



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**BIOCHAR E FERTILIZANTES ESPECIAIS NO CRESCIMENTO INICIAL DA  
CULTURA DO MILHO**

MIGUEL HENRIQUE ROSA FRANCO

2019

MIGUEL HENRIQUE ROSA FRANCO

**BIOCHAR E FERTILIZANTES ESPECIAIS NO CRESCIMENTO INICIAL DA  
CULTURA DO MILHO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia,  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
graduação em Agronomia – Doutorado, área de  
concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de  
“Doutor”.

Orientador

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

F825b Franco, Miguel Henrique Rosa, 1987  
2019 Biochar e fertilizantes especiais no crescimento inicial da cultura do milho [recurso eletrônico] / Miguel Henrique Rosa Franco. - 2019.

Orientadora: Regina Maria Quintão Lana.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.1259>  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.

1. Agronomia. 2. Fertilizantes orgânicos. 3. Milho. 4. Húmus. I. Lana, Regina Maria Quintão, 1958, (Orient.) II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

---

MIGUEL HENRIQUE ROSA FRANCO

BIOCHAR E FERTILIZANTES ESPECIAIS NO CRESCIMENTO INICIAL DA  
CULTURA DO MILHO

Tese apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de  
Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de  
concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de  
“Doutor”.

APROVADA em 04 de JUNHO de 2019.\*

Prof. Dr Reginaldo Camargo	UFU
Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira	UFU
Prof. Dr. André Cabral França	UFVJM
Dr. Gustavo Alves Santos	KP Consultoria

  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Regina Maria Quintão Lana  
ICIAG-UFU  
(Orientadora)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2019

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Miguel Rosa Franco e Zelma Aparecida Silva Franco que me proporcionaram a vida, amor e educação. A minhas irmãs Julieta e Luana pelo carinho e afeto. Aos meus sobrinhos Yasmin e Calvin pelo amor e carinho com o tio. A minha noiva Julia pelo companheirismo e a universidade UFU pela estrutura e acolhimento.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela saúde e por ser meu guia em todos os momentos da minha vida.

A minha família (noiva, sobrinhos, cunhado, pais, irmãs, primos e tios) pela ajuda, companheirismo, carinho e confiança depositados em mim.

Aos meus companheiros de trabalho e pós-graduação envolvidos neste projeto. Em especial a Camila, Fagner, Cassiano, Yudi, Jussi, Henry, Marcos e Patrícia, pela ajuda na condução dos experimentos e companheirismo.

A todos do Grupo de Estudos em Fertilidade do Solo da Universidade Federal de Uberlândia.

A todos amigos e colaboradores da Geociclo Biotecnologia S/A pelo fornecimento dos materiais usados nos experimentos e apoio incondicional durante toda a pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia pelo conhecimento compartilhado.

Aos professores e pesquisadores Dr. André Cabral França, Dr. Hamilton Seron Pereira, Dr. Reginaldo Camargo e Dr. Gustavo Alves, membros da banca examinadora, pela valiosa colaboração na leitura e sugestões.

Em especial a minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana pela confiança, orientação, ajuda, amizade e experiências compartilhadas durante todos esses anos de pós-graduação.

Muito obrigado!

## **EPIGRAFE**

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

**José de Alencar**

## SUMÁRIO

RESUMO .....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPITULO 1 - Organominerais, substâncias húmicas e uso de polímeros .....	1
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Fertilizantes Organominerais.....	4
2.2 Biochar.....	5
2.2.1 Processo de produção do biochar .....	7
2.2.2 Efeitos nas propriedades do solo, processos e funções.....	8
2.3 Substâncias húmicas .....	9
2.4 Fertilizantes revestidos com polímeros.....	12
2.5 Cultura do milho.....	14
2.6 Torta de filtro.....	16
REFERÊNCIAS.....	18
CAPITULO 2 - Fertilizantes organominerais farelados a base de biochar e torta-de-filtro e sua eficiência no crescimento inicial da cultura do milho.....	29
RESUMO.....	30
ABSTRACT.....	31
1. INTRODUÇÃO.....	32
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
2.1 Produção e obtenção dos fertilizantes.....	34
2.2 Dados gerais.....	35
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4. CONCLUSÕES.....	56
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57

REFERÊNCIAS.....	58
CAPITULO 3 - Efeito da aplicação de fertilizantes especiais a base de biochar, torta-de-filtro e polímeros sob o crescimento inicial da cultura do milho.....	61
RESUMO.....	62
ABSTRACT.....	63
1.INTRODUÇÃO.....	64
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	66
2.1 Produção e obtenção dos fertilizantes.....	66
2.2 Dados gerais.....	68
2.3 Análise estatística.....	72
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
4. CONCLUSÕES.....	85
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
REFERÊNCIAS.....	87

## RESUMO

FRANCO, MIGUEL HENRIQUE ROSA. **Biochar e fertilizantes especiais no crescimento inicial da cultura do milho**. 2019. 89f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia<sup>1</sup>.

A indústria de fertilizantes tem testado diversos tipos de produtos visando aumentar a eficiência dos nutrientes. Com base nestas premissas, objetivou-se neste estudo comparar em casa de vegetação, na cultura do milho, a eficiência agrônômica dos fertilizantes orgânicos, organominerais e com adição de polímeros em relação ao fertilizante mineral convencional. Para tanto foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação na Universidade Federal de Uberlândia. O primeiro experimento foi composto pela avaliação da eficiência agrônômica dos fertilizantes organominerais (OM) farelados (torta-de-filtro e biochar), sua mistura com substâncias húmicas (SH), e a comparação destes com a adubação com fertilizante mineral convencional na cultura do milho. Para tanto o mesmo foi conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados, num esquema fatorial  $7 \times 4 + 1$ , com quatro repetições por tratamento. O primeiro fator formado por sete diferentes fontes de fertilizantes (composto orgânico torta-de-filtro, composto orgânico biochar, OM a base de torta-de-filtro, OM a base de biochar, OM a base de torta-de-filtro + SH, OM a base de biochar + SH e mineral convencional), o segundo fator atendido pelo uso de diferentes doses baseados nos teores de nitrogênio (40, 80, 120 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N); e por final a adição de uma testemunha absoluta sem aplicação de fertilizantes. Em geral, os tratamentos OM torta-de-filtro, composto torta-de-filtro e OM biochar foram os que obtiveram um melhor índice de eficiência agrônômica quando comparado ao mineral. Já o segundo experimentos, foi composto pela avaliação da eficiência agrônômica dos fertilizantes especiais a base de mineral com adição de polímero, fertilizantes organominerais (OM) peletizados (torta de filtro e biochar) e sua mistura com substâncias húmicas (SH), sobre o crescimento inicial da cultura do milho, comparando os resultados obtidos na aplicação destes com a aplicação do fertilizante mineral convencional. O delineamento experimental foi composto por um delineamento em blocos casualizados, num esquema fatorial  $7 \times 4 + 1$ , com quatro repetições por tratamento. O primeiro fator formado por sete diferentes fontes (composto orgânico torta-de-filtro, composto orgânico biochar, OM torta-de-filtro, organomineral biochar, OM torta-de-filtro + SH, mineral com polímero e mineral convencional), o segundo fator atendido pelo uso de diferentes doses baseados nos teores de nitrogênio (60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N), e pôr fim a adição de uma testemunha absoluta sem aplicação de fertilizantes. Neste, os fertilizantes OM torta-de-filtro, OM biochar, OM torta com adição de substâncias húmicas e mineral com polímero foram mais eficientes que o fertilizante mineral.

**Palavras-chave:** orgânico, organomineral, polímero, substâncias húmicas.

---

<sup>1</sup>Professora Orientadora: Regina Maria Quintão Lana - UFU

## ABSTRACT

FRANCO, MIGUEL HENRIQUE ROSA. **Biochar and special fertilizers on the initial growth of corn crop.** 2019. 89f. Thesis (PhD in Agronomy / Phytotechny) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia<sup>1</sup>.

The fertilizer industry has tested various types of products aimed at increasing the efficiency of nutrients. Based on these assumptions, the objective of this study was to compare in a greenhouse in the corn crop, the agronomic efficiency of organic fertilizers, organomineral and with addition of polymers in relation to conventional mineral fertilizer. For both, two experiments were carried out under greenhouse conditions at the Federal University of Uberlândia. The first experiment was composed by the evaluation of the agronomic efficiency of organomineral (OM) fertilizers (filter cake and biochar), their mixture with humic substances (SH), and the comparison of these with the fertilization with conventional mineral fertilizer in the corn. For this purpose, the experiment was conducted in a randomized complete block design, in a 7x4 + 1 factorial scheme, with four replications per treatment. The first factor consists of seven different sources of fertilizer (organic compound filter cake, biochar organic compound, OM filter cake base, OM biochar based, OM filter cake base + SH, OM based on biochar + SH and conventional mineral), the second factor served by the use of different doses based on levels of nitrogen (40, 80, 120 and 160 kg ha<sup>-1</sup> of N); and finally the addition of an absolute control without applications of fertilizer. In general, the treatments OM filter cake, filter cake compound and OM biochar were those that obtained a better index of agronomic efficiency when compared to the mineral. The second experiment was composed by the evaluation of the agronomic efficiency of special fertilizers based on mineral with addition of polymer, pelletized organomineral (OM) fertilizers (filter cake and biochar) and its mixture with humic substances (SH), on initial growth of corn crop, comparing the results obtained in the application of these with the application of conventional mineral fertilizer. The experimental design consisted of a randomized complete block design in a 7x4 + 1 factorial scheme, with four replications per treatment. The first factor consists by seven different sources (organic compound filter cake, organic compound biochar, OM filter cake, organomerical biochar, OM filter cake + SH, mineral with polymer and conventional mineral), the second factor answered by the use of diferente doses based on level of nitrogen (60, 120, 180 and 240 kg ha<sup>-1</sup> of N), and to stop the addition of an absolute control without the application of fertilizers. In this, the OM fertilizers filter cake, OM biochar, OM pie with addition of humic substances and mineral with polymer were more efficient than the mineral fertilizer.

**Key words:** organic, organomineral, polymer, humic substances.

---

<sup>1</sup>Supervising committe: Regina Maria Quintão Lana - UFU

## **CAPITULO 1**

### **Organominerais, substancias húmicas e uso de polímeros**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A agroindústria é um mercado em ascensão no mundo e uma das maiores responsáveis por movimentar a economia brasileira, sendo o mercado de fertilizantes um dos elementos em destaque nesta cadeia. Somente no ano de 2016 foram entregues no mercado brasileiro 31,4 milhões de toneladas de fertilizantes, representando um crescimento de 4% em relação ao ano anterior (CRUZ et al., 2017). Segundo a Associação dos Misturadores de Adubo do Brasil (AMA), o consumo de fertilizantes vem aumentando gradativamente não somente em termos de volume, mas principalmente pela exigência de produtos sofisticados, causando ganhos significativos na produção e na produtividade agrícola (FLORENCE, 2016).

Neste contexto, a introdução de novas tecnologias relacionadas ao uso e manejo dos fertilizantes tem sido observadas no campo em destaque para o uso dos chamados fertilizantes especiais. Segundo Lemos (2017) a utilização de fertilizantes especiais e de liberação lenta no campo tem aumentado significativamente, pela maior eficiência de utilização, bem como melhorias nas características físico-químicas do solo, proporcionando aumento de produção das culturas.

Os fertilizantes organominerais que se originam de uma mistura a partir de fertilizantes orgânicos (origem animal e vegetal) e fertilizantes minerais, surgem como alternativa para a melhoria da eficiência das adubações sem comprometer o desenvolvimento da planta e o meio ambiente (RAMOS et al., 2017).

Segundo Polidoro (2013) o desempenho do setor de fertilizantes orgânicos e organominerais foi positivo desde o início dos anos 2000, chegando ao fornecimento de aproximadamente 11% dos nutrientes entregues aos produtores em 2012, com isso esse segmento surge como uma alternativa para a correção de deficiências nutricionais do solo brasileiro e a diminuição da dependência em relação ao produto externo.

Na agroindústria diversos materiais orgânicos vem sendo utilizados para a produção dos fertilizantes organominerais, com destaque para a utilização da torta de filtro, material orgânico obtido a partir da mistura entre o bagaço moído e o lodo de decantação durante o processo de tratamento do caldo e produção de açúcar nas usinas sucroalcooleira (SANTOS et al., 2011). Segundo Junior (2008), este material sai do processo produtivo com 75 a 80% de umidade e devido a sua composição orgânica é um excelente produto para ser usado em recuperações de solos de baixa fertilidade. Além disto, sua composição química apresenta bons teores de fósforo,

nitrogênio, cálcio e matéria orgânica, além de teores consideráveis de potássio, magnésio e micronutriente.

Devido ao alto teor de matéria orgânica presente na torta de filtro, este material pode ser aproveitado também para a incorporação em processos mais dinâmicos, buscando a obtenção de biocarvões (biochar) a partir do processo de pirólise lenta (BERNADINO et al., 2018). Segundo o mesmo autor, o biochar proveniente da pirólise da torta de filtro apresenta aumentos nos teores de N, P, K, Ca, Mg, Fe e não apresenta metais pesados em sua constituição. Assim, a utilização deste tipo de material pode ser uma excelente opção para o fornecimento de matéria orgânica para a produção de fertilizantes organominerais e para futuras adubações orgânicas no campo.

Outro setor que vem crescendo muito no Brasil é a produção de fertilizantes com revestimentos de polímeros. Segundo Blaylock (2007) os polímeros são muitas vezes produzidos a partir de poliuretanos e poliolefina proporcionam condições de controle e liberação dos nutrientes de acordo com as necessidades nutricionais das plantas ao longo do ciclo de cultivo, ocasionam melhores aproveitamentos dos nutrientes pela planta. Machado et al. (2012), destacam que esta tecnologia vem sendo empregada no campo com objetivo de aumentar a eficiência das adubações através da liberação gradual ou controlada dos nutrientes, os chamados fertilizantes de liberação lenta (slow release).

Por último, surge também na classe de fertilizantes especiais os adubos com adição de substâncias húmicas. Segundo Stevenson (1994) essas substâncias podem favorecer a eficiência do fertilizante devido sua capacidade de competir pelos sítios de adsorção de fósforo, mantendo esse elemento disponível para as plantas, e também pela formação de complexos que impedem a adsorção de fósforo pelos óxidos de ferro e alumínio (TIRLONI et al., 2009). Além disso, segundo Martinazzo (2007) por serem originários dos resíduos vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição, os ácidos húmicos elevam a concentração de fósforo orgânico no solo aumentando a disponibilidade fósforo para as plantas.

Neste contexto, o estudo dos efeitos dos fertilizantes especiais sobre as características químicas do solo e sobre a nutrição, crescimento e desenvolvimento das plantas é de extrema importância para se obter uma melhor utilização dos fertilizantes, promovendo assim o correto posicionamento destas tecnologias no campo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Fertilizantes Organominerais

De acordo com a legislação brasileira, perante a INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 23, DE 31 DE AGOSTO DE 2005, o fertilizante organomineral é definido como: “produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos”. Sendo que no CAPÍTULO III da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 25, DE 23 DE JULHO DE 2009, SEÇÃO V, Art.8º, § 1º, são estabelecidas as atuais características, especificações, garantias para produção dos fertilizantes organominerais sólidos, onde descreve que os mesmos deverão apresentar, no mínimo 8% carbono orgânico, CTC mínima de 80 mmol<sub>c</sub>/kg e umidade máxima de 30% (BRASIL, 2009).

Segundo Levrero (2009) vários são os benefícios dos organominerais, sendo os mesmos dependentes principalmente de fatores ambientais e biológicos. Como efeitos positivos pode-se citar a maior eficiência no fornecimento dos nutrientes e melhoria no desenvolvimento radicular das plantas, na retenção de água e nas propriedades bio-físico-químicas do solo (ATKINSON et al., 2010; JEFFERY et al., 2011), menor acidificação do solo, redução das perdas dos nutrientes, redução da erosão e menor custo operacional com aplicação conjunta do produto orgânico e mineral (CHEN et al., 2010; ANDERSON et al., 2011). Além disso, espera-se o aumento da população de microrganismos no microambiente onde foi aplicado o fertilizante organomineral, devido ao fornecimento de energia advindo da fração orgânica, refletindo na maior ciclagem de nutrientes no ambiente de aplicação (NELISSEN et al., 2013; FARRELL et al., 2013). Desta forma, a aplicação de fertilizantes organominerais se torna uma estratégia viável para melhorar as propriedades do solo e consequentemente a produtividade agrícola (BIEDERMAN; HARPOLE, 2013; MCCORMACK et al., 2013; FARREL et al., 2014).

No que tange ao processo produtivo, os fertilizantes organominerais podem ser produzidos a partir da mistura física entre a fonte orgânica e mineral, originando um produto farelado, ou então, após mistura uniforme destas duas fontes o mesmo pode ser inserido num processo de peletização por extrusão (MORAIS, 2017), produzindo assim pellets com elevado grau de dureza com alta resistência a fragmentação e com ausência na segregação dos nutrientes (TEIXEIRA, 2013).

Diferentemente do processo de produção de fertilizantes minerais, que necessita de instalações de grande porte e altos investimentos, o setor de fertilizantes organominerais se

caracteriza por unidades regionais associadas geralmente a outros sistemas produtivos (OLIVEIRA, 2014). Analisando um cenário de expansão da utilização deste tipo de tecnologia no setor produtivo, pode-se dizer que a produção de fertilizantes organominerais impactará diretamente na demanda de utilização dos fertilizantes minerais importados (N, P e K), trazendo ganhos expressivos para a economia brasileira (BENITES, et al., 2010). Ainda segundo o mesmo autor, a adoção de medidas estratégicas que estimulem este setor é essencial perante os benefícios socioeconômicos trazidos por essa atividade, mesmo sabendo que esta pequena indústria de produção de fertilizantes organominerais ainda não influencia diretamente na formação de preços e sobre a demanda brasileira de fertilizantes.

Algumas pesquisas realizadas em campo avaliando a eficiência agrônômica da utilização de fertilizante organomineral na cultura da cana-de-açúcar, demonstram que o fertilizante organomineral mostrou-se mais eficiente que o fertilizante mineral convencional tanto em cana-planta quanto em cana-soca, podendo substituir o fertilizante mineral e apresentar até 23,8% a mais de eficiência na produção de colmos de cana-de-açúcar proporcionando assim maior lucratividade para o segmento (SOUZA, 2014).

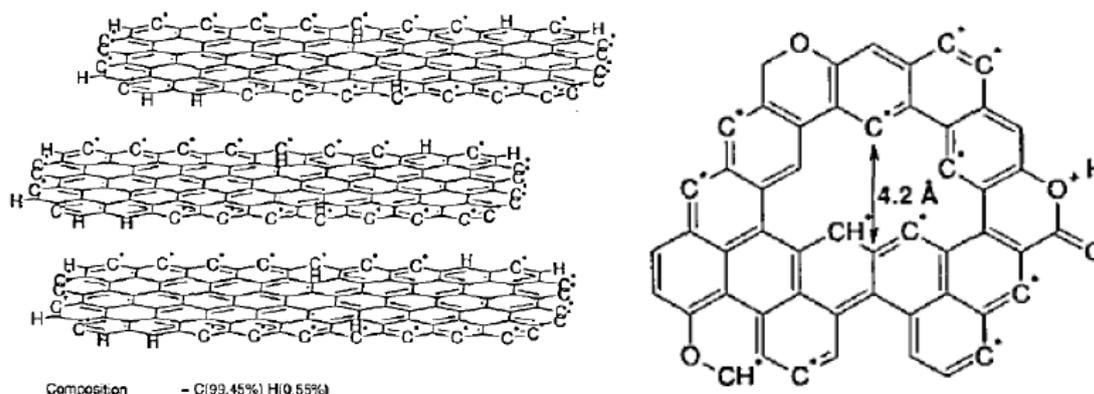
Em outro estudo Cardoso et al. (2015) estudando os fertilizantes organominerais peletizados comparados a aplicação de fertilizantes minerais convencionais sobre a produção de batata cultivar ágata na safra de verão e inverno conclui-se que, o fertilizante organomineral foi mais eficiente em ambas as épocas, proporcionando maior produtividade e melhor qualidade de tubérculos quando comparado aos resultados observados para o fertilizante mineral.

## 2.2 Biochar

Segundo Nóbrega (2011) o biochar é um produto obtido pela decomposição térmica da biomassa processo denominado de pirólise. Neste processo a biomassa é submetida a altas temperaturas entre 450 °C e 750 °C em um meio inerte, sendo obtidos como resultado desse processo o produto sólido (biochar), líquido (bio-óleo) e gasoso (gás pirolítico) (CHEN et al., 2014). Segundo Chen et al. (2014) o biochar possui uma forte estrutura aromática e por isso é mais recalcitrante do que muitos outros tipos de matéria orgânica no solo. Com isso, sua oxidação ocorre de forma lenta no solo, o que leva à produção de grupos funcionais negativos na sua superfície como o grupo carboxílico e fenólico.

Em sua estrutura cada partícula de biochar é composta por duas frações estruturais principais, folhas cristalinas de grafeno empilhadas e aleatoriamente ordenadas por estruturas aromáticas amorfas (Figura 1). São encontrados predominantemente O, N, P e S como

heteroátomos incorporados dentro dos anéis aromáticos (BOURKE et al., 2007), devido principalmente à diferença de eletronegatividade destes em relação aos átomos de carbono.



Fonte: Bourke et al. (2007)

FIGURA 1- Estrutura dos constituintes estruturais do biochar. O modelo de uma estrutura microcristalina de grafite do lado esquerdo e uma estrutura aromática contendo O e radicais de carbono livre do lado direito.

Devido a estas propriedades físicas e químicas o biochar pode influenciar propriedades do solo como o pH, porosidade, capacidade de retenção de água e a densidade. Além disso, pode reter íons da solução do solo devido a uma combinação de fenômenos de eletrostática, complexação e pelas forças capilares na sua superfície e nos seus poros (NÓBREGA, 2011).

A aplicação do biochar no solo pode influenciar na estrutura, textura, porosidade, profundidade e consistência do mesmo, isto devido a mudança na densidade da área superficial, distribuição, densidade e tamanho dos poros e partículas do solo. Esses efeitos têm impacto direto no crescimento das plantas, ajudando na penetração e desenvolvimento das raízes devido à maior disponibilidade de ar e água no solo (VAN ZWIETEN et al., 2010). Indiretamente, algumas reações físicas e biológicas do solo podem ser também influenciadas, como é o caso da presença física de locais para reações e fornecimento de habitats protetores para a população microbológica do solo (STEENWETH et al., 2005).

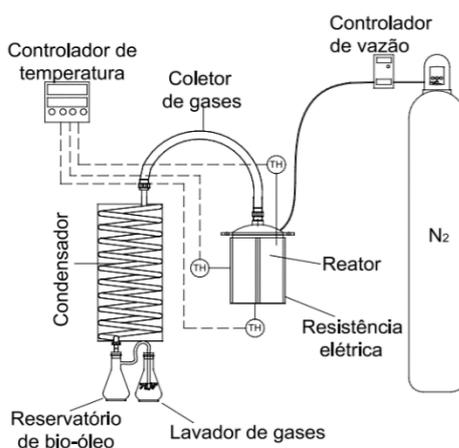
Pesquisas vem demonstrando que a estrutura porosa do biochar possui afinidade por partículas carregadas (KEECH et al., 2005) influenciando no crescimento das plantas (CHAN et al., 2008), melhoria da capacidade de retenção de água do solo (LAIRD et al., 2010), diminuição a incidência de doenças nas culturas (MATSUBARA et al., 2002), retenção da biodisponibilidade de metais pesados (PARK et al., 2011), redução da lixiviação de nutrientes, que por sua vez, pode reduzir necessidades do uso de fertilizantes minerais (LIANG et al., 2006).

