145 <sup>ns</sup>	3,047*	0,296**	1,365**	10,203**	31,651**
Erro	21	1,678	0,388	0,010	0,018	0,236	0,376
CV (%)	-	10,34	19,25	9,19	8,39	11,08	13,78

FV: fontes de variação, GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação. \*\* significativo a 1%; \* significativo a 5%; ns não significativo pelo teste F.

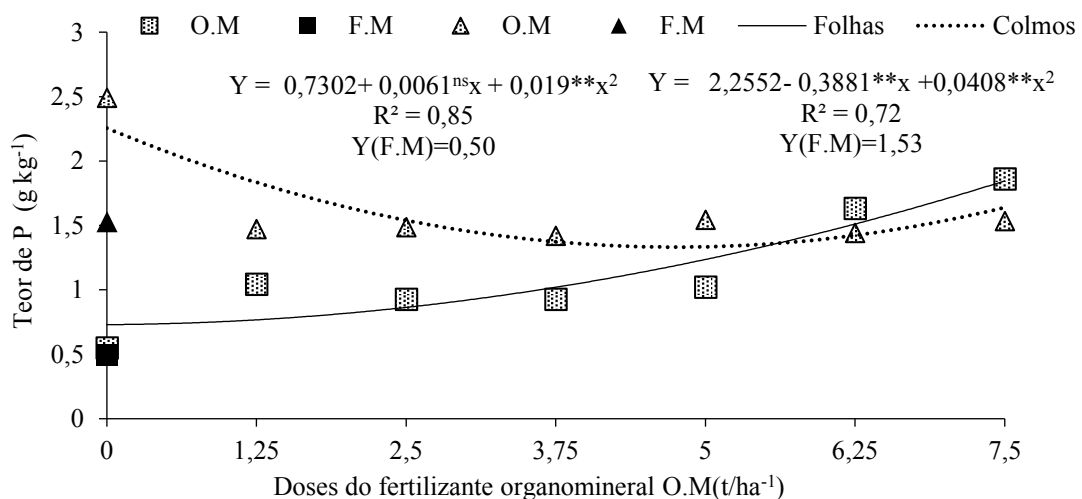
Para o nitrogênio em folhas (NF), houve um aumento linear crescente à medida em que aumentou as doses do fertilizante organomineral, sendo o menor valor estimado de 10,31 g kg<sup>-1</sup>, na dose de 0 t/ha<sup>-1</sup> e o maior valor de 14,76 g kg<sup>-1</sup>, na concentração de 7,5 t/ha<sup>-1</sup> (Figura 5). Isso representa um aumento de 43,16 % no teor de N foliar quando comparado a menor em relação à maior dose e um incremento de 11,40 % em relação a adubação com fertilizante mineral. Já para nitrogênio em colmos (NC), os dados se ajustaram-se ao modelo de regressão polinomial, sendo o maior valor estimado de 3,71 g kg<sup>-1</sup>, na dose correspondente a 5 t ha<sup>-1</sup> (Figura 5). Quando comparado a adubação mineral, observa-se que, este valor é 48,31% superior.

Esse efeito aditivo é atribuído pela própria característica dos fertilizantes organominerais, que contêm alto teor de matéria orgânica como exposto em (Tabela 1) com 91,5 g/kg fornecendo nutrientes de forma mais lenta e gradual no solo. Segundo Chiocheta Junior (2020), ao utilizarmos fertilizantes de liberação lenta podem se sobressair em comparação ao mineral pelo simples fato de a fonte de N ser disponibilizada com constância, respeitando a taxa de absorção e ainda evitam perdas por lixiviação para camadas profundas do solo.



**Figura 5.** Teor de nitrogênio (N) no tecido vegetal em função das doses do fertilizante organomineral em de plantas de milho, híbrido AG1051, aos 70 dias após o semeio. (F.M) = média para fertilizante mineral \*: significativo a 5%, \*\*: significativo ao nível de 1%.

Em relação ao teor de fósforo P em folhas (PF), os dados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial, com o maior valor estimado de 1,84 g kg<sup>-1</sup>, na dose correspondente a 7,5 t/ha<sup>-1</sup> (Figura 6). Ao compararmos aos valores da adubação mineral, é possível notar, um incremento 268 %. Para P em colmos (PC), houve ajuste ao modelo de regressão polinomial, com maior valor estimado de 3,17 g kg<sup>-1</sup>, na dose de 4,25 t/ha<sup>-1</sup> (Figura 7). Que ao compararmos ao adubo mineral há um aumento de 104,54%.