Existem relatos da aplicação do biochar no solo possibilitando a redução das emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$ , impedindo a formação destes gases responsáveis pelo efeito estufa (YANAI et al., 2007).

### 2.2.1 – Processo de produção do biochar

Geralmente o processo de pirólise ocorre entre  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$  com taxa de aquecimento variando entre  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , tempo de residência de 5 min a 15 min e pressão fixada em 0,1 MPa durante todo o processo. Tipicamente os rendimentos dos produtos nessa modalidade apresentam-se entre 40-60% de bio-óleo, 20-30% de gases não condensáveis e 15-25% de biochar (TRIPATHI et al, 2016).

Durante o processo de produção a matriz orgânica é colocada dentro do reator envolvido por uma resistência elétrica que fornece calor a uma taxa de aquecimento definida. Por meio de um cilindro injeta-se  $N_2$  no reator com intuito de se obter uma atmosfera inerte, sendo a sua vazão controlada por um medidor/controlador de fluxo mássico instalado na linha de injeção do gás de arraste. No início do processo de pirólise há liberação de material volátil. Por meio do gás de arraste, esse, é então, conduzido até o condensador, onde a mistura  $N_2$  e voláteis são resfriados no trocador de calor tipo espiral que fica mergulhada em água na temperatura ambiente. A porção condensável desses gases é convertida em bio-óleo coletado no reservatório de óleo, enquanto os gases não condensáveis e o gás de arraste são borbulhados em um lavador de gases. O excesso das emissões é direcionado ao sistema de exaustão e o produto sólido da reação é obtido dentro do reator (Figura 2) (VIEIRA, 2018).



Fonte: VIEIRA (2018)

FIGURA 2: Esquema do reator de pirólise.

### 2.2.2 – Efeitos nas propriedades do solo, processos e funções

Devido as características de alcalinidades dos materiais orgânicos advindos do biochar e dependendo da quantidade aplicada, a aplicação deste pode ser capaz de reduzir a acidez do solo. A presença de agrupamentos funcionais oxigenados, como  $-O^-$  e  $-COO^-$ , com cargas negativas, presentes na superfície do biochar, podem reter o  $H^+$  presente na solução do solo diminuindo a acidez, além de favorecer a formação de complexos catiônicos na superfície do biochar (SIZMUR et al., 2015).

Fatores como a presença de cátions de caracteres básicos, como K, Na, Ca e Mg, concentrados no biochar durante o processo de pirolise em detrimento da volatilização de outros compostos podem favorecer a neutralização dos componentes da acidez do solo em detrimento da substituição das cargas negativas na CTC anteriormente ocupados por  $H^+$  e  $Al^{+3}$  (YUAN et al., 2011).

Laird et al. (2010) estudando o uso de biochar na melhoria da qualidade de um solo argiloso no campus da universidade de agronomia no estado de Iowa, constataram o aumento de quase uma unidade de pH com o uso de 20 g de biochar por  $kg\ solo^{-1}$ , mostrando assim a capacidade do mesmo como agente de neutralização da acidez do solo.

A partir destes pressupostos pode-se dizer que a capacidade do biochar de alcalinização é uma característica fundamental para o manejo de solos ácidos de regiões tropicais, diminuindo a necessidade de aplicação de calcário e promovendo melhorias no solo para o desenvolvimento das culturas e incrementos de produtividade (BIEDERMAN et al., 2013).

Devido a formação de cargas negativas advindas da oxidação de grupos carboxílicos e fenólicos através da aplicação do biochar no solo observa-se um aumento da CTC e dos efeitos positivos baseados nos indicadores de fertilidade do solo após a aplicação do mesmo (NOVAK et al., 2009). Com isso, estes fatores podem melhorar a qualidade dos parâmetros químicos do solo e modificar a estrutura porosa dos mesmos (YUAN et al., 2011).

Chan et al. (2007) em seu estudo avaliando o valor agrônômico do biochar produzido de restos vegetais oriundos de sistemas residuais a partir de podas de jardinagem sobre a produtividade de plantas e qualidade do solo em vasos cultivados com rabanete, observou que houve mudanças nas propriedades químicas do solo a partir das diferentes taxas de aplicação do biochar. Estas mudanças incluem aumento do pH, carbono orgânico, sódio (Na), potássio (K) e cálcio (Ca); com redução expressiva do teor de alumínio trocável nas taxas mais elevadas de aplicação do biochar. A partir destes resultados pode-se inferir que houveram aumentos dos V%, SB e CTC do solo após a aplicação do biochar.

Estudos de campo e laboratório vêm comprovando que a aplicação do biochar pode levar a uma diminuição na lixiviação de nutrientes especialmente nitratos no solo. Este fato pode estar relacionado a estabilidade de longo prazo do biochar no solo, devido a sua maior superfície relativa interna que ajuda a diminuir a percolação de água abaixo da zona da raiz e facilita o aproveitamento do nutriente pela planta, diminuindo assim a lixiviação de nutrientes. Desta maneira, o biochar pode atuar na melhoria da retenção de líquidos e transpiração vegetal, levando a retenção de nutrientes móveis suscetíveis a lixiviação, tais como nitratos, ou cátions lixiviáveis a pH baixo (VERHEIJEN et al., 2005).

Lehmann et al. (2003) estudando a lixiviação de nutrientes em experimentos com lisímetros, indicaram que o índice de absorção de nutrientes aumenta com a aplicação do biochar no solo. Os autores também concluíram que este fator deve ter sido ocasionado devido a retenção dos nutrientes em complexos de adsorção eletrostática criados pelo biochar no solo.

Pesquisas sugerem que a aplicação de biochar no solo pode levar a uma estabilização da matéria orgânica no solo (LIANG et al., 2010). Assim, em solos com agrossistemas modernos, o ganho de carbono líquido a partir da aplicação de biochar baseado em estratégias de gestão do solo seria consideravelmente melhorado favorecendo a fixação de carbono orgânico (VERHEIJEN et al., 2005).

Outro tema que merece destaque neste capítulo é o uso do biochar como condicionador do solo visando o sequestro de carbono atmosférico. A permanência deste material no solo sem sofrer alterações em sua estrutura pode contribuir para diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> atmosférico. Segundo Wardle et al. (2008) o uso de biochar ao invés de materiais orgânicos in-natura, principalmente em ambientes altamente oxidativos, pode reduzir a perda de carbono da biomassa aplicado, contribuindo para permanência do carbono no solo e evitando assim a emissão de CO<sub>2</sub> para atmosfera. Neste contexto a aplicação de biochar no solo é proposta como um mecanismo de sequestro de carbono, onde através dessa prática espera-se evitar a emissão de carbono em forma de gases de efeito estufa sendo ele armazenado no solo em formas mais estáveis, comparado com a deposição de resíduos diretamente ao solo, em formas mais lábeis (MADARI et al., 2006).

### 2.3 Substâncias húmicas

Os solos são estruturas ricas em microrganismos, sendo que estes desempenham um papel fundamental especialmente no ciclo do carbono e na gênese das substâncias húmicas. Sabe-se ainda que os exsudados liberados pelos microrganismos e pelas raízes das plantas contribuem

para a reciclagem dos elementos químicos e no fornecimento de prótons e elétrons para a solução do solo. Destes exsudados os mais caracterizados são os ácidos orgânicos fórmico, acético, oxálico, tartárico e cítrico (BALDOTTO et al., 2008; SPOSITO, 2008; BALDOTTO et al., 2010).

Segundo Piccolo (2001) as substâncias húmicas são agregados organizados em assembleias de diversos compostos orgânicos de baixo peso molecular com domínio hidrofílico (ácidos fúlvicos - AF), ou hidrofílico-hidrofóbicos (ácidos as húmicos).

Sabe-se ainda, que as substâncias húmicas participam de importantes reações no sistema solo-planta, podendo influenciar nas propriedades físico-químicas do solo (SANTOS et al., 1999) e agir diretamente no aumento da eficiência do metabolismo bioquímico (fotossíntese) e absorção de nutrientes pelas plantas (ROSA et al., 2009). Segundo Nannipieri et al. (1983) nas plantas, essas substâncias atuam ainda em reações como o transporte de íons, respiração e reações enzimáticas do ciclo de Krebs, resultando em maior produção de ATP; aumento no conteúdo de clorofila; aumento na velocidade e síntese de ácidos nucléicos e efeito seletivo sobre a síntese proteica e/ ou inibição da atividade de diversas enzimas.

Estudos vêm demonstrando a capacidade dos ácidos húmicos em promover o incremento da absorção de  $\text{NO}_3^-$  e assimilação de N nas plantas (JANNIN, 2012), sendo esse processo influenciado possivelmente pela regulação da síntese de RNAm da enzima  $\text{H}^+$ -ATPase promovido por esses extratos húmicos nas raízes das mesmas.

Segundo Varanini et al. (1993) este incremento da absorção de nutrientes pelas plantas após a aplicação destas substâncias tem sido promovido pelo aumento da permeabilidade da membrana plasmática (MP) por meio da ação surfactante das mesmas e pela ativação da  $\text{H}^+$ -ATPase da MP.

Sabe-se também que o gradiente eletroquímico gerado pela  $\text{H}^+$ -ATPase está diretamente envolvido a mecanismos responsáveis pelo desenvolvimento vegetal, como a energização de sistemas secundários responsáveis pela absorção de nutrientes pelas plantas e também pelo aumento da plasticidade celular responsável pelo crescimento vegetal. Este último relacionado a teoria do crescimento ácido que induz um aumento da extrusão de prótons mediado pela  $\text{H}^+$ -ATPase promove a acidificação do apoplasto, ativando enzimas específicas que atuam sobre a parede celular e permitindo assim o alongamento da célula vegetal (RAYLE et al., 1992).

Além da influência das substâncias húmicas sobre a absorção de nutrientes, as mesmas também atuam na quantidade absorvida destes nutrientes, uma vez que essas substâncias húmicas favorecem a emissão de pelos radiculares e raízes laterais finas, aumentando assim a área superficial do sistema radicular (FAÇANHA et al., 2002; CANELLAS et al., 2005).

Façanha et al. (2002) verificando a influência dos ácidos orgânicos isolados sobre o desenvolvimento de raízes de plântulas de café e de milho, verificaram que houve uma forte interação entre as raízes das plantas, seus exsudados e os ácidos húmicos aplicados no solo. As subunidades funcionais dos ácidos húmicos acessaram os receptores na superfície ou do interior das células das raízes, desencadeando processos que culminariam com o estímulo do desenvolvimento e aumento do comprimento e da área radicular; comprovando assim a hipótese de atividade hormonal auxínica presentes nesses extratos. O mesmo autor verificou também através de testes enzimáticos, que após a aplicação das substâncias húmicas houve um estímulo da atividade ATPásica sensível a vanadato e do transporte de  $H^+$  acoplado à hidrólise de ATP, consistente com a ativação da  $H^+$ -ATPase de membrana plasmática. Assim, esses resultados sugerem que as moléculas de ácidos húmicos interagiram com receptores na superfície celular que, por sua vez, transmitiriam um sinal para dentro da célula, desencadeando a ativação da  $H^+$ -ATPase e promovendo o aumento da plasticidade da parede celular, alongação da célula vegetal e o conseqüente incremento da área radicular nas plântulas comprovando a bioatividade dos ácidos húmicos estudados e seus efeitos.

Rima et al. (2009) estudando o efeito da adição de ácido cítrico (AC) à solução de ácido húmico (AH) sobre a atividade  $H^+$ -ATPásica e desenvolvimento do sistema radicular de plântulas de milho, constatou um aumento de 37% no número de raízes laterais emergidas em relação ao tratamento controle quando feita a aplicação do ácido húmico isolado e de 55% quando feita a mistura do ácido húmico ao ácido cítrico. Assim, o aumento da emergência de raízes laterais pode ter efeitos significativos sobre a produção, podendo melhorar a adaptação das plantas a diferentes ambientes de solo e ocasionar o aumento da absorção de nutrientes pelas plantas (NIBAU et al., 2008).

Em trabalho realizado por Rosa et al. (2009) avaliando o efeito das substâncias húmicas extraídas a partir do carvão mineral nos parâmetros cinéticos de absorção de K, no crescimento e concentração de nutrientes em plantas de feijão verificou que estas substâncias foram capazes de aumentar a produção de massa da parte aérea e massa seca de raiz em valores de aproximadamente 30 e 40% respectivamente quando comparado com a testemunha e que as mesmas reduziram os parâmetros cinéticos de absorção de K, com conseqüente redução da taxa de absorção deste elemento.

Catuchi et al. (2016) avaliando a resposta da cultura da soja em razão da aplicação de ácidos fúlvicos e húmicos no sulco de semeadura e via foliar verificou que a aplicação destes ácidos orgânicos aumentou a matéria seca das plantas quando comparadas a testemunha e que

em geral a aplicação destes promoveram um aumento no número de vagens por planta e consequentemente aumentaram a produtividade da cultura da soja.

Silva et al. (2011) estudando o efeito das substâncias húmicas isoladas de uma turfeira da Serra do Espinhaço Meridional sobre a promoção do crescimento radicular de plântulas de tomateiro, constatou que os ácidos húmicos apresentaram maior capacidade de indução de raízes laterais no estágio inicial de desenvolvimento do tomateiro, promovendo o aparecimento de pelos radiculares em plântulas. Com isso verificou-se que os ácidos húmicos atuaram como um tipo de auxina exógena induzindo a rota de sinalização da auxina nas plantas plântulas e promovendo o crescimento radicular das mesmas.

A partir dos resultados obtidos em pesquisas até então envolvendo os efeitos da utilização das substâncias húmicas nas plantas, deixa-se evidente que a mistura destas substâncias húmicas aos fertilizantes aparece como uma boa alternativa para melhoria da eficiência agrônômica dos mesmos, podendo estas serem usadas para produção de novas formulações pela indústria de fertilizantes especiais.

Duarte et al. (2013) trabalhando com o revestimento do fertilizante MAP á ácidos húmicos e verificando a disponibilidade de fósforo no solo, verificou que em geral os ácidos húmicos influenciaram positivamente para um maior teor e melhor disponibilidade de fósforo na solução do solo ao serem utilizados no revestimento do fertilizante mineral.

#### 2.4 Fertilizantes revestidos com polímeros

Atualmente, a indústria de fertilizantes vem testando diversos tipos de produtos visando aumentar a eficiência dos fertilizantes na dinâmica de disponibilização de nutrientes. Dentre as alternativas disponíveis no mercado, pode-se citar alguns exemplos de revestimentos utilizados em fertilizantes como o uso do enxofre elementar e o processo de encapsulamento com polímeros (CANTARELLA, 2007).

Geralmente estes polímeros podem se diferir em natureza química do material envolvente e pela espessura do revestimento aplicado. Por isso, ocorrem bruscas diferenças entre preços praticados no mercado e também em relação ao seu mecanismo de ação (CANTARELLA et al., 2010).

Segundo Trenkel (2010), algumas empresas possuem hoje diferentes tipos de fertilizantes aos quais são adicionados algum tipo de polímero, sendo esses chamados de fertilizantes especiais. Segundo o mesmo autor, estes fertilizantes são descritos pela sua característica de liberação controlada ou lenta e estabilização dos grânulos, sendo o primeiro representado pela

liberação gradativa por vários meses e o segundo descrito pelos fertilizantes associados com inibidores de urease e nitrificação.

Os fertilizantes revestidos com polímeros não apresentam diferença quanto a época de aplicação quando comparados aos fertilizantes convencionais (VIEIRA et al., 2004). Desta maneira, as diferenças ocorrem quanto a eficiência das adubações, sendo que os adubos polimerizados buscam reduzir as perdas de nutrientes principalmente relacionados a lixiviação, fixação e volatilização presentes nos outros tipos de fertilizantes (ZHRANI, 2000). Segundo Tomaszewska et al. (2002), os grânulos presentes nos fertilizantes polimerizados possuem a característica de absorverem água solo, solubilizando os nutrientes presentes dentro das capsulas e liberando os mesmos em sua estrutura porosa de acordo com as necessidades de absorção das plantas.

Melgar (2005) ressalta que os fertilizantes polimerizados com liberação controlada apresentam as seguintes características: podem ser aplicados de uma única vez para todo o ciclo do cultivo; possuem uma máxima recuperação do nutriente aplicado, o que maximiza a rentabilidade no seu uso e possuem redução no dano ambiental sobre o solo, a água e a atmosfera.

Shaviv (2001) descreve ainda que as principais vantagens dos fertilizantes com liberação controlada são a redução das perdas dos nutrientes (lixiviação, desnitrificação, imobilização e volatilização), fornecimento regular de nutrientes para as plantas, menor parcelamentos nas aplicações, eliminação da salinização causada pelos fertilizantes tradicionais, redução da poluição causada pelo  $\text{NO}_3^-$ , redução de custos para o produtor rural e maior praticidade no manuseio.

Assim, os fertilizantes revestidos com polímeros têm por objetivo otimizar a absorção dos minerais pelas plantas, diminuir as perdas por lixiviação e fornecer nutrientes por um maior período de tempo (MORGAN et al., 2009).

Guareschi et al. (2011) comparando épocas e doses de aplicação do superfosfato triplo (SFT) cloreto de potássio (KCl) com e sem revestimento por polímero no desempenho produtivo da soja em condições edafoclimáticas de cerrado observaram que aplicação a lanço de superfosfato triplo e cloreto de potássio, revestidos por polímeros, 15 dias antes da semeadura, proporcionou maior produção de massa seca, número de vagens por planta e produtividade de grãos de soja em relação aos fertilizantes convencionais.

Souza et al. (2014) avaliando a eficiência agrônômica do Fosfato Monoamônico (MAP) revestido com polímeros na cultura de soja, no sistema plantio direto, constataram que houve superioridade do fertilizante fosfatado revestido na produtividade de grãos de soja comparado ao uso de adubo fosfatado convencional. Os mesmos autores concluíram ainda que os fertilizantes

revestidos com polímeros surgem como uma alternativa para aumentar a eficiência dos fertilizantes fosfatados em solos tropicais de elevado intemperismo.

Figueredo et al. (2012) estudando o efeito da aplicação de adubo fosfatado revestido com polímero, associada à calagem, na produção e parâmetros morfológicos da cultura do milho, verificaram que o MAP revestido com polímero promoveu melhor desempenho produtivo, massa seca total e altura de plantas, em relação ao fertilizante MAP convencional, nos níveis de saturação por bases de 40 e 50%.

Guareschi et al. (2013) em estudo realizado a campo em Rio Verde - GO e avaliando o desempenho de milho sob sistema plantio direto, decorrente da aplicação de ureia revestida por polímeros, concluíram que a aplicação da ureia revestida com polímero na dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N apresentou maior produtividade de milho, comprimento de espigas e massa de 1000 grãos quando comparado a ureia sem revestimento.

Leão (2008) comparando tratamentos com a aplicação de ureia revestida com polímeros e ureia convencional na adubação de cobertura da cultura do milho, constatou que houve uma redução da volatilização de nitrogênio e da atividade da enzima de uréase quando aplicado os fertilizantes com revestimento.

Contudo, segundo Cantarella (2007) apesar do potencial destes adubos com adição de polímeros e liberação gradual em elevar a produtividade e reduzir as perdas, o uso de tais produtos ainda é limitado devido ao alto custo em comparação aos fertilizantes tradicionais. Com isso, mais estudos devem ser realizados com intuito de equacionar esses custos no campo através das calibrações das doses e análise dos benefícios observados na utilização destes produtos no campo.

## 2.5 Cultura do milho

O milho (*Zea mays L.*) originário da América central e cultivado em todo o Brasil possui grande importância econômica no cenário agrícola brasileiro, principalmente devido a suas diversas formas de consumo, podendo ser utilizado desde a alimentação animal e humana até a produção de biocombustíveis pela indústria de alta tecnologia (FORNASIERI, 2007). Na verdade, a utilização do milho em grão como alimentação animal representa 70% do consumo deste cereal no mundo, sendo ainda a importância do milho relacionada ao aspecto social, pois a maioria do seu cultivo ainda é realizado por produtores que possuem pouco acesso à tecnologia (BEZERRA et al., 2008).

Segundo a CONAB 2013, a produtividade média do Brasil tem se situado nas últimas safras em torno de 5.000 kg ha<sup>-1</sup>. Este valor é considerado baixo quando comparado aos rendimentos superiores alcançados em condições experimentais ou da produtividade média obtida por países como os Estados Unidos, que possui produtividades superiores a 10.000 kg ha<sup>-1</sup> (Sangoi et al., 2010a).

Segundo Sangoi et al. (2010) essa grande diferença existente entre o rendimento médio brasileiro e o que é produzido em regiões de elevada tecnologia pode ser atribuída a diversas causas, como o uso de genótipos não adaptados a região de cultivo, a escolha inadequada do espaçamento de plantio e a aplicação de baixas doses de fertilizantes, principalmente nitrogenados. Assim, a ampliação do conhecimento das características envolvidas na planta do milho e do ambiente de produção é essencial para se conseguir estabelecer sistemas de produção eficientes e racionais, promovendo assim resultados satisfatórios quanto a produtividade, qualidade do produto, sustentabilidade da atividade e lucros (Queiroz et al., 2011).

Segundo Paiva et al. (2012) dentre os principais fatores responsáveis pela baixa produtividade da cultura do milho, destacam-se o baixo teor de P e de N nos solos e a falta de estudos em campo que definam as melhores doses dos nutrientes para adequada nutrição das plantas. De acordo com Rebequi et al. (2011) a dependência da fertilização do solo e a nutrição mineral adequada das culturas é o principal fator responsável pelo aumento de produção da maioria das culturas, o que não deve ser diferente para a cultura do milho.

Segundo as principais tabelas de recomendações de adubação presentes no Brasil (RAIJ et al., 1997; CAVALCANTI et al., 1998; RIBEIRO et al., 1999 e SOUSA & LOBATO, 2004), a recomendação das doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para a cultura do milho estão próximas de 60 a 95 kg ha<sup>-1</sup> de N e 0 a 125 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sendo essas recomendações dependentes do teor de P no solo, da produtividade esperada e com o tipo de solo trabalhado. Segundo Paiva et al. (2012) a prática de experimentações regionais para se determinar a correta recomendação de adubação para a cultura do milho é de fundamental importância. Assim, o desenvolvimento de pesquisas para se obter uma recomendação baseada em curvas de resposta da cultura e doses de nutrientes adequadas é de suma importância para o aumento de produtividade na cultura do milho no país (Silva et al., 2014).

Neste contexto, alternativas não só de adequações e recomendações específicas para fins de adubações como também estudos visando a indicação da época adequada de aplicação dos fertilizantes e a escolha do tipo de fertilizante adequado para cada ambiente de produção, são importantes para obter um melhor aproveitamento dos nutrientes pelas plantas e uma consequente elevação das produtividades na cultura do milho.

## 2.6 Torta-de-filtro

O setor sucroenergético apesar de ser um grande produtor de fontes de energia renováveis, é também um grande gerador de resíduos agroindustriais, destacando entre estes a vinhaça, torta de filtro (Coelho et al., 2016).

A torta de filtro é um resíduo advindo do processo de produção de açúcar após as borras resultantes da clarificação ter sua sacarose residual extraída. Suas características principais são a alta umidade, alto teor de matéria orgânica, fósforo, cálcio, magnésio e nitrogênio, podendo assim ser utilizada como alternativa complementar para adubação nas lavouras (SANTOS et al., 2011; AGEITEC, 2011). Segundo Adorna et al. (2013) para cada tonelada de cana de açúcar processada, são geradas 30 a 40 kg de torta de filtro, podendo ser reaproveitado como fertilizante orgânico e aplicado no campo. Santos et al. (2011) descreve ainda que a liberação dos nutrientes presentes na torta de filtro, principalmente o fósforo e o nitrogênio, se dá principalmente através da mineralização gradativa e também pela transformação deste material pelos microrganismos presentes no solo.

Ferreira et al. (1986) apresentam a composição química média da torta de filtro expressa em porcentagem (%) da matéria seca como sendo: 77 a 85 de matéria orgânica; 1,1 a 1,4 de N; 1,04 a 2,55 de  $P_2O_5$ ; 0,3 a 0,96 de  $K_2O$ ; 4,07 a 5,46 de  $CaO$ ; 0,15 a 0,56 de  $MgO$ ; e 2,70 a 2,96 de  $SO_3$ . Em outro estudo Nunes Júnior (2008) complementa essa análise média apresentada demonstrando também a presença dos seguintes micronutrientes na composição da torta de filtro: 0,8-1,2% de ferro, 500 - 800  $mg\ kg^{-1}$  de manganês, 40-80  $mg\ kg^{-1}$  de cobre e 150-220  $mg\ kg^{-1}$  de zinco.

Entre os efeitos da torta de filtro sobre as características do solo, pode-se destacar o aumento da disponibilidade de nutrientes como o nitrogênio, fósforo e cálcio, a redução dos teores de Al trocável e o aumento da CTC (Nunes Júnior, 2008; Santos et al., 2012; Barros et al., 2014).

De acordo com Alleoni & Beaclair (1995) a matéria orgânica presente na torta de filtro é capaz também de melhorar as características físico-químicas do solo, proporcionando benefícios como: aumento da capacidade de retenção de água, aumento da CTC, redução da densidade aparente, aumento da porosidade total e formação de agregados capazes de reduzir a erosão e aumentar a capacidade de absorção.

Assim, a utilização de resíduos orgânicos pode ser uma alternativa viável para substituição total ou parcial da adubação mineral. Com isso, a reciclagem de nutrientes

provenientes destes resíduos resultantes da transformação de matérias primas beneficiadas, aparecem como uma excelente alternativa para o fornecimento de nutrientes para as plantas, favorecendo assim o sistema solo x planta x ambiente (LUZ, 2011).

Segundo Severino et al. (2004) a utilização do adubo orgânico promove a liberação gradual dos nutrientes à medida que os mesmos são demandados para o desenvolvimento da cultura, sendo uma vantagem quando comparado a aplicação de fertilizantes minerais no solo, onde ocorre a disponibilização rápida dos nutrientes, podendo esses serem perdidos por volatilização (principalmente o nitrogênio), fixação (fósforo) ou lixiviação (principalmente o potássio). Por outro lado, uma desvantagem em relação a aplicação de adubos orgânicos é que alguns materiais podem apresentar uma mineralização extremamente lenta, o que pode atrapalhar a disponibilização destes e prejudicar o crescimento das plantas devido a carência nutricional promovida no solo.

Segundo Rossetto et al., (2008) os radicais orgânicos presentes na torta de filtro podem preencher os sítios de fixação de fósforo, tornando este elemento mais disponível para as plantas devido a diminuição da reação do fósforo com os minerais de argila e óxidos de ferro. Desta maneira, quando feita a aplicação de fertilizantes minerais, principalmente fosfatados, misturados a uma fonte orgânica, os carreadores orgânicos presentes são capazes de melhorar a solubilidade dos compostos de fósforo (P) no solo, liberando gradualmente este elemento para as plantas (TIRITAN et al., 2010).

Santos et al. (2010) descreve que uma das alternativas para se aumentar a disponibilidade de fósforo no solo é a aplicação de fertilizantes fosfatados com resíduos orgânicos, sendo que estes podem aumentar a eficiência da adubação e promover inclusive a redução das doses aplicadas em sistemas com cultivos sucessivos e que já possuem um longo período de cultivo do solo.

Em detrimento destes benefícios relacionados a utilização da matéria orgânica advinda da torta de filtro sobre a melhoria do sistema solo-planta, alternativas como a mistura deste subproduto com fertilizantes minerais e a produção de fertilizantes organominerais utilizando a torta de filtro como base orgânica podem ser altamente positivos. Assim, estudos futuros englobando diferentes formas de tratamento da torta de filtro, seja ela por rotas de compostagem ou até por processos de pirólise, são de extrema importância para entender a melhor forma de se utilizar essa matéria orgânica no sistema agrícola brasileiro.

## REFERÊNCIAS

- ADORNA, J. C.; CRUSCIOL, C. A. C.; ROSSATO, O. B. Fertilization with filter cake and micronutrientes in plant cane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 649-657, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300011>
- AGÊNCIA EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Árvore do conhecimento: cana-de-açúcar**. Brasília, DF, 2011.
- ANDERSON, C. R.; HAMONTS, K.; CLOUGH, T. J.; CONDRON, L. M.; FIERS, M.; STEWART, A.; HILL, R. A.; SHERLOCK, R. R. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. **Pedobiologia**, Amsterdam, v. 54, n. 56, p. 309-320, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2011.07.005>
- ALLEONI, L. R. F.; BEAUCLAIR, E. G. F. Cana-de-açúcar cultivada após milho e amendoim, com diferentes doses de adubo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 409-415, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161995000300001>
- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 337, n. 1, p. 1-8, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0464-5>
- BALDOTTO, M. A.; CANELLAS, L. P.; MENDONÇA, E. S.; DOBBSS, L.; VELLOSO, A. C. X.; SOBRINHO, A. N. M. B. **Reações da matéria orgânica**. In: Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 45-63.
- BALDOTTO, M. A.; CANELA, M. C.; CANELLAS, L. P.; DOBBSS, L. B.; VELOSO, A. C. X. Redox index of soil carbon stability. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1543-1551, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000500007>
- BENITES, V. M.; CORREA, J. C.; MENEZES, J. F. S.; POLIDORO, J. C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade de Solo e Nutrição de Planta. FERTBIO, Guarapari – ES. 2010.
- BENITES, V. M.; CORREA, J. C.; MENEZES, J. F. S.; POLIDORO, J. C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DE SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTA, 29., 2010. **Anais [...]**. Guarapari: [s. n.], 2010.
- BARROS, P. C. S.; COSTA, A. R.; SILVA, P. C.; COSTA, R. A. Torta de filtro como biofertilizante para produção de mudas de tomate industrial em diferentes substratos. **Revista Verde**, Mossoró, v. 9, n. 1, p. 265 - 270, 2014.

BERNADINO, C. A. R.; MAHLER, C. F.; VELOSO, M. C. C.; ROMEIRO, G. A.; SCHROEDER, P. Torta de Filtro, Resíduo da Indústria Sucroalcooleira – Uma Avaliação por Pirólise Lenta. **Revista Virtual Química**, Niterói, v. 10, n. 3, p. 51-573, 2018.

BEZERRA, L. L.; SILVA FILHO, J. H.; FERNADES, D.; ANDRADE, R.; MADALENA, J. A.S. Avaliação da aplicação de biofertilizante na cultura do milho: crescimento e produção. **Revista Verde**, Mossoró, v. 3, n. 3, p. 131-139, 2008.

BIEDERMAN, L. A.; HARPOLE, W. S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. **Global Change Biology Bioenergy**, Oxford, v. 5, n. 2, p. 202-214, 2013. DOI:

<https://doi.org/10.1111/gcbb.12037>

BLAYLOCK, A. O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. *Informações agrônômicas*, v. 120, n. 01, p. 08-10, 2007.

BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento - MAPA. Secretaria de defesa agropecuária. Instrução normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. Brasília: MAPA, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 25, de 23 de julho de 2009**. Brasília, DF, 2009. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Biog%C3%A1sFert+-+Instru%C3%A7%C3%A3o+Normativa+25%2C+normas+sobre+fertilizantes+destinados+%C3%A0+agricultura.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2019.

BOECKX, P. Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil. *Soil Biology and Biochemistry*, **Elsevier**, Amsterdam, v. 55, p. 20-27, 2012. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.05.019>

BOURKE, J.; HARRIS, M. M.; FUSHIMI, C.; DOWAKI, K.; NUNOURA, T.; ANTAL, M. J. Do all carbonized charcoals have the same structure? A model of the chemical structure of carbonized charcoal, **Industrial and Engineering Chemistry Research**, Washington, v. 46, p. 5954-5970, 2007. DOI:

<https://doi.org/10.1021/ie070415u>

CANELLAS, L. C.; SANTOS, G. A. **Humosfera**: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes. [s. n.]. 2005. p. 1-309.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. **Nitrogênio e enxofre**. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes. Piracicaba: IPNI, 2010. cap. 1, p. 5-46.

CANTARELLA, H. **Nitrogênio**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 7, p. 375-470.

CATUCHI, T. A.; PERES, V. J. S. P.; ARANDA, E. A.; SILVA, A. P. L. Desempenho produtivo da cultura da soja em razão da aplicação ácido húmico e fúlvico na semeadura e foliar. **Revista Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 12, p. 36-42, 2016. DOI:

<https://doi.org/10.5747/ca.2016.v12.nesp.000168>

CARDOSO, A. F.; LUZ, J. M. Q.; LANA, R. M. Q. Produtividade e qualidade de tubérculos de batata em função do fertilizante organomineral e safras de plantio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 80-89, 2015. DOI:

<https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n409rc>

CAVALCANTI, F. J. A. C. (coord.). **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. Recife: IPA, 1998. 198 p.

CHAN, K. Y.; VAN ZWIETWN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Using poultry lit-ter biochars as oil amendments. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 46, p. 437-444, 2008. DOI:

<https://doi.org/10.1071/SR08036>

CHEN, Y.; CHEN, Y. X.; HUANG, X.; HU, B.; SHI, D. Z.; WU, W. X. Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting. *Chemosphere*, **Elsevier**, Amsterdam, v. 78, n. 9, p. 1177-1181, 2010. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.12.029>

CHAN, K. Y.; VAN ZWIETWN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 45, p. 629-634, 2007. DOI:

<https://doi.org/10.1071/SR07109>

CHEN, D.; ZHOU, J.; ZHANG, Q. Bioresource Technology Effects of heating rate on slow pyrolysis behavior, kinetic parameters and products properties of moso bamboo. **Bioresource Technology**, Amsterdã, v. 169, p. 313-319, 2014. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.07.009>

COELHO, W. L. V.; SILVA, F. S.; DALLACORT, R. FRIGO, K. D. A.; FRIGO, E. P. Análise da fertilização do solo a partir dos resíduos do setor sucroenergético no Estado de Mato Grosso. **Revista Espacios**, Aguascalientes, v. 37, n. 35, p. 1, 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). Central de Informações Agropecuárias. Disponível

em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS//13\\_09\\_boletim\\_portugues\\_setembro\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS//13_09_boletim_portugues_setembro_2013.pdf).

CRUZ, A. C; PEREIRA, F. S; FIGUEREDO, V. S. **Fertilizantes Organominerais de resíduos do Agronegócio**: Avaliação do Potencial Econômico Brasileiro. *In*: BNDES Setorial. v. 45, p. 137-187.2017.

DUARTE, I.; JUNIOR, H. B. M. J.; SILVA, A. A.; LANA, R. M. Q, PIRES, M. R. Utilização de ácidos húmicos no revestimento do MAP. **Enciclopedia Biosfera**, Goiania, v. 9, n. 16, p. 2084, 2013.

FAÇANHA, A. R.; FAÇANHA, A. L. O.; OLIVARES, F. L.; GURIDI, F.; SANTOS, G. A.; VELLOSO, A. C. X.; RUMJANEK, V. M.; BRASIL, F.; SCHRIPSEMA, J.; FILHO, R. B.; OLIVEIRA, M.A.; CANELLAS, L. P. Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o

desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1301-1310, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000900014>

FAÇANHA, A. R.; CANELLAS, L. P. Adição de ácido cítrico potencializa a ação de ácidos húmicos e altera o perfil protéico da membrana plasmática em raízes de milho. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 614-620, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000400011>

FARRELL, M.; KUHN, T. K.; MACDONALD, L. M.; MADDERN, T. M.; MURPHY, D. V.; HALL, P. A.; SINGH, B. P.; BAUMANN, K.; KRULL, E. S.; BALDOCK, J. A. Microbial utilisation of biochar-derived carbon. *Science of The Total Environment. Soil as a Source & Sink for Greenhouse Gases*, Elsevier, Amsterdam, v. 465, p. 288 – 297, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.090>

FARRELL, M.; MACDONALD, L. M.; BUTLER, G.; CHIRINO-VALLE, I.; CONDRON, L. M. Biochar and fertiliser applications influence phosphorus fractionation and wheat yield. *Biology and fertility of soils*, Springer, Berlin, v. 50, n. 1, p. 169 – 178, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0845-z>

FERREIRA, E. S.; ZOTARELLI, E. M. M.; SALVIATI, L. **Efeitos da utilização da torta de filtro na produtividade da cana-de-açúcar**. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRÔNOMICA, 4., 1986, Piracicaba. **Anais[...]**. Piracicaba: Copersucar, 1986. p. 321-331.

FIGUEIREDO, C. C.; BARBOSA, D. V.; OLIVEIRA, S. A.; FAGIOLI, M.; SATO, J.H. Adubo fosfatado revestido com polímero e calagem na produção e parâmetros morfológicos de milho. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 446-452, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000300005>

FLORENCE, C. E. **Desafios do setor brasileiro de fertilizantes e as perspectivas para 2016**. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: <<http://amabrazil.agr.br/web/fertilizantes-enregues-ao-consumidor-final-total-brasil/>>. Acesso em 12 mar. 2019.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 2007. 576 p.

GUARESCHI, R. F.; PÉRIN, A.; GASOLLA, P. R.; Produtividade de milho submetido à aplicação de ureia revestida por polímeros. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 06, n. 02, p.31 – 37, 2013. DOI: <https://doi.org/10.14688/1984-3801.v06n02a04>

GUARESCHI, R. F.; GASOLLA, P. R.; PÉRIN, A.; SANTINI, J. M. K. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 643-648, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000400001>

JANNIN L.; AAKOUN M.; OURRY, A.; LAINÉ, P.; GOUX D.; GARNICA, M.; FUENTES, M.; FRANCISCO, S. S.; BAIGORRI, R.; CRUZ, F.; HOUDUSSE, F.; GARCIA, M. J. M.; YVIN, J. C.; ETIENNE, P. Microarray analysis of humic acid effects on Brassica napus growth: Involvement of N, C and S metabolisms. **Plant and Soil**, The Hague, v. 359, p.297-319, 2012. DOI:

<https://doi.org/10.1007/s11104-012-1191-x>

JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VELDE, M. V. D.; BASTOS, A. C. Quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using metaanalysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Elsevier, Amsterdam, v. 144, n. 1, p. 175-187, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.015>

KEECH, O.; CARCAILLET, C.; NILSSON, M. C. Adsorption of alleopathic compounds by wood-derived charcoal; the role of wood porosity. *Plant and Soil*, The Hague, v.272, p. 291–300, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-004-5485-5>

LAIRD, D. A.; FLEMING, P.; DAVIS, D. D.; HORTON, R.; WANG, B.; KARLEN, D. L. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, Amsterdã, v. 158, p. 443–449, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.05.013>

LEÃO, A. F. **Volatilização de amônia resultante da aplicação de ureia na cultura do Milho**. 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2008.

LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. **Amazonian Dark Earths: origin, properties and management**. 1. ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2003. 503 p.

LEMOS, L. B. **Milho: a utilização de produtos com liberação controlada e fertilizantes organominerais tem aumentado significante, reduzindo perdas e melhorando o solo**. In: Anuário Brasileiro de Tecnologia em nutrição Vegetal. São Paulo, 2017.

LEVRERO, C. R. **Fertilizante organomineral: a serviço do mundo**. Fórum Abisolo, [S. l.: s. n.], 2009.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 70, p. 1719-1730, 2006. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0383>

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOHI, S. P.; THIES, J. E.; O'NEILL, B.; TRUJILLO, L.; AUNT, J.; SOLOMON, D.; GROSSMAN, J.; NEVES, E. G.; LUIZAO, F. J. Black carbon affects the cycling of non-black carbon in soil. *Organic Geochemistry*, Bristol, v. 41, n. 2, p. 206-213, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2009.09.007>

LUZ, P. H. C.; KORNDÖRFER, G. H. Reciclagem de subprodutos na agricultura. In: VASCONCELOS, H. P. (Ed.). **Contribuições para a produção de alimentos: idéias para uma agricultura eficaz**. São Paulo: Nova Bandeira Produções Editoriais, 2011. v. 1, p.123-143.

MACHADO, V. J. **Aplicação de fertilizantes com diferentes tecnologias: volatilização de NH<sub>3</sub>**. 2015. Tese (Doutorado em solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

MADARI, B. E.; COSTA, A. R.; CASTRO, L. M.; SANTOS, J. L.; BENITES, V. M.; ROCHA, A. O.; MACHADO, P. L. O. A. Comunicado Técnico 125. Goiânia, GO. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. 2006. 4 p.

MATSUBARA, Y.; HASEGAWA, N.; FUKUI, H. Incidence of fusarium root rot in asparagus seedlings infected with arbuscular mycorrhizal fungus as affected by several soil amendments. **Journal of Japanese Society of Horticultural Science**, Kyoto, v. 71, p. 370–374, 2002. DOI: <https://doi.org/10.2503/jjshs.71.370>

MCCORMACK, J. E.; HIRD, S. M.; ZELLMER, A. J.; CARSTENS, B. C.; BRUMFIELD, R. T. Applications of next-generation sequencing to phylogeography and phylogenetics. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **Elsevier**, Amsterdam, v. 66, n. 2, p. 526-538, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2011.12.007>

MELGAR, R. **Novos produtos fertilizantes**. Workshop Internacional de Fertilizantes - Associação Internacional da Indústria de Fertilizantes (IFA). [S. l.: s. n.], 2005.

MORGAN, K. T.; CUSHMAN, K. E.; SATO, S. Release mechanisms for slow- and controlled-release fertilizers and strategies for their use in vegetable production. **Horttechnology**. Alexandria, v. 19, n. 1, p. 10-12, 2009. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.1.10>

MORAIS, E. R. **Aplicação de fertilizante organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante na cana-de-açúcar**. 2017. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

NANNIPIERI, P.; MUCCINI, L.; CIARDI, C. Microbial biomass and enzyme activities: production and persistence. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 15, p. 679-685, 1983. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(83\)90032-9](https://doi.org/10.1016/0038-0717(83)90032-9)

NELISSEN, V.; RUTTING, T.; HUYGENS, D.; STAELENS, J.; RUYSSCHAERT, G.; TEIXEIRA, W. G. [Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil](#). **Soil Biology & Biochemistry**, New York, vol. 55, p. 20-27, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.05.019>

NIBAU, C.; GIBBS, D. J.; COATES, J. C. Branching out in new directions: the control of root architecture by lateral root formation. **New Phytologist**, London, v. 179, p. 595-614, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02472.x>

NÓBREGA, I. P. C. **Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de Carbono no solo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

NOVAK, J. N.; BUSSCHER, W. J.; LAIRD, D. L.; AHMEDNA, M.; WATTS, D. W.; NINANDOU, M. A. S. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 174, n. 2, p. 105-112, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3181981d9a>

NUNES, J. D. Torta de Filtro: de resíduo a produto nobre. **Revista Ideas News**, Ribeirão preto, v. 8, n. 92, p. 22-30, 2008.

OLIVEIRA, G. R. **Validação para o processo de digestão e peletização de cama de aviário para produção de fertilizante organomineral**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PAIVA, M. R. F. C.; SILVA, G. F.; OLIVEIRA, F. H. T.; PEREIRA, R. G.; QUEIROGA, F. M. Doses de nitrogênio e de fósforo recomendadas para produção econômica de milho-verde na Chapada do Apodi-RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 4, p. 1-10, 2012.

PARK, J. H.; CHOPPALA, G. K.; BOLAN, N. S.; CHUNG, J. W.; CHUASAVATHI, T. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. **Plant and Soil**, The Hague, v. 348, p. 439-451, 2011. DOI:  
<https://doi.org/10.1007/s11104-011-0948-y>

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, p. 810-832, 2001. DOI:  
<https://doi.org/10.1097/00010694-200111000-00007>

POLIDORO, J. C. **Fertilizantes organominerais: aspectos mercadológicos e tecnológicos – rede fertBrasil**. In: V FÓRUM ABISOLO. Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. 2013.

QUEIROZ, A. M.; SOUZA, C. H. E.; MACHADO, V. J.; LANA, R. M. Q.; KONDORFER, G. H.; SILVA, A. A. Avaliação de diferentes fontes de nitrogênio na adubação da cultura do milho (*Zea Mays* L.). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, n. 3, p. 257-266, 2011. DOI:  
<https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v10n3p257-266>

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2ª ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285 p.

RAMOS, L. A.; LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; SILVA, A. A. Effect of organo-mineral fertilizer and poultry litter waste on sugarcane yield and some plant and soil chemical properties. **African Journal of Agricultural Research**, Grahamstown, v. 12, n. 1, p. 20-27, 2017. DOI:  
<https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11024>

RAYLE, D. L.; CLELAND, R. E. The Acid growth Theory of auxin induced cell elongation in salive and well. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 99, p. 1271 – 1274, 1992. DOI:  
<https://doi.org/10.1104/pp.99.4.1271>

REBEQUI, A. M.; OLIVEIRA, F. H. T.; PEREIRA, R. G. DIOGENES, T. B. A. FILHO, A. L. S. Crescimento e produção de maracujazeiro amarelo sob diferentes níveis e combinações de adubações nitrogenada e potássica no solo e foliar nas plantas. **Revista Magistra**, Cruz das Almas, v. 23, n.1-2, p.45-52, 2011.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359 p.

ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; VAHL, L. C.; CASTILHOS, D. D.; PINTO, L. F. S.; OLIVEIRA, E. S.; LEAL, O. A. Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.959-967, 2009. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400020>

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Calagem para cana-de-açúcar e sua interação com doses de potássio. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0006-87052004000100011>

RIMA, J. A. H.; MARTIM, S. A.; DOBBS, L. B.; EVARISTO, J. A. M. E.; RETAMAL, C. A.; ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; VAHL, L. C.; CASTILHOS, D. D.; PINTO, L. F. S.; OLIVEIRA, E. S.; LEAL, O. A. Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes. **R Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 959-967, 2009. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400020>

SANGOI, L.; SILVA P. R. F.; ARGENTA G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2010a.