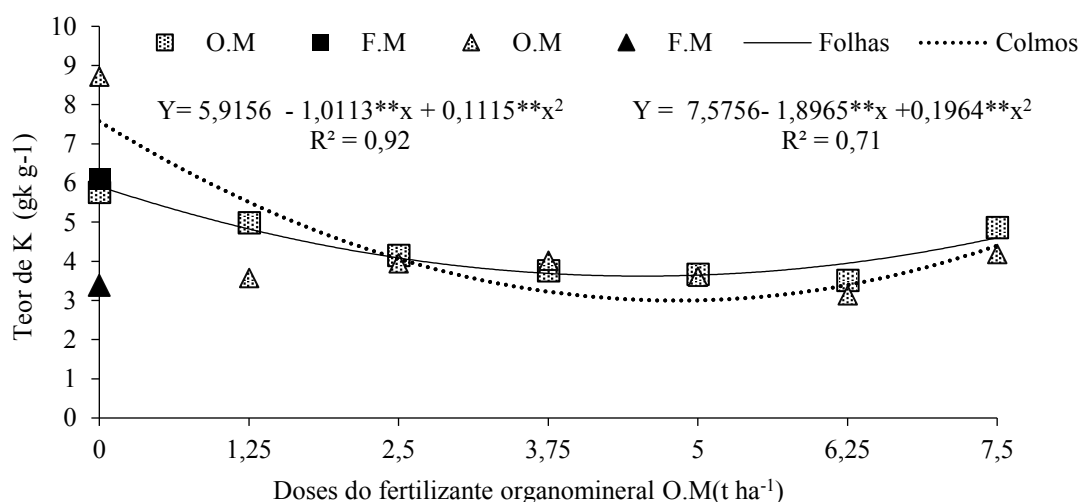


**Figura 6.** Teor de fósforo (P) no tecido vegetal em função das doses do fertilizante organomineral em de plantas de milho, híbrido AG1051. (F.M) = média para fertilizante mineral \*: significativo a 5%, \*\*: significativo ao nível de 1%.

Pressupõe que ocorra um aumento dos teores de P em função da adubação mineral em relação a dose (O), porém, não ocorreu. Eventualmente, está relacionado com a complexidade do fósforo ser redistribuído pelo floema, por que a planta em deficiência o P não sai do vacúolo para órgãos mais novos, o que inibe o crescimento e conseqüentemente aumento na concentração do fósforo inorgânico (Pi) (FAQUIM, 2005).

Quanto ao aumento em função das doses, o que favoreceu a taxa de absorção e sintetizou o nutriente em sua fitomassa foi a taxa de difusão do fósforo do solo para o sistema radicular das raízes, que ao secretar ácidos orgânicos competem pelos sítios de adsorção de P, podendo aumentar a sua disponibilidade devido ao recobrimento dos óxidos de Fe e de Al (CAMÊLO et al., 2015). Silva et al, (2020) estudando sobre fertilizante organomineral sob condição de cerrado, constata que a adubação fornecida na semeadura, foi capaz de trazer uma produtividade satisfatória uma vez que trouxe um aumento na concentração no teor de P na planta.

Para teor de potássio K em folhas (KF), os dados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial, com o maior valor estimado de 5,92 g kg<sup>-1</sup>, na dose de 0 t/ha<sup>-1</sup> (Figura 7). Ao compararmos aos valores da adubação mineral, é possível observar, um aumento 2,69 %. Para potássio em colmos (KC), houve ajuste ao modelo de regressão polinomial, com maior valor estimado de 7,58 g kg<sup>-1</sup>, na dose de 0 t/ha<sup>-1</sup> (Figura 7). Que ao compararmos ao adubo mineral é possível observar um aumento de 124,13%.



**Figura 7.** Teor de potássio (K) no tecido vegetal em função das doses do fertilizante organomineral em de plantas de milho, híbrido AG1051. (F.M) = média para fertilizante mineral \*: significativo a 5%, \*\*: significativo ao nível de 1%.

Esse resultado ocorre em função do efeito da concentração de K em plantas deficientes, que possuem crescimento reduzido e conseguinte acumulam esse nutriente em partes específicas da planta, conforme observado no tratamento na dose 0 t/ha<sup>-1</sup> (Figura 7). Esse comportamento confere adaptações fisiológicas na planta, uma vez que esse cátion atua na ativação de mais de 60 sistemas enzimáticos, e também como cofator da enzima ATP (adenosina trifosfato), principal fonte de energia nas células das plantas, absorção de N para síntese de proteínas, entre outros (MEURER et al., 2018). Conforme Silva et al. (2016) em seu trabalho, foi possível notar que dentre as partes principais da planta a que foi capaz de acumular maiores quantidades de K foram nos colmos do milho.

De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 6), observa-se efeito significativo dos tratamentos para acúmulo de nitrogênio (ACN), e acúmulo de fósforo (ACP) em plantas de milho aos 70 dias após o semeio.

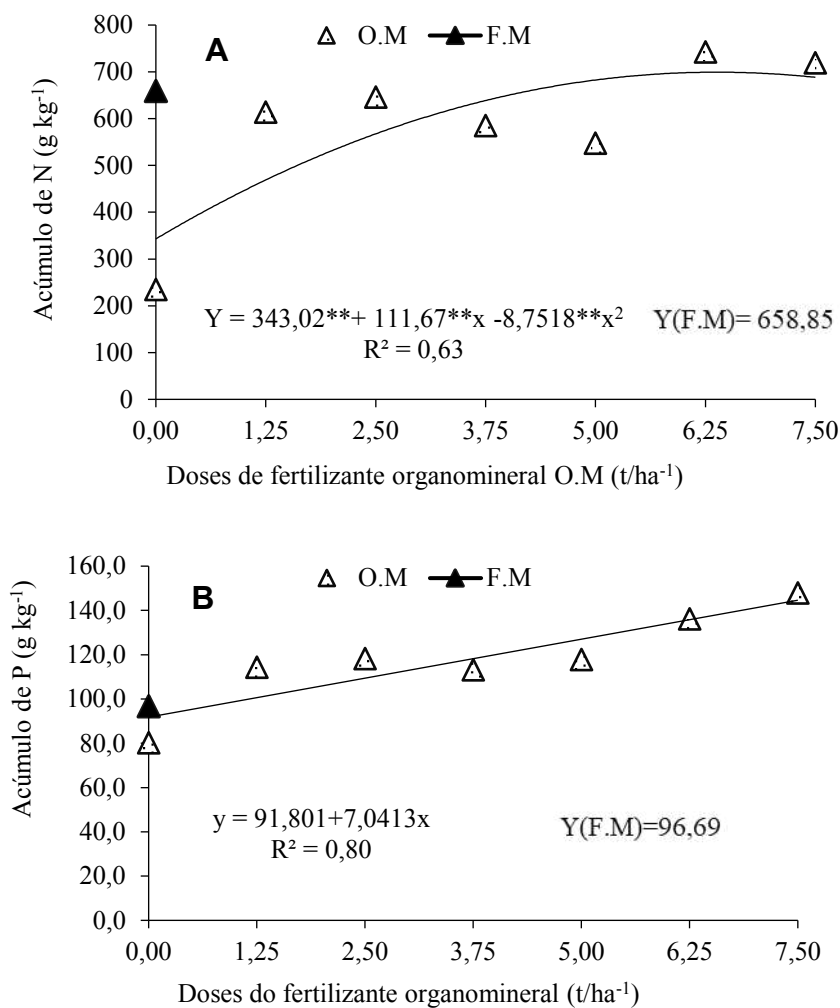
**Tabela 6.** Resumo da análise de variância para o acúmulo total de nitrogênio (ACN), de fósforo (ACP) e potássio (ACK) em plantas de milho aos 70 dias após o semeio.

F.V.	G.L.	Quadrados médios		
		ACN	ACP	ACK
Tratamentos	6	114142,8**	1793,0**	4852,7 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	370766,1**	8676,5**	426,41 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	62830,4**	20,565 <sup>ns</sup>	2491,7 <sup>ns</sup>
Erro	21	3281,8	121,3	1345,8
CV (%)	-	9,81	9,32	10,49

FV: fontes de variação, GL: gral de liberdade; CV: coeficiente de variação. \*\* significativo a 1%; \* significativo a 5%; ns não significativo pelo teste F.

Em relação ao acúmulo de nitrogênio (ACN), os resultados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial, com o maior valor estimado de 699,11 g kg<sup>-1</sup>, na dose correspondente a 6,5 t/ha<sup>-1</sup> (Figura 8A).





**Figura 8.** Acúmulo N (A) e Acúmulo de P (B) em função das doses do fertilizante organomineral em plantas de milho, híbrido AG1051. (F.M) = média para fertilizante mineral \*: significativo a 5%, \*\*: significativo ao nível de 1%.

Ao compararmos aos valores da adubação mineral, é possível notar, um incremento 6,11 %. Estes resultados demonstram que o fertilizante foi capaz de influenciar diretamente no desenvolvimento das plantas de milho, uma vez que desempenho foi semelhante ao adubo mineral. O N é exigido em grandes quantidades na cultura do milho, sendo componente de proteínas e enzimas necessárias ao seu desenvolvimento (COSTA et al.,2012).