SANGOI, L. SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. **Estratégias de manejo do arranjo de plantas para aumentar o rendimento de grãos do milho**. Lages: Graphel, 2010.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S. Efeito residual da adubação fosfatada e torta de filtro na brotação de soqueiras de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Dourados, v. 5, n. 15, p. 1-6, 2012. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000500002>

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S. FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 454-461, 2010. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S1983-40632010000400002>

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade Tecnológica da Cana-de-Açúcar Sob Adubação com Torta de Filtro Enriquecida com Fosfato Solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Dourados, v. 15, n. 5, p. 443-449, 2011. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000500002>

SEVERINO, L. S.; COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E.; LUCENA, M. A.; GUIMARÃES, M. M. B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 5, n. 1, 2004.

SHAVIV, A. Advancer in controlled-release fertilizer. **Advances in Agronomy**, [s. l.], v.71, p. 1-49, 2001. DOI:

[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)71011-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)71011-5)

SILVA, A. C.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; DOBBSS, L. B.; AGUIAR, N. O.; FRADE, D. A. R.; REZENDE, C. E.; PERES, L. E. P. Promoção do crescimento radicular de plântulas de tomateiro por substâncias húmicas isoladas de turfeira. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1609-1617, 2011. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500015>

SILVA, G. F.; OLIVEIRA, F. H. T.; PEREIRA, R. G.; DIÓGENES, B. A.; JÚNIOR, J. N.; FILHO, A. L. S. Doses de nitrogênio e de fósforo recomendadas para produção econômica de milho verde em Moçoro-RN. **Revista Magistra**, Cruz das Almas, v. 26, n. 4, p. 467-481, 2014.

SIZMUR, T.; QUILLIAM, R.; PUGA, A. P.; MORENO, J. E.; BEESLEY, L.; GOMES, E. J. L. Application of biochar for soil remediation. **Agricultural and Environmental Applications of Biochar: Advances and Barriers**, [s. l.], p. 295-324, 2015. DOI:

<https://doi.org/10.2136/sssaspecpub63.2014.0046.5>

SOUZA, J. R.; RIBEIRO, B. N.; RAPOSO, T. P.; FIORIN, J. E.; CASTRO, G. S.; MAGALHÃES, R. S. Eficiência do fósforo revestido com polímeros na cultura da soja. **Revista Acta Iguazu**, Cascavel, v. 3, n. 4, p. 1-9, 2014.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUSA, R. T. X. Fertilizante organomineral para a produção de cana-de-açúcar. 2014. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. 2. ed. New York: Oxford, 2008. 330p.

STEENWERTH, L. K.; JACKSON, L. E.; CALDERÓN, F. J.; SCOW, K. M.; ROLSTON, D. E. Response of microbial community composition and activity in agricultural and grassland soils after a simulated rainfall, **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 2249-2262, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.02.038>

TEIXEIRA, W. G. **Biodisponibilidade de fósforo e potássio provenientes de fertilizantes mineral e organomineral**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H.; FOLONI, J. S. S.; JUNIOR, R. A. Adubação fosfatada mineral e organomineral no desenvolvimento do milho **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 6, n. 1, p. 08-14, 2010. DOI:

<https://doi.org/10.5747/ca.2010.v06.n1.a045>

TOMASZEWSKA, M.; JARPSOEWICZ, A.; KARAKKULSKI, K. Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation. **Deslination**, Nottingham, v. 146, n. 3, p. 319-323, 2002. DOI:

[https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)00501-5](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00501-5)

TRENKEL, M. E. **Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture**. 2. ed. Paris: IFA, 2010. 133 p.

TRIPATHI, M.; SAHU, J. N.; GANESAN, P. Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 55, p. 467-481, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.122>

VARANINI, Z.; PINTON, R.; DE BIASE, M. G.; ASTOLFI, S.; MAGGIONI, A. Low molecular weight humic substances stimulate H<sup>+</sup>-ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from oat (*Avena sativa* L.) roots. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 153, p. 61-69, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00010544>

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility, **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 327, p. 235-246, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x>

VERHEIJEN, F. G. A.; BELLAMY, P. H.; KIBBLEWHITE, M. G.; GAUNT, J. Organic carbon rangers in arable soils of England and Wales. **Soil Use and Management**, Wallingford, v. 21, p. 2-9, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1079/SUM2005288>

VIEIRA, B. A. R. M.; TEIXEIRA, M. M. Adubação de liberação controlada chega como solução. **Revista Campo & Negócios**, Uberlândia, v. 41, n. 3, p. 4-8, 2004.

VIEIRA, F. R. Estudo experimental da pirólise lenta da casca de arroz em reator de leito fixo. 2018. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, São Paulo, 2018.

VWEHEIJEN, F. G. A.; JONES, R. J. A.; RICKSON, R. J.; SMITH, C. J. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. **Earth-Science Reviews**, Amsterdam, v. 94, p. 23-38, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.02.003>

WARDLE, D. A.; NILSSON, M. C.; ZACKRISSON, O. Fire-derived charcoal causes loss of forest humus, **Science**, New York, v. 320, n. 5876, p. 629, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1154960>

YANAI, Y.; TOYOTA, K.; OKAZAKI, M. Effects of charcoal addition on N<sub>2</sub>O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. **Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 53, p. 181–188, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00123.x>

YUAN, J.; XU, R.; QIAN, W.; WANG, R. Comparison of the ameliorating effects on an acidic ultisol between four crop straws and their biochars. **Journal of Soils and Sediments**, Landsberg, v. 11, n. 5, p. 741-750, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-011-0365-0>

YUAN, J.; XU, R.; QIAN, W.; WANG, R. Comparison of the ameliorating effects on an acidic ultisol between four crop straws and their biochars. **Journal of Soils and Sediments**, Landsberg, v. 11, n. 5, p. 741-750, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-011-0365-0>

ZAHRANI, S. Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, v. 39, n. 3, p. 367–371, 2000. DOI:  
<https://doi.org/10.1021/ie980683f>

## **CAPITULO 2**

### **Fertilizantes organominerais farelados a base de biochar e torta-de-filtro e sua eficiência no crescimento inicial da cultura do milho**

## RESUMO

FRANCO, MIGUEL HENRIQUE ROSA FRANCO. **Fertilizantes organominerais farelados a base de biochar e torta-de-filtro no crescimento inicial da cultura do milho.** 2019. 31f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia<sup>1</sup>.

O uso dos fertilizantes organominerais (OM) é tido como uma grande opção para o desenvolvimento das plantas, sendo mais eficientes no fornecimento da demanda de nutrientes nos estágios iniciais das mesmas e promovendo um efeito residual no solo. O objetivo do estudo foi analisar a eficiência agronômica em casa de vegetação dos fertilizantes organominerais farelados, sua mistura com substâncias húmicas (SH), e compara-los aos resultados observados quando utilizado outros tipos de adubações na cultura do milho. O delineamento experimental foi composto por um delineamento em blocos casualizados, num esquema fatorial 7x4+1, com quatro repetições por tratamento. O primeiro fator formado por sete diferentes fontes de fertilizantes (composto orgânico a base de torta-de-filtro, composto orgânico a base de biochar, OM Torta-de-filtro, OM Biochar, OM Torta-de-filtro + SH, OM Biochar + SH e mineral convencional), o segundo fator atendido pelo uso de diferentes doses baseados nos teores de nitrogênio (40, 80, 120, 160 kg ha<sup>-1</sup> de N) e por final a adição de uma testemunha absoluta sem aplicação de fertilizantes. As avaliações foram compostas pela avaliação do teor de clorofila nas plantas de milho aos 45 dias após a semeadura (DAS), pela análise de crescimento das plantas aos 70 DAS, verificação nutricionais das plantas e da quantidade de nutriente residual no solo após o término do experimento. No geral, os tratamentos, composto orgânico torta-de-filtro, OM torta-de-filtro e OM biochar foram os que obtiveram melhores resultados para o teor de clorofila, massa seca da parte aérea, altura de planta, área foliar de planta, diâmetro de colmo, massa seca de raiz. Para a variável nitrogênio e potássio acumulado na parte aérea, os melhores resultados foram observados nos tratamentos OM torta-de-filtro e OM biochar + SH e para o OM biochar. Para o teor de fósforo acumulado, verificou-se melhores resultados para os tratamentos OM torta-de-filtro, OM biochar e OM torta-de-filtro + SH. Foi encontrado maior teor de fósforo residual no solo na dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> em todas as fontes aplicadas. Para o potássio residual se destacaram os fertilizantes composto orgânico biochar, mineral e OM torta-de-filtro. Para o teor de matéria orgânica residual no solo, os melhores resultados foram observados quando aplicado os fertilizantes a base de composto orgânico biochar e torta-de-filtro.

**Palavras-chave:** substâncias húmicas, eficiência agronômica, torta-de-filtro.

---

<sup>1</sup>Professora Orientadora: Regina Maria Quintão Lana - UFU

## ABSTRACT

FRANCO, MIGUEL HENRIQUE ROSA FRANCO. **Organic organomineral fertilizers based on biochar and filter cake on the initial growth of corn crop.** 2019. 31f. Thesis (PhD in Agronomy / Phytotechny) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia<sup>1</sup>.

The use of organomineral fertilizers (OM) is considered a great option for the development of plants, being more efficient in supplying the nutrient demand in the initial stages of the plants and promoting a residual effect in the soil. The objective of this study was to analyze the agronomic efficiency in the greenhouse of the organoleptic fertilizers, mixing it with humic substances (SH), and compare them to the results observed when using other types of fertilization in maize crop. The experimental design consisted of a randomized complete block design in a 7x4 + 1 factorial scheme, with four replications per treatment. The first factor consists by seven different fertilizer sources (organic compound based on filter cake, organic compound based on biochar, OM filter-cake, OM Biochar, OM filter cake + SH, OM Biochar + SH and conventional mineral), the second factor served by the use of different doses based on levels of nitrogen (40, 80, 120, 160 kg ha<sup>-1</sup> of N) and finally the addition of an absolute control without fertilizer application. The evaluations were composed by the evaluation of the chlorophyll content in the corn plants at 45 days after application (DAP), the analysis of growth and development of the plants at 70 DAP, nutritional verification of the plants and the amount of residual nutrient in the soil after end of the experiment. In general, the treatments, organic compost filter cake, OM filter cake and OM Biochar were the ones that obtained better results for the content of chlorophyll, dry shoot mass, plant height, leaf area of plant, stalk diameter, root dry mass. For the accumulated nitrogen and potassium variable in the aerial part, the best results were observed in the treatments OM pancake-filter and OM Biochar + SH and for the Biochar OM. For the accumulated phosphorus content, better results were obtained for the treatments OM Filter Pie, OM Biochar and OM Filter Pie + SH. A higher residual phosphorus content was found in the soil at 160 kg ha<sup>-1</sup> in all applied sources. For the residual potassium of stressed organic fertilizers biochar compound, mineral and OM Pie-of-filter. For the soil organic matter content in the soil, the best results were observed when applied organic fertilizers Biochar and Pie-to-filter.

**Keywords:** humic substances, agronomic efficiency, filter cake.

---

<sup>1</sup>Supervising committee: Regina Maria Quintão Lana - UFU

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Lemos (2017) a presença de fertilizantes especiais e liberação lenta tem aumentado significativamente no campo, reduzindo problemas de imobilização no solo, perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação. Dentre esses, o uso dos fertilizantes organominerais merece destaque por proporcionarem melhorias físicas e químicas para o ambiente do solo e aumentarem a eficiência da utilização de minerais.

Segundo INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 23, DE 13 DE AGOSTO DE 2005, da Legislação Brasileira, o fertilizante organomineral é resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos, podendo apresentar na forma farelada, granulada ou peletizada.

No Brasil, a utilização desses tipos de fertilizantes tem aumentado em larga escala, o que tem resultado em um crescimento médio de aproximadamente 16% ao ano (POLIDORO et al., 2013). Segundo Benites et al. (2010) uma das vantagens da utilização dos fertilizantes organominerais é o reaproveitamento dos resíduos orgânicos que na maioria das vezes são passivos ambientais em outros sistemas de produção, o que vem de encontro a atual política nacional de resíduos sólidos que aborda a importância do reaproveitamento e agregação de valor a esse tipo de material.

Somado a estes fatores citados, alguns autores vêm sugerindo que o uso dos fertilizantes organominerais podem melhorar o desenvolvimento das plantas, sendo mais eficientes no fornecimento da demanda de nutrientes nos estágios iniciais das mesmas e promovendo um efeito residual no solo (GONZALEZ et al., 1992; BARON et al., 1995). Segundo Teixeira et al., (2014) a vantagem do uso dos fertilizante organomineral quando comparado com outros tipos de fertilizantes está na redução das perdas dos nutrientes proporcionada pelo efeito de “*slowrelease*” presente no mesmo, onde a liberação gradual do fertilizante no solo favorece a diminuição das perdas por lixiviação dos nutrientes e proporcionam uma nutrição mais balanceada para as plantas durante todo o seu período de crescimento. Com isso, a aplicação desse tipo de fertilizante, além de permitir o fornecimento simultâneo do fertilizante mineral e da matéria orgânica durante a adubação, proporciona ainda a redução dos custos dessa operação no campo (TEJADA et al., 2005).

Inúmeras fontes orgânicas têm sido utilizadas para produção dos fertilizantes organominerais, com destaque para o uso da cama de frango, esterco bovino e resíduos provenientes da atividade agroindustrial sucroalcooleira, como é o caso da cinza e da torta-de-

filtro. No entanto, buscando-se otimizar o sistema de produção e melhorar as características físico-químicas das matrizes orgânicas utilizadas no processo de produção dos fertilizantes organominerais tem-se estudado como uma alternativa o uso da pirólise de biomassa. Neste processo a matriz orgânica selecionada sofre uma decomposição térmica em condições de ausência total ou parcial de oxigênio e a uma temperatura entre 300 °C a 600 °C, obtendo como resultado o subproduto biochar (NOBREGA, 2011).

Ainda segundo Nobrega (2011) por causa da forte estrutura aromática presente no biochar, o mesmo possui uma alta resistência de degradação quando comparado a outros tipos de matéria orgânica aplicadas no solo, proporcionando assim, a produção de grupos funcionais negativos em sua superfície e também uma oxidação mais lenta. Devido a estas propriedades físicas e químicas, o biochar quando aplicado no solo pode alterar propriedades como pH, porosidade, capacidade de retenção de água e a densidade. Além disso, este retém íons da solução do solo através de uma combinação de fenômenos de eletrostática, complexação e pelas forças capilares na sua superfície e nos seus poros. No entanto, a influência do biochar nos solos pode variar significativamente visto que as suas propriedades variam muito, dependendo da qualidade e quantidade de biomassa e das condições da pirólise, não esquecendo que existe uma heterogeneidade a nível de solos.

Considerando os benefícios do uso dos fertilizantes organominerais, adicionados a possível melhoria da matriz orgânica quando atribuída a ela o processo de pirólise e produção do biochar, objetivou-se neste trabalho analisar a eficiência agrônômica dos fertilizantes organominerais farelados, sua mistura com substâncias húmicas, e compará-los aos resultados observados quando utilizado outros tipos de adubações na cultura do milho.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Produção e obtenção dos fertilizantes

Os fertilizantes utilizados no experimento foram produzidos na empresa Geociclo Biotecnologia S/A, com sede em Uberlândia-MG, a partir dos seguintes processos:

- Torta-de-filtro compostada – neste processo a torta de filtro foi coletada nas usinas sucroalcooleiras. Posteriormente passou por um processo de compostagem assistida até obter a estabilização com posterior secagem. Após alcançar a umidade em torno de 25%, esta foi separada em fertilizante organo-composto ou misturada aos fertilizantes minerais solúveis (ureia, mono amônio fosfato - MAP e cloreto de potássio) para obtenção do fertilizante organomineral farelado (FIGURA 1A).
- Pirólise da torta-de-filtro para produção do Biochar – Para este processo a torta de filtro foi adicionada a um reator de pirólise com temperatura constante de 400 °C (Figura 1 C). Após a carbonização deste material foi obtido um produto final conhecido como Biochar, tendo o teor de cinzas em torno de 77%. Com isso, este material foi separado para produção do fertilizante organo-composto a base Biochar ou para fabricação do fertilizante organomineral farelado em mistura com outros fertilizantes minerais solúveis (FIGURA 1B).
- Adição de substâncias húmicas – Após a produção dos fertilizantes organominerais obtidos a partir da compostagem e pirólise da torta-de-filtro, foram separadas amostras deste produto para adição de substâncias húmicas a base de ácidos húmicos advindos da extração a partir da Leonardita Australiana, na proporção de 15 kg ton<sup>-1</sup> de fertilizante organomineral produzido.
- Produção do fertilizante mineral convencional – este fertilizante foi obtido da mistura de grânulos a partir de matérias-primas minerais solúveis ureia, MAP e cloreto de potássio.



FIGURA 1. Organomineral farelado a base de torta-de-filtro (A); Organomineral farelado a base de Biochar (B); Reator de Pirólise utilizado para produção do Biochar (C).

Fonte (o autor, 2017).

## 2.2 Dados Gerais

A composição química dos fertilizantes utilizados no experimento está descrita na tabela 1.

TABELA 1. Parâmetros químicos, base úmida, dos fertilizantes utilizados no experimento.

Análises*	Formulações						
	Torta	Biochar	OM Torta	OM Biochar	OM Torta + SH	OM Biochar + SH	Mineral
Umid.	22,2	6,6	4,4	4,3	10,5	4,1	0,9
CO	16,6	16,0	8,2	8,1	7,67	7,9	0,0
N	0,5	0,4	12,0	12,0	12,0	12,0	18,0
P	0,8	0,5	12,0	12,0	12,0	12,0	18,0
K	0,4	0,3	12,0	12,0	12,0	12,0	18,0
CTC	366,1	221,9	110,2	116,3	187,5	198,8	0,0

\*Determinações, Umid = umidade, %; CO = carbono orgânico, %; N = nitrogênio total, %; P = P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, %; CTC = Capacidade de Troca Catiônica, mmol kg<sup>-1</sup>.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Uberlândia, Campus do Umuarama, no período de agosto a dezembro de 2017, em vasos plásticos com aproximadamente 18 kg de solo. Utilizou-se de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) coletado na fazenda experimental do Glória, Uberlândia-MG. Após a coleta o solo foi peneirado com peneira de malha 4mm e recebeu a aplicação de calcário dolomítico, com PRNT DE 90%, teor de CaO em torno de 46% e MgO de 8%, na proporção de 18 g por vaso, com posterior incubação por um período de 60 dias visando a correção da acidez e elevação da saturação por base para 60%. As características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, após a aplicação do calcário e incubação do mesmo, são descritas na tabela 2.

TABELA 2: Caracterização química e física do solo após a aplicação do calcário e incubação por 60 dias e antes da aplicação dos tratamentos.

Análise Química								
pH (H <sub>2</sub> O)	Ca	Mg	Al	P	K	H+Al	CTC	S-SO <sub>4</sub>
1-2,5	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		-----	--- mg dm <sup>-3</sup> ---	---	cmol <sub>c</sub>	dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>
6,7	1,0	0,5	0	1,0	20	1,7	3,25	41
M.O.	C.O.	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	m
----- dag kg <sup>-1</sup> -----	-----	----- mg dm <sup>-3</sup> -----				-----	----- % -----	-----
0,6	0,4	0	0,7	9	2,4	0,5	58	0
Análise Textural								
Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte			Argila		
	----- g kg <sup>-1</sup> -----							
LVd	297	250	54			400		

pH em H<sub>2</sub>O; Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich-1); S em fosfato de cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup>; H + Al = (Solução Tampão - SMP a pH 7,5); Cu, Fe, Mn, Zn = (DTPA 0,005 mol L<sup>-1</sup> + TEA 0,1 mol L<sup>-1</sup> + CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,3) cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> x 10 = mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> / mg dm<sup>-3</sup> = ppm / dag kg<sup>-1</sup> = %; CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio; M.O. = Método Colorimétrico; Metodologias baseadas em EMBRAPA (2009). Análise Textural pelo método da Pipeta (EMBRAPA, 1997).

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, dispostos em esquema fatorial  $7 \times 4 + 1$  com quatro repetições. O primeiro fator formado por sete diferentes fontes de fertilizantes aplicados todos na base (5 cm abaixo da linha de semeadura) - (Tabela 1) e o segundo fator atendido pelo uso de diferentes doses baseados nos teores de nitrogênio dos fertilizantes nas doses de 40, 80, 120 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N. Devido a equidade dos teores de fósforo (P) e potássio (K) nos fertilizantes organominerais e minerais, os tratamentos com estes fertilizantes receberam estas mesmas doses destes nutrientes. Já os fertilizantes orgânicos as doses de P e K foram diferentes como apresentados. Assim, a dosagem dos tratamentos Biochar e Torta foram calculadas levando em consideração o teor de nitrogênio (%) presente nestes matérias orgânicos, fixando esse elemento para base de cálculo da dosagem a ser aplicada e apresentando variações nas doses de P e K, conforme demonstrado na tabela 3. Por final foi realizado a adição de uma testemunha absoluta adicional sem aplicação de fertilizantes (Tabela 3).

TABELA 3. Fontes de fertilizante, quantidade dos nutrientes e das fontes fornecidas em cada tratamento.

Fonte	Doses			Dose aplicada no solo	Dose Fonte	Dose Fonte
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	K <sub>2</sub> O	kg ha <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup> solo
	kg ha <sup>-1</sup>					
Sem adição de fertilizantes - Testemunha	0	0	0	0	0	0
Orgânico farelado a base de torta de filtro (Torta)	64	40	32	8000	72,0*	4,00
	128	80	64	16000	144,0*	8,00
	192	120	96	24000	216,0*	12,00
	256	160	128	32000	288,0*	16,00
Orgânico farelado a base de biochar (Biochar)	50	40	30	10000	90,0*	5,00
	100	80	60	20000	180,0*	10,00
	150	120	90	30000	270,0*	15,00
	200	160	120	40000	360,0*	20,00
Organomineral a base de torta de filtro (OM Torta)	40	40	40	333,33	3,0	0,17
	80	80	80	666,66	6,0	0,33
	120	120	120	1000	9,0	0,50
	160	160	160	1333,33	12,0	0,67

"...continua..."

"TABELA 3, Cont."

Organomineral farelado a base de biochar (OM Biochar)	40	40	40	333,33	3,0	0,17
	80	80	80	666,66	6,0	0,33
	120	120	120	1000	9,0	0,50
	160	160	160	1333,33	12,0	0,67
Organomineral farelado a base de torta de filtro + substâncias húmicas (OM Torta + SH)	40	40	40	333,33	3,0	0,17
	80	80	80	666,66	6,0	0,33
	120	120	120	1000	9,0	0,50
	160	160	160	1333,33	12,0	0,67
Organomineral a base de biochar + substâncias húmicas (OM Biochar + SH)	40	40	40	333,33	3,0	0,17
	80	80	80	666,66	6,0	0,33
	120	120	120	1000	9,0	0,50
	160	160	160	1333,33	12,0	0,67
Mineral convencional (Mineral)	40	40	40	222,22	2,0	0,11
	80	80	80	444,44	4,0	0,22
	120	120	120	666,66	6,0	0,33
	160	160	160	888,88	8,0	0,44

\*Dosagem aplicada em g vaso, baseada nos teores de nitrogênio presentes nas matérias primas utilizadas

Utilizou-se da torta de filtro, subproduto da atividade canvieira como base orgânica para formação dos fertilizantes organominerais e Biochar.