Para tanto, o esterco bovino (Tabela 1) foi a principal fonte N do fertilizante, suprindo a necessidade da cultura e evitando que ela cesse o crescimento. A fonte é advinda do processo de mineralização da M.O contida no esterco e seus resíduos, que na presença da enzima urease através de microrganismos de solo irão atuar na ciclagem de nutrientes pelo processo de hidrólise, transformando o nitrogênio orgânico em mineral (BROCH; RANNO, 2012; SILVA et al.,2018).

Para o acúmulo de fósforo (ACP), houve um aumento linear crescente à medida em que se aumentou as doses do fertilizante organomineral, sendo o menor valor estimado de 91,80 g kg<sup>-1</sup>, na dose de 0 t/ha<sup>-1</sup> e o maior valor de 144,61 g kg<sup>-1</sup>, na concentração de 7,5 t/ha<sup>-1</sup> (Figura 8B). Esses valores representam, um aumento de 57,53 % no acúmulo de fósforo quando comparado a menor, em relação à maior dose um incremento de 49,56 % em relação a adubação com fertilizante mineral.

Esse comportamento da variável é decorrente do fósforo absorvido da solução do solo pela planta, que por sua vez encontraram um equilíbrio entre a fração lábil e a solução do solo, diminuindo o processo de adsorção (OLIVEIRA et al., 2014). Dessa maneira, o P orgânico fica disponível para sofrer reações.

Conforme Abreu (2019), as bactérias que naturalmente estão presentes no solo estabelecem uma relação de simbiose com o sistema radicular da planta, fazendo a transformação do P orgânico em inorgânico pela secreção da enzima fosfatase. Os íons de fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) espontaneamente vão ressuprir a solução do solo, favorecendo o acúmulo desse nutriente nas plantas de milho.

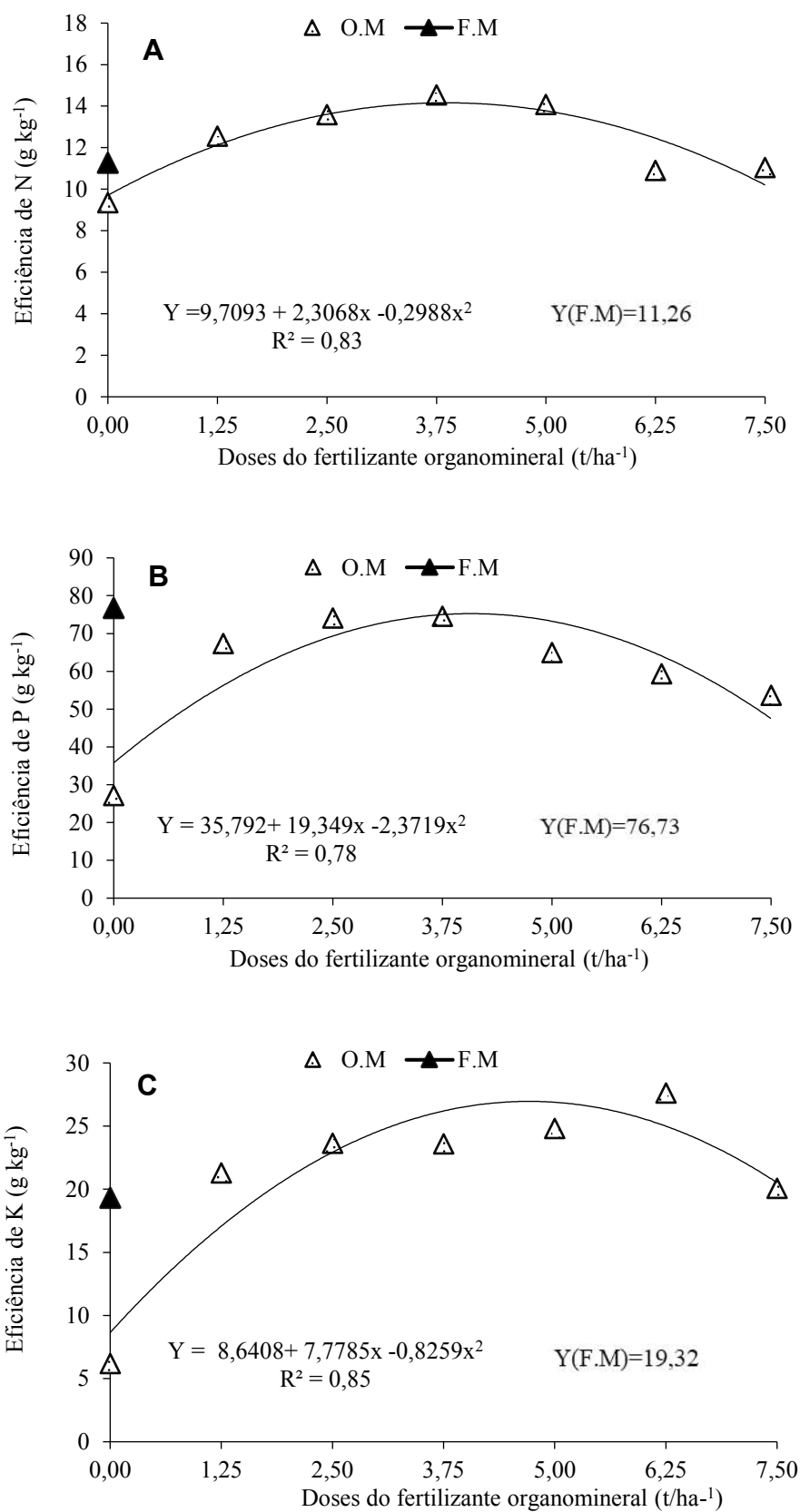
De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 7), observa-se efeito significativo dos tratamentos para eficiência do uso de nitrogênio (EUN), eficiência do uso de fósforo (EUP) e eficiência do uso de potássio (EUK) em plantas de milho aos 70 dias após o semeio.

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância para o acúmulo total de nitrogênio (EUN), de fósforo (EUP) e potássio (EUK) em plantas de milho aos 70 dias após o semeio.

F.V.	G.L.	Quadrados médios		
		EUN	EUP	EUK
Tratamentos	6	14,779**	1072,5**	194,71**
Regressão Linear	1	0,7585 <sup>ns</sup>	425,80**	439,09**
Regressão Quadrática	1	73,238**	4614,9**	559,58**
Erro	21	3,704	51,682	14,531
CV (%)	-	15,66	11,65	18,12

FV: fontes de variação, GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação. \*\* significativo a 1%; \* significativo a 5%; ns não significativo pelo teste F.

Para eficiência do uso de nitrogênio (EUN), os dados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial, com o maior valor estimado de 14,15 g kg<sup>-1</sup>, na dose correspondente a 3,75 t/ha<sup>-1</sup> (Figura 9A). Ao compararmos aos valores da adubação mineral, é possível notar, um incremento 25,74 %.



**Figura 9.** Eficiência o uso de N(A), P(B) e K(C) em função das doses do fertilizante organomineral em de plantas de milho, híbrido AG1051. (F.M) = média para fertilizante mineral \*: significativo a 5%, \*\*: significativo ao nível de 1%.

Esse incremento da variável ocorreu devido as características do esterco bovino e do carvão vegetal de disponibilizar e reterem esse nutriente no solo por mais tempo. Leonardo et al, (2014) em seu experimento com batata-doce, ao fazer o uso de esterco bovino, esse componente proporcionou um aumento significativo na eficiência do nitrogênio e nas características de produção.

Além de fonte de nitrogênio, ainda pode ser de Ca, Mg, P, dentre outros nutrientes, e ainda traz melhorias nas condições físicas do solo como pH, CTC, densidade e porosidade (OLIVEIRA, 2015). Apesar da lenta liberação em comparação a adubos minerais de alta solubilidade, o nitrogênio advindo de fontes orgânicas dificilmente será lixiviado, nos fertilizantes organominerais o N fica protegido da volatilização e ainda é melhor aproveitado pelo sistema radicular da planta (SILVA; LANA, 2018).

Para eficiência do uso de fósforo (EUP), os dados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial, com o maior valor estimado de  $75,24 \text{ g kg}^{-1}$ , na dose de  $4 \text{ t/ha}^{-1}$  (Figura 9B). Ao compararmos aos valores da adubação mineral, é possível notar, um aumento 1,98 % desta variável. A diferença mais importante entre o fertilizante organomineral e o mineral é sua capacidade de disponibilizar nutrientes com frequência e de forma lenta diminuindo deficiência em estágios iniciais de desenvolvimento (PROFIRO, 2015).

Segundo Garcia e Mendes (2022), em quantidade adequadas, o fósforo tem função de atuar diretamente no crescimento inicial das plantas, do contrário o seu desenvolvimento seria inibido. Conforme a (Figura 1A) os resultados para crescimento em altura (AP), foram equivalentes ao tratamento com fertilizante mineral, o que comprova a eficiência do produto formulado (O.M).

Dentre os atributos pertinentes o teor a matéria orgânica (M.O) contida nos Fertilizantes Organominerais (FOMs), possui a aptidão de competir com o P por meio dos sítios de adsorção no qual o seria fortemente retido, dessa maneira o a M.O acaba aumentando significativamente a disponibilidade de P para as plantas (CRUZ; PEREIRA; FIGUEIREDO, 2017).