Sessenta dias após a aplicação do calcário no solo, foi realizada a aplicação dos fertilizantes e sementes em cada vaso cinco sementes de milho, da cultivar DKB 310 Pro 2. Aos quinze dias após a semeadura (DAS) foi realizado o desbaste deixando-se apenas uma planta por vaso e aos 20 DAS realizou-se a suplementação de macro e micronutrientes (S, Zn, B, Cu e Mn) aplicados na forma líquida aos vasos na proporção de 60; 6,0; 2,2; 1,5; 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de enxofre, zinco, boro, cobre e manganês, respectivamente.

Durante toda condução do experimento a irrigação dos vasos manteve-se constante com capacidade de campo em torno de 80% para todos os tratamentos.

Aos 45 DAS quando as plantas apresentavam 5 folhas completamente desenvolvidas realizou-se a medições do índice SPAD, utilizando-se o medidor portátil SPAD-502 (Minolta Corporation Ltda.), amostrando-se a parte central da folha recentemente expandida e fisiologicamente madura, tendo o cuidado de não atingir a nervura central. O uso do SPAD permite avaliar indiretamente o estado de N da planta em tempo real (RAIJ et al., 1996).

Aos 70 DAS, quando as plantas apresentavam 10 folhas completamente desenvolvidas realizou-se as seguintes avaliações das plantas de milho: altura de plantas (cm); diâmetro do colmo (mm); área foliar das plantas (cm<sup>2</sup>); massa seca de raiz (g) e massa seca da parte aérea (g).

As avaliações citadas foram realizadas através da medição da parte aérea com ajuda de uma régua graduada e para o diâmetro de colmo utilizou-se um paquímetro digital. Após estas avaliações iniciais as plantas foram retiradas, sendo acondicionadas em sacos de papel e conduzidas para o laboratório de fertilidade de solo, onde foram realizadas as determinações de massa seca da parte aérea das plantas (folhas e colmos) e raiz, feitas através de estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C.

Após a determinação da massa seca as amostras foram inicialmente moídas em moinho do tipo Willey (2mm), armazenadas em sacos de papel e encaminhadas para o laboratório onde foram feitas as análises químicas de macronutrientes da parte aérea das plantas, seguindo metodologia descrita pela EMBRAPA (2009). Com os dados dos teores de nutrientes nas plantas e a massa da matéria seca da parte aérea foi calculado o acúmulo (extração) de nutrientes nas plantas de milho multiplicando a MSPA em gramas pelo teor de nutriente em gramas por kg.

Com base nos resultados obtidos através da análise de massa seca das plantas de milho, e utilizando a adubação mineral convencional como fonte padrão, realizou-se o cálculo da equivalência de dose dos fertilizantes, utilizando a equação abaixo (equação 1):

$$Eq_{Ad. Mineral} (\%) = \frac{\sum[(xf_{120} - xt) + (xf_{160} - xt)]}{\sum[(xk_{120} - xt) + (xk_{160} - xt)]} \times 100\%$$

Em que:

Eq<sub>Ad.Mineral</sub> (%): Equivalente em adubo mineral

xf<sub>120</sub>: Produção de matéria seca da parte aérea da fonte testada – dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>.

xf<sub>160</sub>: Produção de matéria seca da parte aérea da fonte testada – dose de 160 kg ha<sup>-1</sup>.

xK<sub>120</sub>: Produção de matéria seca da parte aérea na fonte padrão – dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>.

xK<sub>160</sub>: Produção de matéria seca da parte aérea da fonte padrão – dose de 160 kg ha<sup>-1</sup>.

xt: Produção de matéria seca da testemunha.

O cálculo do Eq<sub>Ad.Mineral</sub> (%) está descrito no documento princípios metodológicos para avaliação agrônômica de fontes de fósforo (GEODERT et al., 1986).

Para determinar o efeito da aplicação dos fertilizantes sobre a melhoria das características químicas do solo após a retirada das plantas e raízes foi realizada uma amostra de solo em cada vaso, sendo encaminhadas para o laboratório para determinação das análises químicas (fósforo, potássio e matéria orgânica) segundo metodologia descrita pela EMBRAPA (2009).

A partir dos resultados obtidos dos teores de nutrientes acumulados na parte aérea das plantas de milho realizou-se o cálculo do percentual de fósforo e potássio recuperado para cada fonte testada a partir da equação (equação 2):

$$Eq_{\text{Nutr. recuperado}} (\%) = \frac{\text{Nut Ac Fontes} - \text{Nutr Ac Controle}}{\text{Dose Nutr aplicado}} \times 100$$

Onde:

Eq Nutr. recuperado (%): Percentual de nutriente recuperado do solo e translocado para parte aérea.

Nutr Ac fonte: Teor de nutriente acumulado na dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> de N (mg vaso<sup>-1</sup>).

Nutr Ac Controle: Teor de nutriente acumulado na testemunha (mg vaso<sup>-1</sup>).

Dose Nutr aplicado: corresponde a dose do nutriente aplicado na fonte avaliada (mg vaso<sup>-1</sup>).

O cálculo do nutriente recuperado foi feito segundo metodologia descrito no documento eficiência do uso de nutrientes nas plantas (BALIGAR et al., 2001).

Os resultados obtidos foram primeiramente submetidos aos testes de pressuposições, homogeneidade, heterogeneidade e aditividade, a fim de avaliar a normalidade dos resíduos, a homogeneidade das variâncias e a não aditividade entre os blocos, respectivamente. Após os dados foram submetidos à análise de variância através do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011) e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott (0,05 de significância) e Dunnet (0,05 de significância). Para a avaliação dos efeitos das doses dos fertilizantes, utilizou-se regressões polinomiais a 5% de significância.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a maioria dos tratamentos, a aplicação dos fertilizantes resultou em maior incremento no índice SPAD nas plantas de milho. Não houve diferença significativa da testemunha para os tratamentos Biochar (todas as doses estudadas), Torta e OM Torta na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup>, OM Torta + SH nas doses de 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup>, OM Biochar + SH na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> e para o Mineral nas doses de 120 e 160 kg ha<sup>-1</sup>. (Tabela 4).

TABELA 4. Índice SPAD em plantas de milho submetidas a diferentes fertilizantes e doses de N (kg ha<sup>-1</sup>), aos 45 dias após o plantio.

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Fertilizante						
	Torta	Biochar	OM Torta	OM Biochar	OM Torta +SH	OM Biochar + SH	Mineral
0				21,29			
40	28,86 a	24,30 a	28,53 a	30,16 a*	27,91 a	31,13 a*	32,20 a*
80	30,72 a*	23,23 b	33,61 a*	31,54 a*	27,96 b	33,86 a*	33,83 a*
120	34,87 a*	23,43 c	35,61 a*	34,27 a*	29,30 b	26,13 b	21,69 c
160	35,81 a*	22,42 b	34,03 a*	36,40 a*	32,68 a*	34,35 a*	21,26 b
Média	32,56	23,34	32,95	33,09	29,46	31,36	27,32

DMS<sub>Dunnett</sub>: 8,12; CV (%): 13,00.

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância. \*Diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Pode-se dizer também que o aumento da dose do fertilizante trouxe na maioria dos casos um aumento para o índice SPAD analisado com exceção dos tratamentos Mineral, Biochar e OM Torta, onde houve um decréscimo no valor do Índice SPAD quando aplicadas as maiores dosagens. Ainda para esta variável, os melhores resultados foram observados para os tratamentos Torta, OM Torta e OM Biochar (Tabela 4).

Quanto ao comportamento das doses, observou-se aumentos lineares para os fertilizantes Torta e OM Biochar, e um aumento quadrático para o fertilizante OM Torta, sendo observado teores máximos no índice SPAD na ordem de 35,81; 35,36 e 36,40 nas doses de 160, 124 e 160 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 2).

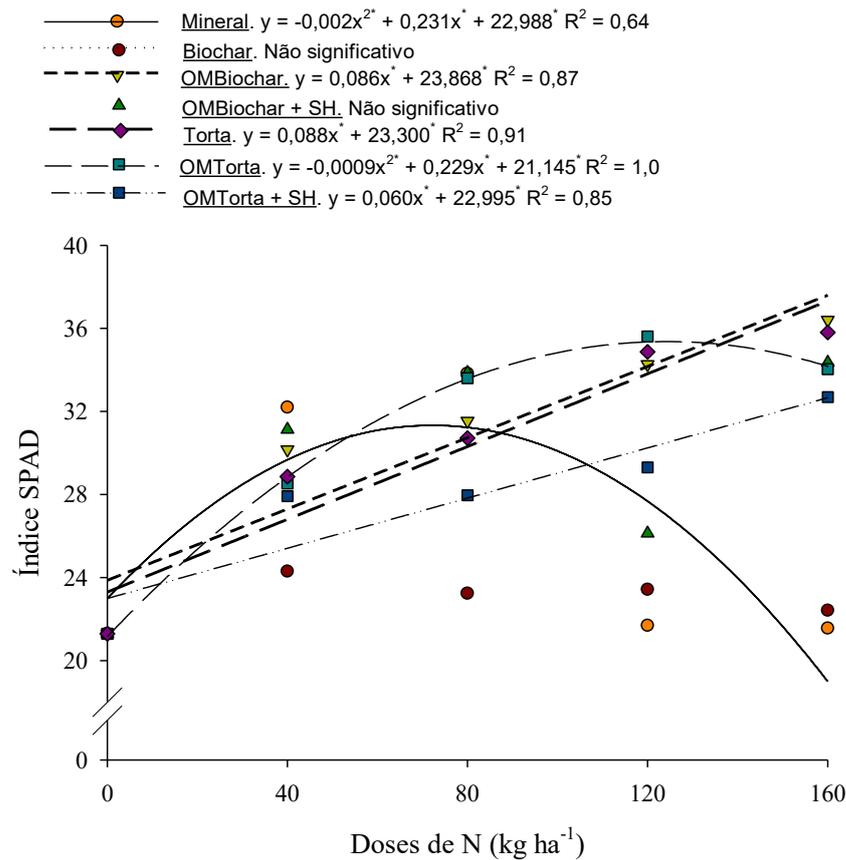


FIGURA 2. Índice SPAD em plantas de milho submetidas a diferentes fertilizantes e doses de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), aos 45 dias após o plantio.

Segundo Lima (2005), o clorofilômetro determina a intensidade da coloração verde da folha (quantidade de luz absorvida pela clorofila), e torna possível obter valores indiretos de clorofila presente nas folhas. Na prática o uso do SPAD permite avaliar indiretamente o teor de N da planta em tempo real. Argenta et al. (2002) afirmam que o índice SPAD apresenta alta relação com o rendimento de grãos de milho, sendo essa correlação similar à verificada entre o teor de N na folha índice (primeira folha abaixo da espiga) e o rendimento de grãos. Assim, o índice SPAD medido na folha de milho está altamente associado com o rendimento de grãos e pode substituir a determinação do teor de N na folha para diagnóstico do nível desse nutriente na planta (ROCHA et al., 2005).

Para a variável altura de plantas, obteve-se um acréscimo nos valores encontrados à medida que se aumentou as doses de fertilizantes aplicados; exceto para o tratamento OMBiochar + SH e Mineral, onde houve um decréscimo desta variável após a aplicação da dose de 102 e 120  $\text{kg ha}^{-1}$  respectivamente (Figura 3A). Para esta mesma variável, foram encontrados melhores resultados quando se aplicou os tratamentos Torta na dose de 158  $\text{kg ha}^{-1}$ , OMTorta na dose de 114  $\text{kg ha}^{-1}$  e OMBiochar na dose de 155  $\text{kg ha}^{-1}$  (Tabela 5).

TABELA 5. Altura de Plantas (cm), Área foliar (cm<sup>2</sup>) e Diâmetro de colmos (mm) em plantas de milho submetidas a diferentes fertilizantes e doses de N (kg ha<sup>-1</sup>), aos 70 dias após o plantio.

Dose de N		Fonte					
(kg ha <sup>-1</sup> )	Torta	Biochar	OM Torta	OM Biochar	OM Torta + SH	OM Biochar +SH	Mineral
<b>Altura de Plantas - (AP) (cm)</b>							
0	57,67						
40	115,50 a *	98,17 a *	131,00 a *	115,17 a *	110,83 a *	128,00 a *	110,33a *
80	129,67a *	123,00 a *	139,50 a *	136,00 a *	111,33 a *	140,83 a *	132,67a *
120	148,38 a *	130,33 a *	149,67 a *	136,25 a *	113,00 b *	109,00 b *	144,75a *
160	161,33 a *	136,67 b *	144,50 b *	161,50 a *	134,17 b *	127,33 b *	120,50b *
Média	138,72	122,04	141,17	137,23	117,33	126,29	127,06
<b>Área foliar de plantas de milho - (AFP) (cm<sup>2</sup>)</b>							
0	454,8						
40	1573,4 a	1172,1 a	2117,5 a *	1392,7 a	1666,8 a *	1612,1 a	1384,0 a
80	2620,2 a *	1900,2 b *	2375,7 a *	2199,0 b *	1850,0 b *	1909,2 b *	2992,0a *
120	3091,0 a *	1640,7 b	3338,3 a *	2457,3 b *	2102,3 b *	2169,0 b *	3135,9a *
160	3610,9 a *	1626,5 c	2535,2 b *	3342,4 a *	2946,8 a *	2857,2 a *	2442,6b *
Média	2723,9	1584,9	2591,7	2347,9	2141,5	2136,9	2488,6
<b>Diâmetro de colmos (DC) - (mm)</b>							
0	4,72						
40	10,58 a *	9,06 a *	9,70 a *	7,19 a	8,33 a *	9,73 a *	8,22 a
80	12,66 a *	11,46 a *	11,74 a *	13,62 a *	10,54 a *	12,82 a *	12,44 a *
120	15,07 a *	12,88 a *	14,18 a *	14,82 a *	10,87 b *	7,87 c	14,57 a *
160	15,81 a *	13,64 b *	12,97 b *	16,75 a *	13,52 b *	12,66 b	11,93 b *
Média	13,53	11,76	12,15	13,1	10,82	10,77	11,79

Altura de plantas - DMSDunett: 31,41; CV (%): 11,73. Área Foliar - DMSDunett: 1192,6; CV (%): 25,51. Diâmetro de colmos (mm) - DMSDunett: 3,52; CV (%): 14,27.

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância. \*Diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

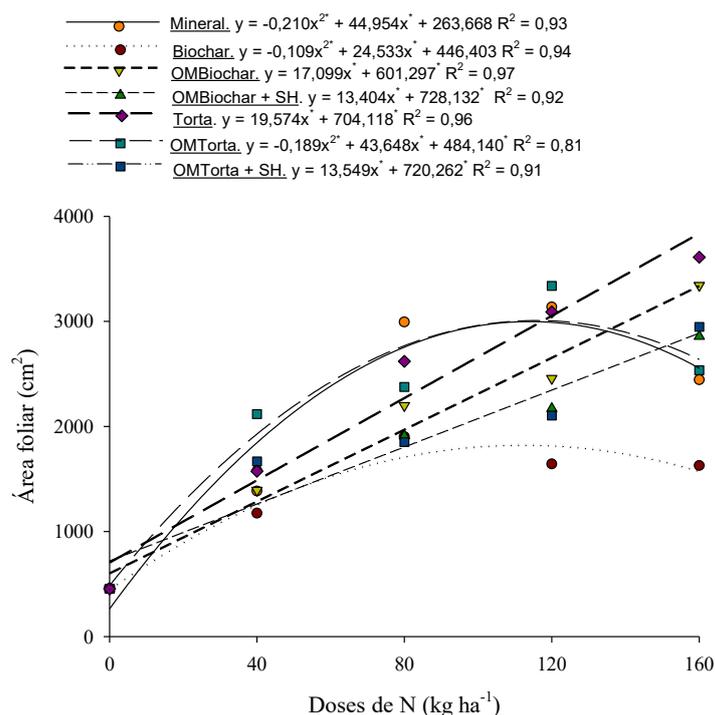
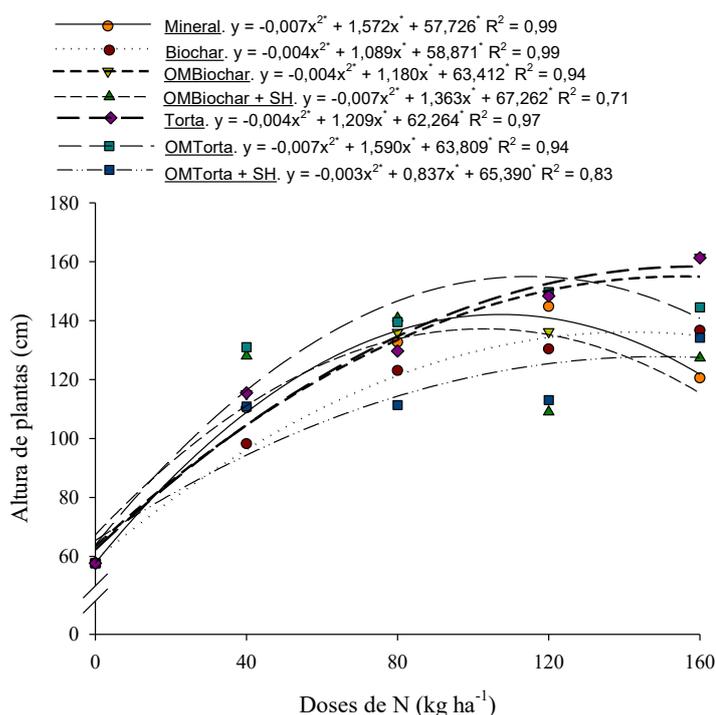
Quanto a área foliar das plantas de milho observou-se acréscimos nos valores desta variável para os tratamentos Torta, OM Biochar, OM Torta + SH e OM Biochar + SH à medida que foram aplicadas doses crescentes dos nutrientes no solo. Os tratamentos Biochar, OM Torta e Mineral obtiveram ponto de máxima resposta quando aplicadas as doses de 112, 115 e 114 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, observando-se um decréscimo nos valores desta variável quando aplicado as maiores dosagens (Figura 3B).

O maior valor para área foliar foi observado no tratamento à base do composto orgânico Torta de filtro na dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 5).

Para tratamentos Torta, OM Torta +SH, OM Biochar +SH e OM Biochar foi observado acréscimos lineares nos valores de AF a medida que houve aumento da dose de fertilizante no solo, sendo que para cada 10 kg de nutriente aplicado, tivemos um acréscimo de 195,7; 135,4; 134,0 e 170,9 cm<sup>2</sup> na área foliar das plantas e milho para os respectivos tratamentos citados (Figura 3B).

Analisando a resposta das doses dos fertilizantes quanto ao diâmetro de colmos medido nas plantas de milho, constatou-se maiores valores para os tratamentos Torta na dose de 155 kg ha<sup>-1</sup> e OM Biochar na dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 5).

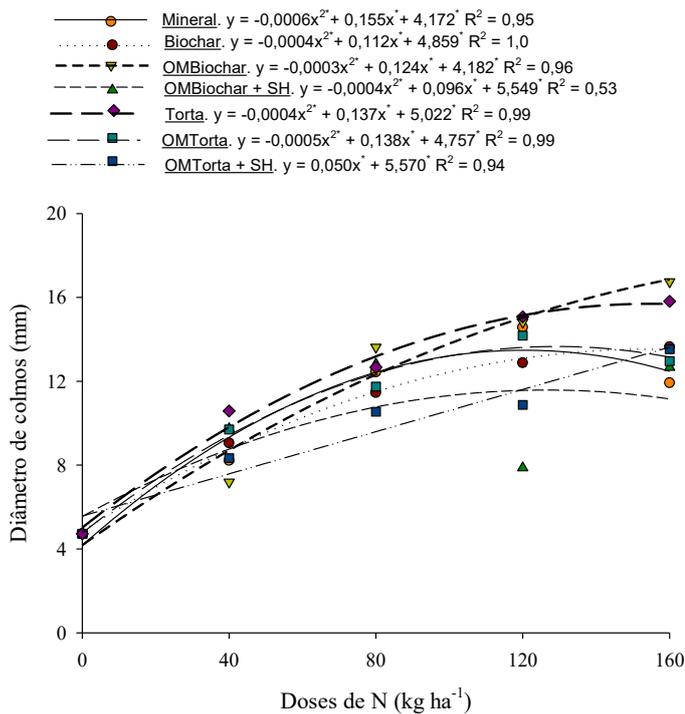
Segundo Cruz et al. (2008) o diâmetro e o colmo são características que demonstram a capacidade da planta em acumular nutrientes e posteriormente redistribuí-los para os grãos na época de enchimento, favorecendo também para redução no acamamento e quebra de plantas no campo e assim melhorando as características produtivas das plantas. Desta forma o uso de fertilizantes que proporcionem maiores valores para o diâmetro de colmo das plantas pode contribuir para um aumento de produtividade das mesmas.



A

B

“FIGURA 3, Cont.”



C

FIGURA 3. Altura (cm) (A); Área foliar (cm<sup>2</sup>) (B) e Diâmetro de colmos (mm) (C) em plantas de milho submetidas a diferentes fertilizantes e doses de N (kg ha<sup>-1</sup>), aos 70 dias após o plantio (“...continua...”).

Para MSPA houve acréscimo desta variável conforme houve aumento das doses de fertilizantes aplicadas para todos os adubos utilizados. Os tratamentos Torta de filtro, OM Torta e OM Biochar foram os que apresentaram melhores resultados; com destaque para a aplicação da Torta na dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> e OM Biochar na dose de 122 kg ha<sup>-1</sup> com a produção de 24,16 e 24,04 g de massa seca respectivamente (Tabela 6). No tratamento OM Torta houve acréscimos lineares em seus valores à medida que se aumentava a dose do fertilizante, sendo que a cada 10 kg de nutriente aplicado observou-se um aumento de 1,2 g de massa seca da planta de milho (Figura 4A).

Da mesma forma, Teixeira et al. (2011), trabalhando com fertilizante organomineral 05-15-05 na cultura do milho e comparando este com fertilizante mineral 10-30-10 verificaram um aumento de 20% na matéria seca das plantas quando aplicado o organomineral. Estes resultados demonstram que a associação de fertilizantes orgânicos e minerais pode aumentar a eficiência da parte mineral, proporcionando melhores resultados no campo (KIEHL, 1999; NOVAIS et al., 2007). Em contrapartida, Lana et al. (2014) trabalhando com dois tipos de solo e avaliando a massa seca da parte aérea de plantas de milho após a aplicação do fertilizante organomineral Umostart e mineral MAP, verificaram maiores teores de massa seca no milho quanto utilizado o

fertilizante mineral em relação ao fertilizante organomineral. Segundo os autores, estes resultados podem estar relacionados pela maior solubilidade do fertilizante mineral MAP e consequente maior disponibilidade do mesmo no solo e para a planta.

TABELA 6. Massa seca de parte aérea (g) e Matéria seca de raízes (g) em plantas de milho submetidas a diferentes fertilizantes e doses de N (kg ha<sup>-1</sup>), aos 70 dias após o plantio.

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Fonte						
	Torta	Biochar	OM Torta	OM Biochar	OM Torta + SH	OM Biochar +SH	Mineral
<b>Massa seca de parte aérea - (MSPA) (g)</b>							
0	0,97						
40	8,67 a*	6,58 a*	8,88 a*	5,50 a	6,00 a	7,49 a*	5,80 a
80	17,43 a*	10,13 b*	10,31 b*	19,40 a*	7,48 b*	11,15 b*	13,76 b*
120	23,29 a*	13,25 b*	15,97 b*	24,87 a*	9,45 b*	12,60 b*	12,22 b*
160	24,16 a*	13,60 d*	23,25 a*	16,86 c*	19,67 b*	17,13 c*	9,72 e*
Média	18,39	10,89	14,6	16,66	10,62	12,09	10,38
<b>Matéria seca de raízes - (MSR) (g)</b>							
0	0,25						
40	2,31 b	3,98 a*	4,15 a*	1,72 b	4,30 a*	4,80 a*	3,20 b*
80	5,98 b*	4,00 b*	4,64 b*	7,73 a*	4,51 b*	4,93 b*	8,85 a*
120	8,57 a*	4,18 c*	8,21 a*	7,90 a*	6,29 b*	7,02 b*	3,13 c*
160	5,80 c*	4,92 d*	10,28 a*	8,19 b*	6,49 c*	7,78 b*	4,19 d*
Média	5,66	4,27	6,82	6,39	5,4	6,13	4,84

MSPA - DMSDunett: 5,57; CV (%): 20,47. Matéria seca de raízes - DMSDunett: 2,59; CV (%): 22,56.

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

\*Diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

De acordo com as equações polinomiais quadráticas apresentadas, no que tange a massa seca das raízes do milho, os melhores resultados foram observados quando aplicada a dose de 155 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante OM Biochar e 125 kg ha<sup>-1</sup> do composto Torta de Filtro, sendo observado valores de 8,41 e 7,09 g de massa seca respectivamente para esses fertilizantes (Figura 4B).

Os melhores resultados de massa seca de raiz foram observados no tratamento OM Torta na dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 6), o que podem estar relacionados ao melhor condicionamento do solo proporcionado pela aplicação dos fertilizantes organominerais com diminuição principalmente da salinização causada pela aplicação dos fertilizantes minerais no solo.

Do mesmo modo, Lana et al. (2014) avaliando a massa seca de raízes de milho após a aplicação do fertilizante organomineral Umoplast e mineral MAP, observaram que o fertilizante

organomineral proporcionou maior incremento na produção de massa seca das raízes quando comparado ao fertilizante mineral.

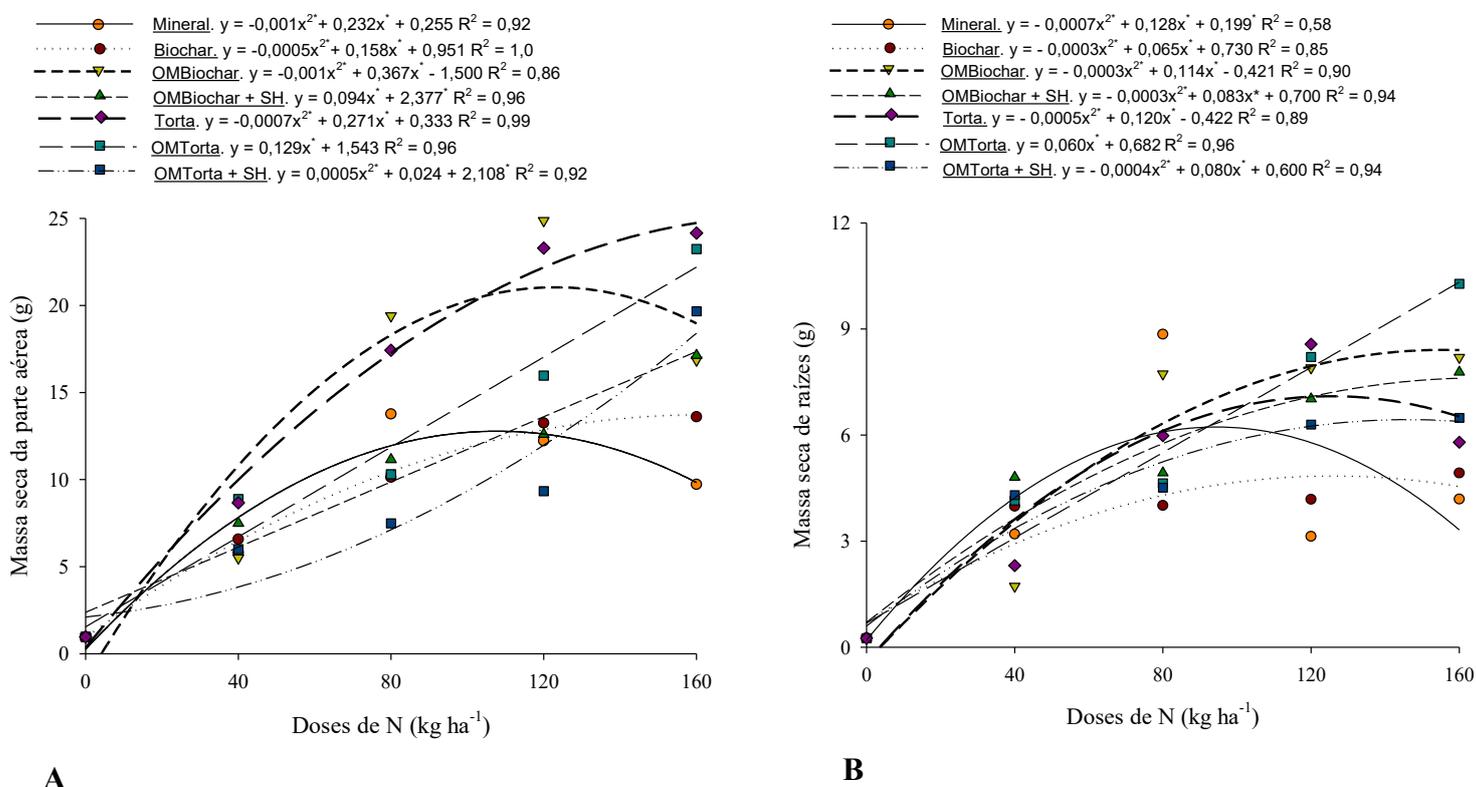


FIGURA 4. Massa seca da parte aérea (g) (A) e Massa seca de raízes (g) (B) em plantas de milho submetidas a diferentes fertilizantes e doses de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), aos 70 dias após o plantio.

Quanto às porcentagens observadas com base na equação “Eq Ad.Mineral” relativa aos valores equivalentes de cada produto em relação ao fertilizante mineral, constatou-se maior eficiência de todas as fontes testadas quando comparadas à adubação mineral, se destacando principalmente as adubações com OM Torta, Torta e OM Biochar (Tabela 7).

TABELA 7. Equivalência e eficiência dos diferentes tipos de adubos testados comparados com a adubação mineral padrão.

Fonte	Equivalente em adubo mineral* (%)	Eficiência (%)
Torta	227,55	127,55
Biochar	103,62	3,62
OM Torta	155,07	55,07
OM Biochar	198,84	98,84
OM Torta + SH	113,06	13,06
OM Biochar + SH	115,60	15,60

\*Cálculos realizados segundo equação de eficiência (Eq Ad.Mineral) baseada nas doses aplicadas do fertilizante mineral.

Para as variáveis nitrogênio, fósforo e potássio acumulados na massa seca da parte aérea, para todos os tratamentos analisados, a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> não apresentou diferença significativa quando comparada aos valores observados pela testemunha. O mesmo aconteceu com o tratamento Biochar, que independentemente da dose aplicada não apresentou diferença significativa quando comparado com tratamento sem aplicação de fertilizantes nas três variáveis citadas anteriormente (Tabela 8).

Para a variável nitrogênio e potássio acumulado na parte aérea das plantas de milho, os melhores resultados foram observados nos tratamentos OM Torta e OM Biochar + SH na dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> e para o tratamento OM Biochar na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 8).

Analisando as equações lineares apresentadas, pode-se constatar que a cada 10 kg de nutriente aplicado no solo, houve um aumento de 27,8; 25,5 e 21,38 mg vaso<sup>-1</sup> de Nitrogênio acumulado na parte aérea das plantas para os tratamentos OM Torta, OM Biochar e OM Biochar + SH respectivamente (Figura 5A).

Diferentemente dos resultados observados, Costa et al., (2011) avaliando os efeitos do uso de plantas de cobertura e a aplicação de três diferentes fontes de adubações (mineral, organomineral e orgânica) para as plantas de milho, verificaram maiores teores de nitrogênio foliar quando aplicado o tratamento mineral. Segundo os autores, tais resultados são devidos as diferenças na solubilidade das fontes aplicadas, sendo que o fertilizante mineral apresentou maior solubilidade do N em relação a fonte organomineral e orgânica, muito provavelmente pela baixa disponibilidade imediata dependente da mineralização da matéria orgânica presentes nas fontes que possuem a matéria orgânica em sua estrutura.

TABELA 8. Nitrogênio, fósforo e potássio acumulado na parte aérea de plantas de milho (mg vaso<sup>-1</sup>) submetidas a diferentes fertilizantes e doses de N (kg ha<sup>-1</sup>), aos 70 dias após o plantio.

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Fonte						
	Torta	Biochar	OM Torta	OM Biochar	OM Torta + SH	OM Biochar + SH	Mineral
<b>N acumulado (mg vaso<sup>-1</sup>)</b>							
0	18,79						
40	54,74 a	28,59 a	86,33 a	69,06 a	56,45 a	57,31 a	70,21 a
80	116,53 a	46,74 a	132,16 a	185,61 a*	126,09 a	122,38 a	182,37 a*
120	141,28 d	69,19 d	353,21 b*	486,67 a*	216,43 c*	233,48 c*	222,89 c*
160	225,36 b*	64,68 c	442,86 a*	320,88 b*	366,37 a*	264,52 b*	272,97 b*
Média	134,48	52,3	253,64	265,56	191,34	169,42	187,11

“...continua...”

“...TABELA 8, Cont.”

<b>K acumulado (mg vaso<sup>-1</sup>)</b>							
0	71,44						
40	169,79 a	147,07 a	230,07 a	188,79 a	186,67 a	196,34 a	189,25 a
80	388,39 b	234,43 b	310,61 b	824,99 a*	293,40 b	373,81 b	805,06 a*
120	506,46 b	338,23 b	690,30 b*	1277,49 a*	639,38 b*	381,36 b	579,63 b*
160	807,72 b*	416,72 c	1065,44 a*	764,84 b*	1296,05 a*	926,36 b*	369,59 c
Média	468,09	284,11	574,1	764,03	603,88	469,97	485,88
<b>P acumulado (mg vaso<sup>-1</sup>)</b>							
0	2,94						
40	6,79 a	15,93 a	18,82 a	15,43 a	18,21 a	11,62 a	14,93 a
80	41,44 b*	20,58 c	24,47 c	63,55 a*	18,36 c	25,77 c	39,27 b*
120	56,65 b*	26,74 c	47,85 b*	102,88 a*	28,88 c	39,67 b*	43,70 b*
160	63,25 a*	30,56 b	75,50 a*	77,42 a*	63,61 a*	45,94 b*	37,50 b*
Média	42,03	23,45	41,66	64,82	32,26	30,75	33,85

**N acumulado** - DMSDunett: 162,49; CV (%): 4,55. **K acumulado** - DMSDunett: 475,16; CV (%): 44,70. **P acumulado** - DMSDunett: 27,83; CV (%): 35,63.

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância. \*Diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

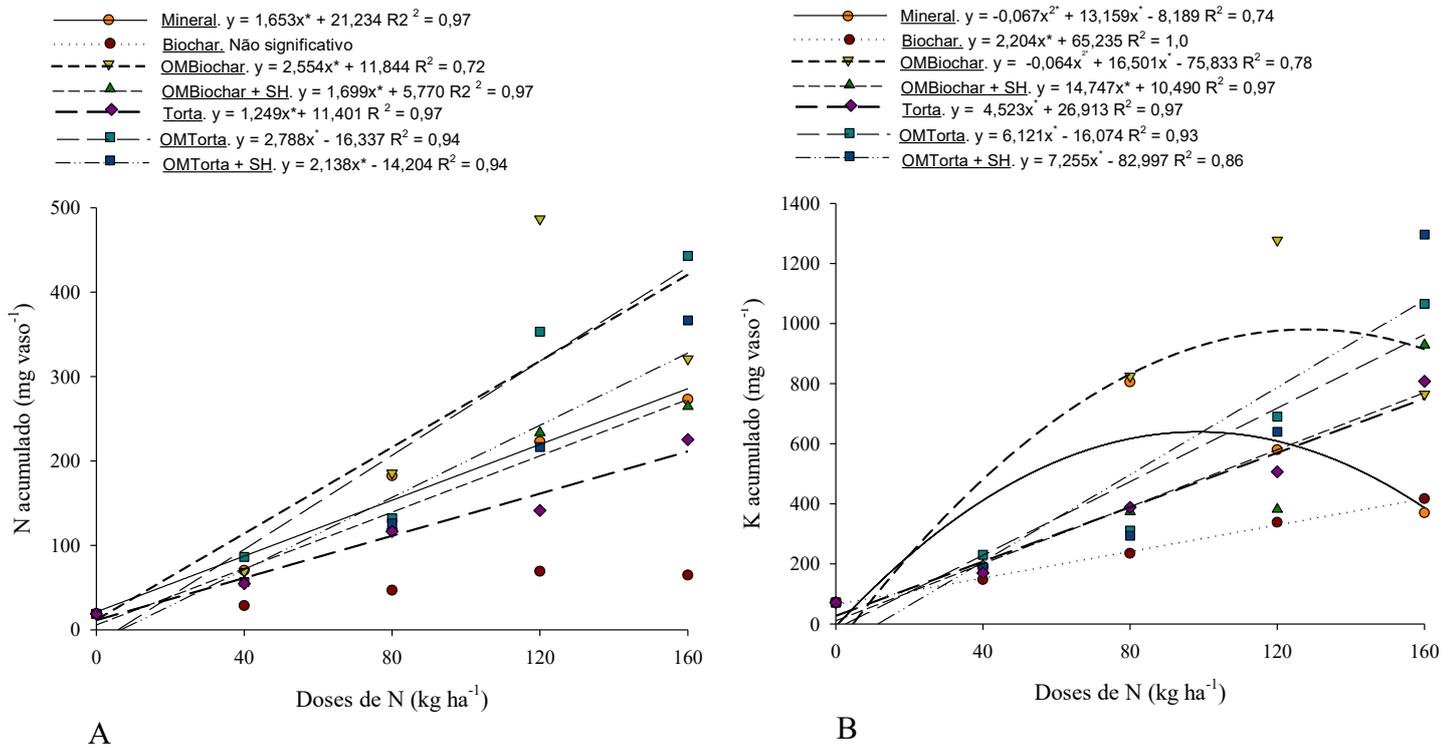
Quanto ao potássio acumulado na parte aérea das plantas houve aumentos lineares para esta variável para os tratamentos OM Torta e OM Torta + SH à medida que se aumentou a dose aplicada de N no solo. Com isso, para cada 10 kg de nutriente aplicado obteve-se um aumento de 61,2 e 72,5 mg vaso<sup>-1</sup> de K acumulado na parte aérea das plantas de milho nos respectivos tratamentos citados anteriormente. Para o tratamento OM Biochar houve um aumento quadrático nos valores desta variável, onde o ponto máximo de acúmulo de potássio nas plantas foi constatado na dose de 128 kg ha<sup>-1</sup>, com um teor de nutriente igual a 980,3 mg vaso<sup>-1</sup> (Figura 5B).

Avaliando-se o teor de fósforo acumulado nas plantas, verificou-se melhores resultados para essa variável nas doses de 160 kg ha<sup>-1</sup> de OM Torta, 158 kg ha<sup>-1</sup> de OM Biochar e 160 kg ha<sup>-1</sup> de OM Torta + SH. Pelas equações lineares apresentadas, pode-se afirmar que houve um incremento de 3,3 e 4,4 mg vaso<sup>-1</sup> de P acumulado na parte aérea das plantas a cada 10 kg dos fertilizantes OM Torta + SH e OM Torta aplicados no solo. Quanto ao tratamento OM Biochar, verificou-se um aumento quadrático desta variável à medida que se aumentou as doses do fertilizante aplicado no solo, sendo o ponto máximo de P acumulado fixado em 88,5 mg vaso<sup>-1</sup> (Figura 5C).

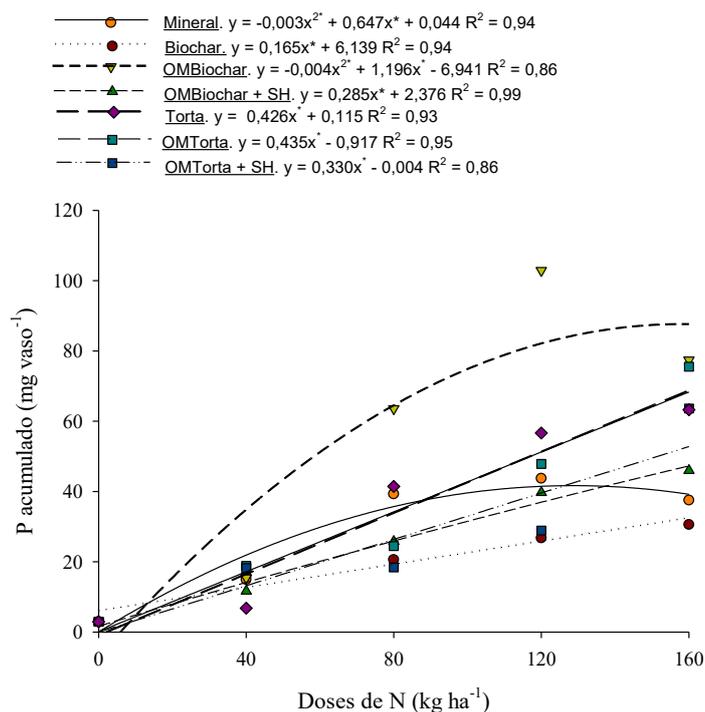
De acordo com Benites (2011), os fertilizantes organominerais possuem ânions orgânicos que competem pelos sítios de adsorção dos nutrientes no solo, reduzindo a fixação destes elementos e mantendo assim o nutriente mais disponível para as plantas. Além disso, em torno

da área de aplicação do fertilizante organomineral ocorre o estímulo da atividade microbiana presente no solo devido ao fornecimento de energia proporcionado pela fração orgânica o que proporciona também uma maior absorção de nutrientes pelas plantas. Com base nestes argumentos, pode-se explicar então os melhores resultados de acumulação de nutrientes na parte aérea das plantas de milho quando utilizado os diferentes tipos de fertilizantes organominerais neste estudo.

Para o tratamento organomineral com adição de ácidos orgânicos (OM Torta + SH), os resultados positivos para acumulação de fósforo na parte aérea das plantas de milho podem ser explicados principalmente pela proteção do fosforo proporcionada por esses ácidos. Segundo SIPCAM AGRO (2004) os ácidos húmicos impedem que o P interaja quimicamente com o ferro e o alumínio no solo, deixando-o assim disponível para a absorção das plantas.



“FIGURA 5, Cont.”



C

FIGURA 5. Nitrogênio (A); Potássio (B) e Fósforo (C) acumulado (g) na parte aérea de plantas de milho submetidas a diferentes fertilizantes e doses N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), aos 70 dias após o plantio (“....continua...”)

Quanto as porcentagens observadas com base na equação “Eq Nutr. acumulado” representando os teores de nutrientes recuperados do solo e acumulados na parte aérea das plantas, observou-se uma maior eficiência de recuperação de fósforo para os tratamentos OM Torta e OM Biochar. Para o potássio, os tratamentos Torta, OM Torta + SH e OM Biochar + SH foram os que obtiveram os melhores resultados (Tabela 9).

TABELA 9. Percentual de nutriente recuperado do solo e translocado para parte aérea das plantas de milho.

Fonte	Fósforo recuperado (%)	Potássio Recuperado (%)
Torta	2,61	63,90
Biochar	1,53	31,90
OM Torta	5,03	51,13
OM Biochar	5,17	48,15
OM Torta + SH	4,21	85,04
OM Biochar + SH	2,98	59,36
Mineral	2,40	20,70

\*Cálculos realizados segundo equação de nutriente recuperado (Eq Nutr.recuperado) baseada nas fontes de fertilizantes aplicados.

De modo geral, avaliando-se os teores de fósforo e potássio presentes no solo aos 70 DAP (dias após o plantio) observou-se o acréscimo nos valores dessas variáveis à proporção que se aumentou as doses dos fertilizantes no solo. Pode-se observar também que na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> aplicada, não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados e a testemunha (Tabela 10).

Ao se avaliar somente o teor de fósforo presente no solo, pode-se dizer que os melhores resultados foram observados quando se aplicou as doses de 120 kg ha<sup>-1</sup> de Biochar e 160 kg ha<sup>-1</sup> em todos os fertilizantes estudados (Tabela 10). De acordo com as equações lineares observadas, pode-se inferir também que a cada 10 kg de N aplicados no solo, houve um incremento de 12,5; 16,8; 9,7; 8,3; 10,8; 12,1 e 12,5 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo no solo quando aplicado os tratamentos Mineral, Biochar, OM Biochar, OM Biochar + SH, Torta, OM torta e OM Torta + SH respectivamente (Figura 6A).

De acordo com Kiehl (2013), o aumento do P disponível no solo proporcionado pelos fertilizantes organominerais pode estar ligado a presença da matéria orgânica nestes fertilizantes. Fernandez et al. (2015) avaliando o teor de P no solo em respostas a aplicação de fertilizantes minerais e organominerais, constataram que o efeito da matéria orgânica presente no fertilizante organomineral pode ter contribuído na redução da fixação deste nutriente no solo, favorecendo assim a presença de maiores teores deste elemento na solução.

Martins (2018) avaliando o efeito residual de fósforo após a aplicação de fertilizantes fosfatados minerais e organominerais constatou que embora não terem sido encontrada diferenças estatísticas nos teores de P disponível no solo em função das fontes aplicadas, houve tendência de melhores resultados para essa variável quando associado a aplicação dos tratamentos com fertilizantes organominerais comparados com a fonte isolada super-triplo fosfato.

TABELA 10. Teores de P e K no solo em função da aplicação de doses crescentes N (kg ha<sup>-1</sup>) através da aplicação de diferentes fertilizantes.