Em relação a eficiência do uso de potássio (EUK), os dados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial, com o maior valor estimado de  $26,95 \text{ g kg}^{-1}$ , na dose correspondente a  $4,75 \text{ t/ha}^{-1}$  (Figura 9C). Ao compararmos aos valores da adubação mineral, nota-se um incremento 39,49 %. Estes resultados indicam uma tendência de aumento na eficácia de K em função dos resíduos de vermiculita (RV), uma vez que

esse mineral do grupo dos filosilicatos, que contém valores consideráveis de potássio em sua estrutura, conforme também observado em (Tabela 1) com 17,6 g/kg de K<sub>2</sub>O.

Segundo França et al. (2010), ao estudar sobre a aplicação de resíduos de vermiculita na agricultura verificou valores de até 4,6% de K<sub>2</sub>O. LI et al. (2015) ao testar diferentes minerais silicatados como fonte alternativa de potássio em centeio. Observaram resultados análogos ao presente experimento, em que a biotita e a vermiculita foram os minerais que proporcionaram maiores incrementos, quanto ao acúmulo de potássio e de matéria seca também.

Ainda sob a influência do RV, este mineral além de disponibilizar nutrientes de plantas, possui a capacidade de reter íons presente no ambiente rizosférico. Ao adicionar minerais do tipo 2:1 de elevada CTC, como vermiculita ou zeólita, estes contribuem com as cargas elétricas da fase sólida, reduzindo a perda de K<sup>+</sup> para solução do solo, e o íon fica adsorvido na estrutura dos sítios de troca reduzindo as perdas do nutriente (WU et al. 2013).

Os resultados obtidos neste experimento podem contribuir com novos estudos acerca de fertilizantes organominerais alternativos para adubação. Sendo que combinar componentes minerais prontamente disponíveis com organominerais é um passo importante para pesquisas futuras.

## **6 CONCLUSÕES**

O incremento das doses do fertilizante elaborado a partir do resíduo de vermiculita, carvão vegetal e esterco bovino promoveu aumento do crescimento do milho aos 70 dias após o semeio.

A dose de até 5,25 t/ha do fertilizante elaborado promoveu maior acúmulo de fitomassa em plantas de milho aos 70 dias após o semeio.

O fertilizante organomineral formulado a partir da mistura de resíduos do resíduo de vermiculita, carvão vegetal e esterco bovino, mostrou promissor quanto ao acúmulo de nitrogênio e fósforo nos tecidos vegetais, sendo este comportamento inverso quanto ao acúmulo de potássio;

Houve incremento do pH e no teor de potássio no solo à medida em que se aumentou a dose do fertilizante elaborado.

## REFERÊNCIAS

ABREU, C. S. **Seleção de estirpes bacterianas rizosféricas e não rizosféricas com potencial para biossolubilização de fosfato e produção de inoculantes visando aumento do crescimento e nutrição de milho.** 2019. 117p. Tese (Doutorado em Microbiologia) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

AMOAHA-ANTWI, C.; KWIATKOWSKA-MALINA, J.; THORNTON, S.F.; MALINA, G.; SZARA, Restoration of soil quality using biochar and brown coal waste: A review. **Science of The Total Environment**, v. 722, p. 137852, 2020.

AZIZ, M.Z. et al. Alternative Fertilizers and Sustainable Agriculture. In: Farooq, M., Pisante, M. (eds). **Innovations in Sustainable Agriculture.** Springer, Cham. p. 213-245, 2019.

BASAK, B. B. et al. Bio-intervention of naturally occurring silicate minerals for alternative source of potassium: challenges and opportunities. **Advances in agronomy**, v. 141, p. 115-145, 2017.

BENITES, M.V et al. Organomineral fertilizer is an agronomic efficient alternative for poultry litter phosphorus recycling in an acidic Ferralsol. **Frontiers in Agronomy**, v.4, p.785753el 2022.

BENITES, V. M. et al. **Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: aprendendo com as terras pretas de índio.** In: BENEDITES, Vinicius de Melo. et al. As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: EDUA/Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. p. 286-297.

BRASIL – BEN: Balanço energético nacional 2016 ano base 2015. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília; 2016.

BRASIL. Presidência de República. **Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980.** Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. Brasília, DF, 1980.

Brasileiro 2010. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral. Disponível: <[www.dnpm.gov.br](http://www.dnpm.gov.br)>. Acesso em 14 set 2023.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura do milho.** In: **Tecnologia e Produção: Soja e Milho 2011/2012.** Fundação MS, Maracaju-MS,2012, p. 240-252.

CAMÊLO, D. DE L. et al. Sequential extraction of phosphorus by Mehlich-1 and ion exchange resin from B horizons of Ferric and Perferric Latosols (oxisols). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1058–1067, 2015.

CENTURIÃO, N. C et al. Efeitos de biochars (carvões) provenientes de diferentes materiais na fertilidade de dois solos do Cerrado. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 19, n. 2, p. 70-80, 2021.

CHIOCHETA JUNIOR, J. C. **Efeito de fertilizantes de liberação gradual de nutrientes na dinâmica do nitrogênio no solo e na produção da cultura do milho (Zea mays)**. 2020. 79p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Instituto Politécnico de Bragança, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2020.

COIMBRA, J.V.M. Moinha de carvão e bioestimulante vegetal na formação de mudas de cedro australiano. **Interação**. v. 21, n. 1, 2021.

CONAB – COOMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 27 nov. 2023.

COSTA, N. R. et al. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1038-1047, 2012.

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

CUCINELLI NETO R. P.; UGARTE, J. F. O. **Utilização de Vermiculita em Sistema Dessalinizador com Colunas Percoladas**. In: XIV Jornada de Iniciação Científica CETEM, 2007.

DIAS, R. C. et al. Acúmulo de biomassa e potássio em gramíneas em função da fonte fertilizante e do solo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n.6, p. 33506-33518, 2020.

DOMINGHETTI, A.W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência e Agrotecnologia**, v.40, n.2, p.173-183, 2016.

DUARTE, E. C. C. Et al. Manejo de herbicidas no controle de plantas daninhas e sua influência no crescimento e produção de milho híbrido AG 1051. **AGROTEC**, v.37, n.1, p. 7180, 2016.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). 2011. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro. 225 p.

ETESAMI, H. et al. Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects - a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 17, p. 897-911, 2017.

FANCELLI, A. L. Ecofisiologia, fenologia e implicações básicas de manejo. In: GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A., PIMENTEL, M. A. (Ed.). **Milho: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015. cap. 3, p.50-76.



FAQUIM, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2005. 186p. Textos acadêmicos - Curso de Pós-graduação "Lato Sensu" (Especialização) a distância Fertilidade do solo e Nutrição de Plantas do Agronegócio - UFLA/FAEPE, Lavras - MG, 2005.

FERREIRA, D.F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs: Sisvar. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FIGUEIREDO, C.C. et al. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.40, p.279-287, mar, 2005.

FOMINA, M.F.; SKOROCHOD, I. Microbial interaction with clay minerals and its environmental and biotechnological implications. **Minerals**, 2020, v.10, p.861, 2020.

FRANÇA, S. C. A. et al. SIMPÓSIO DE MINERAIS INDUSTRIAIS DO NORDESTE, 2.; ESTUDO DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE VERMICULITA COMO FERTILIZANTE ALTERNATIVO DE POTÁSSIO, 2010, [Campina Grande, PB]. **Anais...** Campina Grande: 2010.

GARCIA, J. C; MENDES, M.B. Fontes de fósforo mineral e organomineral no estado nutricional e no crescimento inicial da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Pesquisa Animal e Ambiental**, v. 5, n. 2, pág. 2003-2013, 2022.

GHOSH, BN; SINGH, RD. Características de liberação de potássio de alguns solos das colinas de Uttar Pradesh variando em altitude e sua relação com formas de K do solo e mineralogia da argila. **Geoderma**, v. 1-2, pág. 135-144, 2001.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira (Fosfato/Potássio/Fertilizantes) 5ª Edição. Potássio. 2010.

KRENCHINSKI, F. H. et al. Utilização de bioestimulante organomineral no milho de segunda safra, cultivado no Oeste do Paraná. **Revista Agarian**, Dourados, v.7, n.25, p.468-473, 2014.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management, p. 1-5, 2009.

LEITE, M. J. H. Bakke, O.A. Uso de coprodutos da extração de vermiculita na produção de mudas de faveleira (*Cnidocolus quercifolius* Pohl.). **HOLOS**, n. 34, v. 3, 2018.

LEITE, M.J.H. et al. Crescimento do maracujazeiro amarelo em função de gesso e compostos com rejeitos de mineralização aplicados em solo salinizado. **Nativa**, v.4, n.6, p.353-359, 2016.

LEONARDO, F. A. P. et al. Rendimento da batata-doce adubada com nitrogênio e esterco bovino. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 18-23, 2014.

LI, T. et al. Exploring the potential of phyllosilicate minerals as potassium fertilizers using sodium tetraphenylboron and intensive cropping with perennial ryegrass. **Scientific Reports**, v.4, p.1-7, 2015.

MACEDO, L. A. et al. Acúmulo de nutrientes nos frutos e teor foliar de pimenta malagueta (*capsicum frutescens*) sob diferentes manejos de adubação fosfatada. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 70374-70386, 2020.