Dose de N		Fonte					
(kg ha <sup>-1</sup> )	Torta	Biochar	OM Torta	OM Biochar	OM Torta + SH	OM Biochar + SH	Mineral
<b>P no solo (mg dm<sup>-3</sup>)</b>							
0	3,5						
40	49,5 a	88,5 a	41,8 a	57,7 a	42,5 a	42,7 a	14,7 a
80	146,6 a*	149,2 a*	136,4 a*	58,0 b	61,2 b	33,1 b	15,2 b
120	75,6 d	240,1 a*	134,8 c*	113,3c*	165,10 b*	65,7 d	170,0 b*
160	206,7 a*	252,4 a*	200,2 a*	170,40 a*	192,9 a*	159,6 a*	177,4 a*
Média	119,6	182,6	128,3	99,8	115,4	75,3	94,3
<b>K no solo (mg dm<sup>-3</sup>)</b>							
0	14,7						
40	57,0 a	66,0 a	29,3 a	40,3 a	15,3 a	17,0 a	11,7 a
80	160,0 a*	140,0 a*	57,3 b	52,7 b	27,0 b	18,0 b	13,0 b
120	95,0 b*	217,0 a*	175,0 a*	55,7 b	70,3 b	111,7 b*	203,0 a*
160	99,5 d*	311,3 a*	176,7 c*	160,0 c*	102,7 d*	115,5 d*	219,0 b*
Média	102,9	183,6	109,6	77,2	53,8	65,5	111,7

**P no solo** - DMS<sub>Dunnet</sub>: 85,1; CV (%): 35,9. **K no solo** - DMS<sub>Dunnet</sub>: 72,1; CV (%): 35,1.

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância. \*Diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Quanto ao teor de potássio presente no solo, o tratamento Biochar nas doses de 160 e 120 kg ha<sup>-1</sup> e os tratamentos Mineral e OM Torta na dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> foram os que apresentaram melhores incrementos deste elemento quanto comparados aos demais fertilizantes e doses aplicados (Tabela 10). Verificando as equações apresentadas, observou-se incrementos lineares na proporção de 18,6; 11,7 e 15,0 mg dm<sup>-3</sup> de potássio no solo para cada 10 kg de nutriente aplicados nos tratamentos Biochar, OM Torta e Mineral nesta ordem (Figura 6B).

Teixeira (2013) verificando a eficiência agrônômica do fertilizante organomineral na cultura da cana-de-açúcar e analisando os dados do efeito residual do potássio no solo aos 133 dias após a aplicação do fertilizante organomineral e mineral, verificou que a aplicação do fertilizante OM proporcionou um acréscimo médio de 18% no teor de K no solo em relação ao fertilizante mineral. Segundo o autor, este resultado pode estar relacionado a menor liberação do potássio neste período, isto devido a liberação gradual do nutriente conferido pela fração orgânica do fertilizante e a consequente diminuição da lixiviação e perda do potássio no solo.

Em compensação, Wietholter et al. (1994) analisando o efeito da adubação com fertilizantes minerais convencionais, organominerais, e da aplicação direta de composto orgânico a base de cama aviária no solo, não verificaram diferença significativa no teor de potássio no mesmo independentemente da fonte utilizada.

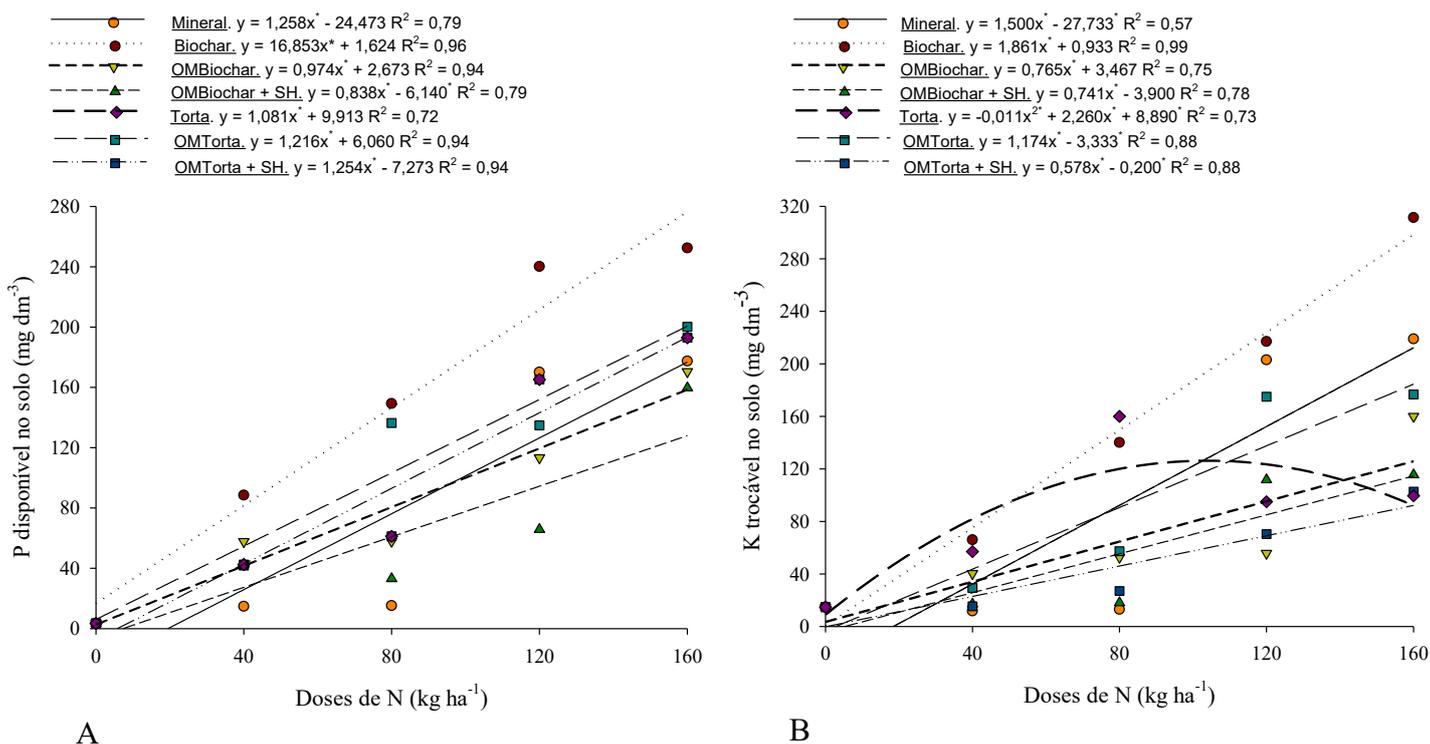


FIGURA 6. Teores de Fósforo - Mehlich-1 (A) e Potássio (B) no solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) em função da aplicação de doses crescentes N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) através de diferentes fertilizantes.

Para a análise de matéria orgânica presente no solo, somente os tratamentos Biochar nas doses de 80, 120 e 160  $\text{kg ha}^{-1}$  e Torta nas doses de 80 e 160  $\text{kg ha}^{-1}$  apresentaram diferença significativa em relação a testemunha (Tabela 11).

TABELA 11. Matéria orgânica do solo em função da aplicação de doses crescentes de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) através da aplicação de diferentes fertilizantes.

Dose de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Fonte						
	Torta	Biochar	OM Torta	OM Biochar	OM Torta +AH	OM Biochar + AH	Mineral
0	0,88						
40	0,87 b	1,17 a	0,60 b	0,65 b	0,58 b	0,73 b	0,63 b
80	1,33 b*	2,90 a*	0,67 c	0,70 c	0,55 c	0,68 c	0,68 c
120	1,05 b	3,53 a*	0,85 b	0,85 b	0,75 b	0,55 b	0,70 b
160	1,57 b*	3,43 a*	0,80 c	0,80 c	0,70 c	0,65 c	0,83 c
Média	1,2	2,76	0,73	0,75	0,64	0,65	0,71

DMS<sub>Dunnet</sub>: 0,45; CV (%): 20,2.

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância. \*Diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Analisando as equações de regressão testadas, verificou-se que somente as variáveis Biochar e Torta tiveram modelos lineares significativos ajustados. Este resultado se dá provavelmente em função da grande quantidade aplicada para estes tratamentos. Para o tratamento Biochar, a dose de 191 kg ha<sup>-1</sup> foi a que forneceu maior incremento de matéria orgânica no solo com valor observado de 3,69 dag dm<sup>-3</sup>. Já para o tratamento Tora, a dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> foi a que obteve melhor resultado, sendo que a cada 10 kg nutriente aplicado no solo, obteve-se um aumento de 0,04 dag dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica (Figura 7).

Resultados semelhantes a estes foram encontrados em trabalho realizado por Steiner et al. (2011), onde avaliando o efeito da rotação de plantas de cobertura associado a três fontes de adubação (mineral, orgânica e organomineral) sobre os atributos químicos de um Latossolo Vermelho eutroférico, constatou melhores valores nos teores de MO no solo nas amostras realizadas de 0-10 cm onde foi feita a aplicação da adubação orgânica quando comparada aos demais tratamentos.

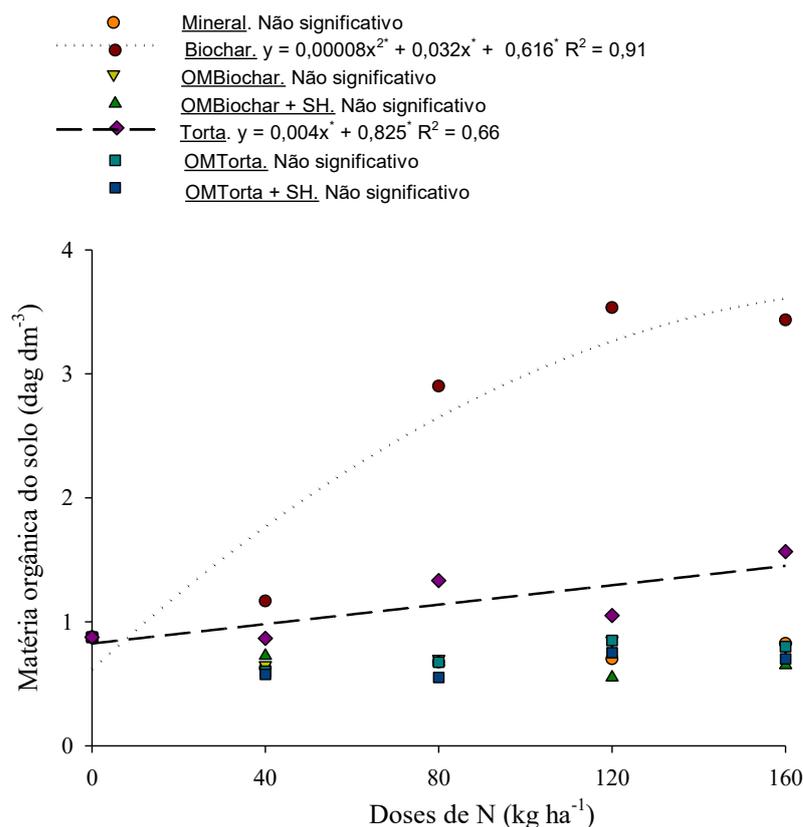


FIGURA 7. Matéria orgânica do solo (dag dm<sup>-3</sup>) em função da aplicação de doses crescentes de N (kg ha<sup>-1</sup>) através de diferentes fertilizantes.

## 4 CONCLUSÕES

Os fertilizantes Organomineral Biochar, Organomineral Torta e a composto orgânico à base de torta de filtro possuem maior eficiência agrônômica para o crescimento e desenvolvimento das plantas de milho.

Os tratamentos OM Torta e OM Biochar + AH e OM Biochar foram mais eficientes na acumulação de fósforo, potássio e nitrogênio nas plantas.

A aplicação de 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, em todos as fontes estudadas, trouxe melhores resultados para o teor de fósforo residual no solo.

Os fertilizantes Biochar, Mineral e OM Torta proporcionaram um melhor efeito residual de potássio no solo após o cultivo do milho nos vasos.

Os fertilizantes a base de composto orgânico Biochar e Torta-de-filtro tiveram melhores resultados quanto ao acúmulo de matéria orgânica no solo após o cultivo do milho.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maior eficiência agronômica proporcionada pela aplicação dos fertilizantes composto orgânico Torta de Filtro e fertilizantes organominerais em relação ao fertilizante mineral pode ser explicado pela proteção física e liberação gradual dos nutrientes contidos nestes fertilizantes, proporcionando assim uma nutrição mais equilibrada e uma consequente maior produção de massa seca nas plantas de milho.

A aplicação do tratamento composto orgânico biochar não obteve maior eficiência agronômica quando comparado a aplicação do fertilizante mineral convencional. Este fato pode ser explicado pela elevada recalcitrância deste material e pelo reduzido tempo de condução do experimento nos vasos. Possivelmente não houve tempo hábil para liberação total dos nutrientes contidos no biochar e por isso, houve menor produção de massa seca das plantas de milho quando utilizado este tratamento.

A proteção física e química proporcionada pela adição da matéria orgânica aos fertilizantes minerais, com consequente melhoria na eficiência no fornecimento de nutrientes para as plantas de milho, proporcionou um maior teor de fósforo e potássio recuperado do solo e translocado para parte aérea das plantas de milho quando aplicado os tratamentos organominerais em relação ao fertilizante mineral convencional.

Para a análise de matéria orgânica no solo, nota-se que os tratamentos organominerais e mineral não obtiveram diferença significativa entre eles e nem em relação a testemunha. Estes resultados comprovam que de fato, a maior eficiência dos fertilizantes organominerais não está ligada a aumento do teor de matéria orgânica no solo, e sim aos efeitos diretos da fração orgânica na proteção contra perdas da parte mineral presente neste fertilizante.

## REFERÊNCIAS

- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; MIELNICZUK, J.; BORTOLINI, C. G. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p. 519-527, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000400014>
- BARON, R.; BENITEZ, I. C.; GONZALEZ, J. L. Influencia de la dosis creciente de un abono orgánico en un cultivo de trigo. **Agrochimica**, [s. l.], v. 39, p. 280-289, 1995.
- BENITES, V. N.; CORREA, J. C.; MENEZES, J. F. S.; POLIDORO, J. C. **Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil**. Anais[...]. Guarapari: FertBio, 2010. 4p.
- BENITES, V. M. **Produção de fertilizantes organominerais utilizando resíduos orgânicos de sistemas de produção animal: uma alternativa para agregação de valor aos resíduos e redução do impacto ambiental**. Embrapa Solos - Sociedade Brasileira dos Especialistas em Resíduos das Produções Agropecuária e Agroindustrial - www.sbera.org.br - informativo VIII, 2011.
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; He, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Hangzhou, v. 32, p. 921-950, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1081/CSS-100104098>
- BRASIL - MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO. Secretaria de defesa agropecuária. **Instrução normativa nº 25**. Brasília, DF, 2009.
- COSTA, M. S. S. M.; STEINER, F.; COSTA, L. A. M.; CASTOLDI, G.; PIVETTA, L. A. Nutrição e produtividade da cultura do milho em sistemas de culturas e fontes de adubação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 2, p. 249-255, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000200018>
- CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; SANTOS JÚNIOR; ALBUQUERQUE, A. W.; PEREIRA, R.G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 62-68, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000100009>
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Informação Tecnológica, 2009. p. 1-628.
- EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa de solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. P. 1-212.
- FERNANDES, D, M; GROHSKOPF, M. A; GOMES, E. R; FERREIRA, N. R; BÜLL, L. T. Fósforo na solução do solo em resposta à aplicação de fertilizantes fluidos mineral e organomineral. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 1 p. 14- 27, 2015. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v1n1p14>

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

GEODERT, W. J.; SOUZA, D. M. G.; REIN, T. A. **Princípios metodológicos para avaliação agrônômica de fontes de fósforo**. Planaltina, DF: EMBRAPA, 1986, 23 p. (Documentos, 22)

GONZALEZ, J. L.; BENITEZ, I. C.; PEREZ, I. M.; MEDINA, M. Pig slurry compost as wheat fertilizers. **Bioresource Technology**, Barking, v. 40, p. 125–130, 1992. DOI:

[https://doi.org/10.1016/0960-8524\(92\)90197-6](https://doi.org/10.1016/0960-8524(92)90197-6)

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. 5. ed. Piracicaba: Editora Degaspari, 2013. 142 p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. Piracicaba: Ed. Do autor, 1999. 146p.

LANA, M. C.; RAMPIM, L.; SCHULZ, L. R.; KAEFER, J. E.; SCHMIDT, M. H.; RUPPENTHAL, V. Disponibilidade de fósforo para plantas de milho cultivadas com fertilizante organomineral e fosfato monoamônico. **Revista Scientia Paranaensis**, Mar. Cdo. Rondon, v. 13, n. 3, p. 198-209, 2014. DOI:

<https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v13n3p198-209>

LIMA, C. P. **Medidor de clorofila na avaliação de nutrição nitrogenada na cultura do alho vernalizado**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

LEMOS, L. B. **Milho: a utilização de produtos com liberação controlada e fertilizantes organominerais tem aumentado significante, reduzindo perdas e melhorando o solo**. In: Anuário Brasileiro de Tecnologia em nutrição Vegetal. São Paulo, 2017.

MARTINS, D. C. **Adubação fosfatada organomineral no cultivo de grãos em solos de fertilidade construída**. 2018. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

NÓBREGA, I. P. C. **Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de Carbono no solo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Técnica de Lisboa, 2011.

NORUSIS, M. **SPSS 16.0 statistical procedures companion**, Prentice Hall Press, 2008.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-1017.

POLIDORO, J. C. **Fertilizantes Organominerais: aspectos tecnológicos, mercadológicos e legislação**. In: Fórum Absoluto, Ribeirão Preto, 2013.

TEJADA, M.; BENITEZ, C.; GONZALEZ, J. L. Effects of Application of Two Organomineral Fertilizers on Nutrient Leaching Losses and Wheat Crop. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 960-967, 2005. DOI:

<https://doi.org/10.2134/agronj2004.0092>

TEIXEIRA, W. G.; SOUSA, R. T.; HENRIQUE, H. M.; KORDORFER, G. H. **Produção de matéria seca, teor e acúmulo de nutrientes em plantas de milho submetidas à adubação mineral e organomineral.** In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia, MG, 2011.

TEIXEIRA, W. G. **Biodisponibilidade de fósforo e potássio provenientes de fertilizantes mineral e organomineral.** 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

TEIXEIRA, W. G.; SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. Respostas da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, 2014.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** Campinas: IAC/FUNDAG, 1996. p. 1- 286. (Boletim Técnico, 100).

ROCHA, R. N. C.; GALVÃO, J. C. C.; TEIXEIRA, P. C.; MIRANDA, G. V.; AGNES, E. L.; PEREIRA, P. R. G.; LEITE, U. T. Relação do índice SPAD, determinado pelo clorofilômetro, com teor de nitrogênio na folha e rendimento de grãos em três genótipos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 2, p. 161-171, 2005. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v4n2p161-171>

SIPCAM AGRO. **Manual técnico de produtos.** MG, setembro, 2003.133p.

STEINER, F.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M. C.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G. Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de culturas e fontes de adubação. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 04, n. 01, p.16 – 28, jan/abr. 2011.

WIETHOLTER, S.; SIQUEIRA, O. J. F.; PERUZZO, G.; BEM, J. R. Efeito de fertilizantes minerais e organominerais nos rendimentos de culturas e em fatores de fertilidade do solo. Ver. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 5, p. 713-724, 1994.

## **CAPITULO 3**

**Efeito da aplicação de fertilizantes especiais a base de biochar, torta-de-filtro e polímeros  
sob o crescimento inicial da cultura do milho**

## RESUMO

FRANCO, MIGUEL HENRIQUE ROSA FRANCO. **Efeito da aplicação de fertilizantes especiais a base de biochar, torta-de-filtro e polímero sob o crescimento inicial da cultura do milho.** 2019. 28f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia<sup>1</sup>.

A introdução de novas tecnologias relacionadas ao uso e manejo dos fertilizantes tem sido observadas no campo, em destaque para o uso dos chamados fertilizantes especiais. Neste contexto, objetivou-se avaliar neste trabalho a aplicação de diferentes tipos de fertilizantes especiais na cultura do milho e comparar os resultados obtidos com a aplicação do fertilizante mineral convencional já comumente utilizado no mercado. O delineamento experimental foi composto por um delineamento em blocos casualizados, num esquema fatorial 7x4+1, com quatro repetições por tratamento. O primeiro fator formado por sete diferentes fontes (composto orgânico a base de torta-de-filtro, composto orgânico a base de biochar, organomineral (OM) torta-de-filtro, OM biochar, OM torta-de-filtro + substâncias húmicas (SH), mineral com polímero e mineral convencional) o segundo fator atendido pelo uso de diferentes doses baseados nos teores de nitrogênio (60, 120, 180, 240 kg ha<sup>-1</sup>) e a adição de uma testemunha absoluta sem aplicação de fertilizantes. Aos 60 dias após a semeadura (DAS), foram avaliados as análises de crescimento das plantas de milho, verificação nutricionais das plantas e da quantidade de nutriente residual no solo após o termino do experimento. Os fertilizantes, mineral com polímero e OM torta-de-filtro + SH obtiveram melhores resultados para massa seca da parte aérea e a altura de plantas de milho. Para a área foliar e diâmetro de colmo, os fertilizantes OM torta-de-filtro e OM torta-de-filtro + SH foram os que se destacaram. Houve maior acúmulo dos nutrientes nitrogênio e potássio na parte aérea das plantas quando aplicado os fertilizantes OM torta-de-filtro + SH e mineral com polímero. Para o fósforo acumulado, os tratamentos OM torta-de-filtro, OM torta-de-filtro + SH e mineral com polímero foram os que obtiveram melhores resultados. Já para as análises de fósforo e potássio residual no solo, os tratamentos à base de composto orgânico torta-de-filtro e biochar obtiveram melhores resultados. Os fertilizantes OM torta-de-filtro, OM biochar, OM torta-de-filtro + SH e mineral com polímero são mais eficientes do que o fertilizante mineral, podendo substituir o mesmo para a produção na cultura do milho.

**Palavras-chave:** organomineral, substâncias húmicas, eficiência.

---

<sup>1</sup>Professora Orientadora: Regina Maria Quintão Lana - UFU

## ABSTRACT

FRANCO, MIGUEL HENRIQUE ROSA FRANCO. **Effect of the application of special fertilizers based on biochar, filter cake and polymer under the initial growth of corn crop.** 2019. 28f. Thesis (PhD in Agronomy / Phytotechny) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia1.

The introduction of new technologies related to the use and management of fertilizers has been observed in the field, for the use of so-called specialty fertilizers. In this context, the objective of this work was to evaluate the application of different types of specialty fertilizers in the maize crop and compare the results obtained with the application of the conventional mineral fertilizer already commonly used on the market. The experimental design consisted of a randomized complete block design in a 7x4 + 1 factorial scheme, with four replications per treatment. The first factor formed by seven different sources (organic compound based on filter cake, organic compound based on biochar, organomineral (OM) filter cake, OM biochar, OM filter cake + humic substances (SH), mineral with polymer and conventional mineral), the second factor served by the use of different doses based on levels of nitrogen (60, 120, 180, 240 kg ha<sup>-1</sup>) and the addition of an absolute control without fertilizer application. At 60 days after sowing (DAP) of the fertilizers, evaluated the growth analysis of the corn plants, nutritional verification of the plants and the amount of residual nutrient in the soil after the end of the experiment. The fertilizers, mineral with polymer and OM filter cake + SH obtained better results for shoot dry matter and height of corn plants. For the leaf area and stem diameter, the OM fertilizers filter cake and OM filter cake + SH were the ones that stood out. There was greater accumulation of nitrogen and potassium nutrients in the aerial part of the plants when applied to the fertilizers OM filter cake + SH and mineral with polymer. For the accumulated phosphorus, the treatments OM filter cake, OM filter cake + SH and mineral with polymer were the ones that obtained better results. For the analysis of residual phosphorus and potassium in the soil, the treatments based on organic compost filter-cake and biochar obtained better results. The OM fertilizers filter cake, OM biochar, OM filter cake + SH and mineral with polymer notes are more efficient than the mineral fertilizer, being able to substitute the same for the one for the production in the corn crop.