MADARI, B. E. et al. Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2006. 6 p. (Comunicado Técnico, 125).

MARCELINO, R.M.O. et al. Vermiculite mining waste enriched with elemental sulfur as a chemical conditioner for alkaline saline soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.54, 2022.

MENDONÇA, A.R. **Crescimento de cenoura em solo com diferentes combinações de doses e granulometrias de carvão vegetal**. 2017. 51p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017.

MEURER, J. M.; TIECHER, T.; MATTIELO, L. Potássio. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, MG: SBCS, 2018. p. 429-464.

MORALES, Marina Moura. **Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado**. 2010. 75 f. Tese (doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2010.

OLIVEIRA, C. M. B. et al. Capacidade máxima de adsorção de fósforo e constante de energia de ligação em latossolo bruno em razão de diferentes ajustes do modelo de langmuir. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1805-1815, 2014.

OLIVEIRA, V. E. A. **Adubações orgânica e mineral sobre o crescimento do gergelim brs seda em solos do vale do Canindé**. 2015. 37p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia. 2015.

PEREIRA, B. O. H. **Desempenho agrônômico e produtivo do milho submetido à adubação mineral e organomineral**.2019. 43 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Centro Universitário de Anápolis UniEVANGÉLICA, Anápolis, 2019.

PROFIRO, F. P. **Manual do técnico geociclo: coordenação de produção**. Monte Alegre: Geociclo, 2015. 47 p.

RIBEIRO, P.H. Uso de finos de carvão e esterco de galinha em solo cultivado com milho e na produção de mudas de café. 2016. 71f. Tese Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

ROUSSET, P. et al. LCA of eucalyptus wood charcoal briquettes. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n.14, p. 1647-1653, 2011.

SANTOS, D.N.; ARAUJO, J.L. Eficiência de um fertilizante à base de resíduo de vermiculita para o cultivo de espécies arbóreas. Anais. XV CONGRESSO DE

INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, Campina Grande, 2018.

SANTOS, J. K. F. et al. Crescimento de plantas de milho submetidas à adubação NPK mineral e organomineral. In: **IV Inovagri International Meeting**. 2017.

SANTOS, W.O. et al. Production and evaluation of potassium fertilizers from silicate rock. **Journal of Plant nutrition and Soil Science**, v.179, p. 547-556, 2016.

SIDDIQI M. Y.; GLASS A. D. M. A modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, A. E. O. et al. Soil enzymatic activities in areas with stages and management of forest regeneration from Caatinga. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 405-414, 2018.

SILVA, A. O. et al. Da tradição a técnica: perspectivas e realidades da agricultura de derruba e queima na Amazônia. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e38310111799-e38310111799, 2021.

SILVA, C. G. M. et al. Compartimentalização e redistribuição de macronutrientes em milho cultivado sob dois níveis de investimento em adubação. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo,31, Bento Gonçalves, 2016. **Anais...** Sete lagoas: Embrapa Milho e Sorgo ,2016.

SILVA, R, C. D.; LANA, R. M. Q. Fertilizantes organominerais alternativa para a adubação em cobertura no milho. **Campo & Negócios**. ed.178, p. 36-38, 2018.

SILVA, R. C. D. **Fertilização organomineral no milho em condições de Cerrado**. 2020. 88 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

SILVA, R.M.G. et al. Influência do enxofre elementar adicionado em um resíduo da mineração visando à liberação de nutrientes no solo. **Engenharia, sanitária e Ambiental**, v.26 n.2, p. 309-316, 2021.

SIMONETTI, A. L. **O papel do sindicalismo da agricultura familiar no acesso às políticas públicas de desenvolvimento rural**. 2023. 117p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2023.

SOUSA, L.D.A. **Cinética de liberação do potássio em rejeito de mineração de vermiculita para o fortalecimento do solo**. 2012. 58p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

SOUSA, L.D.A.; MACHADO, A.O.D.V.; LEITE, J.Y.P. Liberação de potássio a partir de rejeito de vermiculita. XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa (ENTMME), Salvador, 2011.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1995. 118 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

UGARTE, J. F. O.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. Vermiculita. *In: Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações*. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 865-887.

VASANTHI, N; SALEENA, L.M.; RAJ, S.A. Silica solubilization potential of certain bacterial species in the presence of different silicate minerals. **Silicon**, v. 10, p.267–275, 2018.

WU, L. F. et al. Efeito da adição de zeólita e vermiculita na lixiviação de potássio do solo. **Revista do Instituto Geológico (Descontinuada)**, v. 34, n. 1, p. 57-68, 2013.