**Key words:** organomineral, humic substances, efficiency.

---

<sup>1</sup>Supervising committee: Regina Maria Quintão Lana - UFU

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil encontra-se consolidado como terceiro maior produtor e segundo maior exportador de milho no mundo com a produção estimada em 82,18 milhões de toneladas para a safra 2017/2018. Ao longo dos últimos cinco anos houve uma grande mudança na cadeia produtiva brasileira, visto que o país deixou de ser apenas um produto destinado à alimentação animal, mas também uma *commodity* exportável, além de se firmar, nestes dois últimos anos, como uma matriz energética na produção de etanol (CONAB, 2018).

Segundo Bull (1986) a fertilidade do solo é um dos principais fatores responsáveis pela produtividade na cultura do milho, sendo que as necessidades nutricionais das plantas são determinadas principalmente pela quantidade nutricional extraída durante seu ciclo. Neste contexto, o conhecimento destas quantidades ajuda a estimar as proporções exportadas através das colheitas e as quantidades que poderão ser restituídas ao solo através dos restos culturais. Assim, em todas as formas de cultivo do milho é sempre importante colocar à disposição das plantas as quantidades totais de nutrientes levando em conta o total exportado pelas mesmas, sendo que o fornecimento destes nutrientes deverá sempre ser fornecido através da adubação.

Perante o déficit estrutural de produção de nutrientes vegetais e buscando a correção das deficiências estruturais dos solos brasileiros, o uso dos fertilizantes organominerais e orgânicos surgem como uma alternativa para o aumento da produção nacional de grãos (POLIDORO, 2013).

Segundo Souza et al. (2012), os fertilizantes organominerais são resultado do enriquecimento de adubos orgânicos com fertilizantes minerais gerando um produto inovador e alternativo. O principal benefício da adição de nutrientes minerais aos fertilizantes orgânicos está ligado a diminuição da taxa de mineralização, fixação e lixiviação dos nutrientes.

Os fertilizantes organominerais são formulados a partir de resíduos orgânicos como esterco, turfa, resíduos da indústria sucroalcooleira, farinhas de ossos, tortas diversas, resíduos agroindustriais e lodo de esgoto. Neste sentido, o uso desses resíduos para a produção de fertilizantes organominerais pode eliminar imediatamente 50% do passivo ambiental gerado nestes processos produtivos até 2020 (BENITES et al., 2010).

De acordo com Associação Nacional Difusora de Adubos (ANDA), o principal desafio tecnológico para ampliação do uso desses fertilizantes no Brasil está ligado a oferta de produtos padronizados e com concentrações de nutrientes equivalentes às fórmulas minerais comerciais,

o que pode ser obtido através de modelos de produção voltados para fabricação de fertilizantes organominerais na forma granulada e/ou peletizada (ANDA, 2009).

Outra forma de se potencializar esse mercado e a tecnologia envolvida na fabricação dos fertilizantes está ligada ao estudo de alternativas capazes de melhorar as características físico-químicas destes produtos. Algumas alternativas como a adição de substâncias húmicas isoladas (ácidos húmicos e fúlvicos), introdução do processo de pirólise da matriz orgânica e produção de biochar e fabricação de fertilizantes especiais com adição de polímeros, vêm sendo estudados com objetivo de melhorar as características agronômicas destes fertilizantes.

Segundo Rocha et al. (2003) as substâncias húmicas podem alterar o metabolismo das plantas e interferir diretamente no metabolismo vegetal devido a seus efeitos ocasionados no solo, como complexação de metais, aumento da capacidade de troca catiônica, fornecimento de nutrientes e retenção de umidade. As mesmas podem atuar no transporte de íons, atividade respiratória, conteúdo de clorofila, síntese de ácidos nucleicos e na atividade de várias enzimas nas plantas, assim favorecendo em seu melhor desenvolvimento (NANNIPIERI et al., 1983).

No que se diz respeito ao biochar, algumas pesquisas relatam que sua aplicação no solo proporciona uma contribuição significativa na natureza física do sistema, influenciando a estrutura, textura, porosidade, profundidade e consistência dos solos, isto devido a mudança na densidade da área superficial, distribuição, densidade e tamanho dos poros e das partículas (VAN ZWIETEN et al., 2010). Indiretamente, alguns aspectos químicos e biológicos da fertilidade do solo podem também ser influenciados, como é o caso da presença de locais para reações microbiológicas e alterações no pH, capacidade de retenção de água e a densidade (STEENWERTH et al., 2005; NÓBREGA, 2011).

Para os fertilizantes revestidos com polímeros, a grande vantagem é o uso desta camada protetora contra os agentes causadores de perda de nutrientes e a mudança de comportamento destes fertilizantes encapsulados perante as fontes convencionais, promovendo inclusive uma disponibilidade gradativa dos elementos minerais para o sistema (SILVA et al., 2012).

Buscando estudar os benefícios da utilização dos fertilizantes especiais e seus efeitos no sistema solo-planta, objetivou-se com este trabalho estudar a aplicação de diferentes tipos de fertilizantes especiais na cultura do milho e em comparação ao fertilizante mineral convencional.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Produção e obtenção dos fertilizantes

A produção e obtenção dos fertilizantes utilizados no experimento foi realizada seguindo os seguintes processos:

- Compostagem da Torta-de-filtro – neste processo a torta-de-filtro foi coletada em usinas sucroalcooleiras. Posteriormente, passa por um processo de compostagem assistida até obter o processo de secagem e estabilização. A partir daí, após alcançar a umidade em torno de 20%, esta é separada em fertilizante organo-composto ou é encaminhada para produção dos fertilizantes organominerais.
- Pirólise da torta-de-filtro para produção do Biochar – Para este processo a torta de filtro é adicionada a um reator de pirólise com temperatura constante de 400°C. Após a carbonização deste material é obtido um produto final Biochar com teor de cinzas em torno de 77%. Com isso, este material é separado para produção do fertilizante organo-composto a base Biochar ou para fabricação do fertilizante organomineral.
- Peletização dos fertilizantes – Caracteriza-se pela mistura dos fertilizantes organo-compostos, advindos do processo de estabilização da torta de filtro ou do processo de produção do Biochar, aos fertilizantes minerais solúveis (ureia, mono amônio fosfato - MAP e cloreto de potássio). Após esse processo dá-se origem ao fertilizante organomineral peletizado, que é resultante de um processo industrial de compactação física desta mistura e posterior formação do pellet. Este pellet por sua vez é produzido utilizando-se um polímero orgânico biodegradável solúvel em água, que tem a função de proporcionar a liberação gradual dos nutrientes e a retenção da fase mineral solúvel dentro da matriz orgânica porosa (Figura 1).
- Adição de substâncias húmicas (SH) – Durante a produção dos fertilizantes organominerais peletizados, foram separadas algumas amostras destes para adição de substâncias húmicas a base de ácidos húmicos advindos da Leonardita Australiana e misturados a matriz orgânica do fertilizante. Para tanto, esse produto foi adicionado na proporção de 15 kg por tonelada de fertilizante organomineral produzido.
- Produção do fertilizante mineral convencional – este fertilizante foi obtido da mistura de grânulos a partir de matérias-primas minerais solúveis ureia, MAP e cloreto de potássio.

- Fertilizante mineral com adição de polímero – Aquisição de um fertilizante mineral que possui nitrogênio nítrico e amoniacal, fósforo e potássio no mesmo grânulo e proteção contra perdas advindo da aplicação de um polímero ao mesmo (Figura 2).



FIGURA 1. Organomineral peletizado produzido pela empresa Geociclo Biotecnologia S/A. Fonte (o autor, 2017).

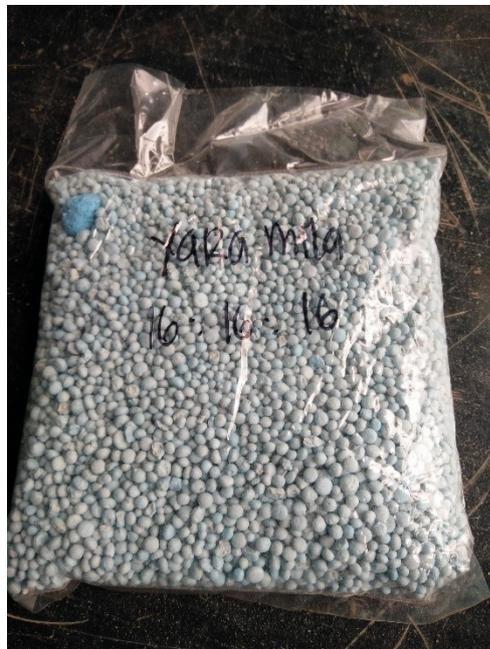


FIGURA 2. Fertilizante mineral com polímero produzido pela empresa YARA BRASIL. Fonte (o autor, 2017).

A composições químicas dos fertilizantes utilizados no experimento estão descritos na tabela 1.

TABELA 1. Parâmetros químicos, base úmida, dos fertilizantes utilizados no experimento.

Análises*	Formulações						
	Torta	Biochar	OM Torta	OM Biochar	OM Torta + SH	Mineral c/ polímero	Mineral
Umid.	22,2	6,6	4,4	4,3	10,5	0,8	0,9
CO	16,6	16,0	8,2	8,1	7,67	7,9	0,0
N	0,5	0,4	12,0	12,0	12,0	16,0	18,0
P	0,8	0,5	12,0	12,0	12,0	16,0	18,0
K	0,4	0,3	12,0	12,0	12,0	16,0	18,0
CTC	366,1	221,9	110,2	116,3	187,5	198,8	0,0

\*Determinações, Umid = umidade, %; CO = carbono orgânico, %; N = nitrogênio total, %; P = P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, %; CTC = Capacidade de Troca Catiônica, mmol kg<sup>-1</sup>.

## 2.2 Dados gerais

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Uberlândia, Campus do Umuarama, no período de Janeiro a Abril de 2018, em vasos plásticos com aproximadamente 18 kg de solo. Utilizou-se de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) coletado na fazenda experimental do Glória, Uberlândia-MG. Após a coleta, o solo foi peneirado em malha de 4 mm e aplicado calcário dolomítico, com PRNT DE 90%, teor de CaO em torno de 46% e MgO de 8%, na proporção de 18 g por vaso, com posterior incubação por um período de 60 dias visando a correção da acidez e elevação da saturação por base para 60%. As características da composição química e física do solo utilizado no experimento após a aplicação do calcário e incubação do mesmo são descritas na tabela 2.

TABELA 2: Caracterização química e física do solo após a aplicação do calcário e incubação por 60 dias.

Análise Química								
pH (H <sub>2</sub> O)	Ca	Mg	Al	P	K	H+Al	CTC	S-SO <sub>4</sub>
1-2,5	----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	---	--	mg dm <sup>-3</sup>	--	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>
6,7	1	0,5	0	1	20	1,7	3,25	41

"...Continua..."

"TABELA 2, Cont."

M.O.	C.O.	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	m
----- dag kg <sup>-1</sup> -----		----- mg dm <sup>-3</sup> -----				----- % -----		
0,6	0,4	0	0,7	9	2,4	0,5	58	0
Análise Textural								
Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte			Argila		
----- g kg <sup>-1</sup> -----								
LVd	297	250	54			400		

pH em H<sub>2</sub>O; Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich-1); S em fosfato de cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup>; H + Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); Cu, Fe, Mn, Zn = (DTPA 0,005 mol L<sup>-1</sup> + TEA 0,1 mol-l + CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> a pH 7.3) cmolc dm<sup>-3</sup> x 10 = mmolc dm<sup>-3</sup> / mg dm<sup>-3</sup> = ppm / dag kg<sup>-1</sup> = %; CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio; M.O. = Método Colorimétrico; Metodologias baseadas em EMBRAPA (2009). Análise Textual pelo método da Pipeta (EMBRAPA, 1997).

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, dispostos em esquema fatorial 7 x 4 + 1, com quatro repetições. O primeiro fator formado por sete diferentes fontes de fertilizantes, aplicados todos na base (5 cm abaixo da linha de semeadura) - (Tabela 1) e o segundo fator atendido pelo uso de diferentes doses baseados nos teores de nitrogênio dos fertilizantes nas doses de 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N. Devido a equidade dos teores de fósforo (P) e potássio (K) nos fertilizantes organominerais e minerais, os tratamentos com estes fertilizantes receberam estas mesmas doses destes nutrientes. Já os fertilizantes orgânicos as doses de P e K foram diferentes. Assim, a dosagem dos tratamentos Biochar e Torta foram calculadas levando em consideração o teor de nitrogênio (%) presente nestes matérias orgânicos, fixando esse elemento para base de cálculo da dosagem a ser aplicada e apresentando variações nas doses de P e K conforme apresentado na tabela 3. Por final foi realizado a adição de uma testemunha absoluta adicional sem aplicação de fertilizantes.

TABELA 3. Tipo de fertilizante, quantidade dos nutrientes e das fontes fornecidas em cada tratamento.

Fonte	Doses			Dose no solo	Dose Fonte	Dose Fonte
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	K <sub>2</sub> O	kg ha <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	g. kg <sup>-1</sup> solo
kg ha <sup>-1</sup>						
Sem adição de fertilizantes	0	0	0	0	0	0
Orgânico farelado a base de torta de filtro (Torta)	96	60	48	12000	108,0*	6,0
	192	120	96	24000	216,0*	12,0
	288	180	144	36000	324,0*	18,0
	384	240	192	48000	432,0*	24,0

"...continua..."

“TABELA 3, Cont.”

	75	60	45	15000	135,0*	7,5
Orgânico farelado a base de biochar (Biochar)	150	120	90	30000	270,0*	15,0
	225	180	135	45000	405,0*	22,5
	300	240	180	60000	540,0*	30,0
	60	60	60	500	4,5	0,25
Organomineral peletizado a base de torta de filtro (OM Torta)	120	120	120	1000	9,0	0,5
	180	180	180	1500	13,5	0,75
	240	240	240	2000	18,0	1,0
	60	60	60	500	4,5	0,25
Organomineral peletizado a base de biochar (OM Biochar)	120	120	120	1000	9,0	0,5
	180	180	180	1500	13,5	0,75
	240	240	240	2000	18,0	1,0
	60	60	60	500	4,5	0,25
Organomineral peletizado a base de torta de filtro + substâncias húmicas (OM Torta + SH)	120	120	120	1000	9,0	0,5
	180	180	180	1500	13,5	0,75
	240	240	240	2000	18,0	1,0
	60	60	60	375	3,3	0,19
Mineral com adição de polímero (Mineral c/ pol)	120	120	120	750	6,7	0,37
	180	180	180	1125	10,1	0,56
	240	240	240	1500	13,4	0,75
	60	60	60	333,33	3,0	0,17
Mineral convencional (Mineral)	120	120	120	666,66	6,0	0,33
	180	180	180	999,99	9,0	0,5
	240	240	240	1333,32	12,0	0,67

\*Dosagem aplicada em g. planta, baseada nos teores de nitrogênio (Tabela 1) presentes nas matérias primas utilizadas.

Utilizou-se a torta de filtro, subproduto da atividade canieira como base orgânica para formação dos fertilizantes organominerais e Biochar.

Sessenta dias após a aplicação do calcário no solo, foi realizada a aplicação dos fertilizantes e sementes em cada vaso cinco sementes de milho, cultivar DKB 310 Pro 2. Aos quinze dias após a semeadura (DAS) foi realizado o desbaste deixando-se apenas uma planta por vaso e aos 20 DAS realizou-se a suplementação de macro e micronutrientes (S, Zn, B, Cu e Mn) aplicados de forma líquida aos vasos na proporção de 60; 6,0; 2,2; 1,5; 2,0 kgs ha<sup>-1</sup> de enxofre, zinco, boro, cobre e manganês respectivamente.

Durante toda condução do experimento a irrigação dos vasos manteve-se constante com capacidade de campo em torno de 80% para todos os tratamentos.

Aos 60 dias após a semeadura (DAS) quando as plantas apresentavam 9 folhas completamente desenvolvidas realizou-se as avaliações das plantas de milho, como: altura de

plantas (cm); diâmetro do colmo (mm); área foliar das plantas (cm<sup>2</sup>); massa seca de raiz (g) e massa seca da parte aérea (g).

As avaliações citadas foram realizadas através da medição da parte aérea com ajuda de uma régua graduada e diâmetro de colmo usando um paquímetro digital. Após estas avaliações iniciais as plantas foram retiradas, sendo acondicionadas em sacos de papel e conduzidas para o laboratório de fertilidade de solo, onde foram realizadas as determinações de massa seca da parte aérea das plantas (folhas e colmos) e raiz, feitas através de estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C.

Após a determinação da massa seca, as amostras foram inicialmente moídas em moinho do tipo Willey (2mm), sendo armazenadas em sacos de papel e encaminhadas para o laboratório onde foram feitas as análises nutricionais de macronutrientes da parte aérea das plantas seguindo metodologia descrita pela EMBRAPA (2009). Com os dados dos teores de nutrientes na planta e a massa da matéria seca da parte aérea, foi calculado o acúmulo (extração) de nutrientes nas plantas de milho multiplicando a MSPA em gramas pelo teor de nutriente em gramas por kg.

Com base nos resultados obtidos através da análise de massa seca das plantas de milho, e utilizando a adubação mineral convencional como fonte padrão, realizou-se o cálculo da equivalência de dose dos fertilizantes, utilizando a equação abaixo (equação 1):

$$Eq_{Ad. Mineral}(\%) = \frac{\sum[(xf_{180} - xt) + (xf_{240} - xt)]}{\sum[(xk_{180} - xt) + (xk_{240} - xt)]} \cdot 100\%$$

Em que:

Eq Ad.Mineral (%): Equivalente em adubo mineral.

xf<sub>180</sub>: Produção de matéria seca da parte aérea da fonte testada – dose de 180 kg ha<sup>-1</sup>.

xf<sub>240</sub>: Produção de matéria seca da parte aérea da fonte testada – dose de 240 kg ha<sup>-1</sup>.

xK<sub>180</sub>: Produção de matéria seca da parte aérea na fonte padrão – dose de 180 kg ha<sup>-1</sup>.

xK<sub>240</sub>: Produção de matéria seca da parte aérea da fonte padrão – dose de 240 kg ha<sup>-1</sup>.

xt: Produção de matéria seca da testemunha.

O cálculo do Eq-Ad.Mineral (%) está descrito no documento Princípios metodológicos para avaliação agrônômica de fontes de fosforo (GEODERT et al., 1986).

Para determinar o efeito da aplicação dos fertilizantes sobre a melhoria das características químicas do solo, após a retirada das plantas e raízes do mesmo, foi realizada uma amostra de

solo em cada vaso, sendo encaminhadas para o laboratório para determinação das análises químicas (fósforo e potássio) segundo metodologia descrita pela EMBRAPA (2009).

A partir dos resultados obtidos dos teores de nutrientes acumulados na parte aérea das plantas de milho realizou-se o cálculo do percentual de fósforo e potássio recuperado para cada fonte testada a partir da equação (equação 2):

$$\text{Eq Nutr. recuperado (\%)} = \frac{\text{Nut Ac Fontes} - \text{Nutr Ac Controle}}{\text{Dose Nutr aplicado}} \times 100$$

Onde:

Eq Nutr. recuperado (%): Percentual de nutriente recuperado do solo e translocado para parte aérea.

Nutr Ac fonte: Teor de nutriente acumulado na dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> de N (mg vaso<sup>-1</sup>).

Nutr Ac Controle: Teor de nutriente acumulado na testemunha (mg vaso<sup>-1</sup>).

Dose Nutr aplicado: corresponde a dose do nutriente aplicado na fonte avaliada (mg vaso<sup>-1</sup>).

O cálculo do Nutriente recuperado foi feito baseado segundo metodologia descrito no documento Eficiência do uso de nutrientes nas plantas (BALIGAR et al., 2001).

### 2.3 Análise estatística

Os resultados obtidos foram primeiramente submetidos aos testes de pressuposições, homogeneidade, heterogeneidade e aditividade, a fim de avaliar a normalidade dos resíduos, a homogeneidade das variâncias e a não aditividade entre os blocos, respectivamente. Após, os dados foram submetidos à análise de variância através do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011) e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott (0,05 de significância) e Dunnet (0,05 de significância). Para a avaliação dos efeitos das doses dos fertilizantes, utilizou-se regressões polinomiais a 5% de significância.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliando os resultados, pode-se dizer que a maioria dos tratamentos foram superiores à testemunha com ganhos significativos para as análises de crescimento das plantas de milho (Tabela 4).

Independentemente do tratamento utilizado, houve aumento significativo na massa seca da parte aérea, altura, área foliar e diâmetro de colmos das plantas de milho à medida que se aumentou as doses dos fertilizantes aplicados no solo até os seus respectivos pontos de máxima respostas (Tabela 4). Foi observado o efeito significativo da interação entre os dois fatores estudados, ou seja, houve influência da dose sobre o efeito dos fertilizantes aplicados (Figura 2).

Analisando a massa seca da parte aérea das plantas de milho, observou-se que os piores resultados para esta variável foram observados quando utilizados os fertilizantes orgânicos à base de torta-de-filtro e biochar no solo (Tabela 4). Os maiores valores foram constatados quando se utilizou os fertilizantes mineral com polímero e OM Torta + SH (Tabela 4), sendo os pontos de máxima resposta para esta variável observados nas doses de 216 kg ha<sup>-1</sup> de OM Torta + SH e 190 kg ha<sup>-1</sup> do mineral com polímero, com valores correspondentes a 33,7 e 33,6 g de massa seca, respectivamente (Figura 3A).

Da mesma forma, Almeida et al. (2016) avaliando a eficiência da utilização de fertilizantes protegidos fosfatados na cultura do milho e em áreas com diferentes teores de fósforo no solo, verificaram um aumento de 11% para MSPA quando aplicado o fertilizante protegido comparado ao fertilizante mineral superfosfato simples. Este fato pode ser explicado pela redução da complexação do fósforo pelos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio do solo proporcionada pela aplicação do polímero.

Entretanto, Machado (2012) estudando a eficiência agrônômica do superfosfato triplo revestido com polímero na cultura do milho, sob sistema de plantio direto na região do Alto Paranaíba em Minas Gerais, não observou diferença significativa para fitomassa seca total das plantas quando aplicado o fertilizante com polímero e o STP convencional.

Para a altura de plantas também foram observados maiores valores quando utilizado os tratamentos mineral com polímero e OM Torta + SH (Tabela 4), sendo os valores de máxima resposta observados quando se utilizou a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> do Mineral com polímero e 177 kg ha<sup>-1</sup> de OM Torta + SH (Figura 3C).

Contudo, Tiritan et al. (2010) avaliando a produção de matéria seca do milho em função da adubação fosfatada mineral e organomineral, sob aplicação de diferentes dosagens,

verificaram que houve maior crescimento das plantas de milho quando utilizado o fertilizante mineral super-simples em relação ao organomineral Biofós.

TABELA 4. Massa seca da parte aérea (g), Altura (cm), Área foliar (cm<sup>2</sup>), Diâmetro de colmos (mm) em plantas de milho submetidas a diferentes fertilizantes e doses de N (kg ha<sup>-1</sup>), aos 60 dias após o plantio.

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Fonte						
	OM Torta	OM Biochar	OM Torta + SH	Torta	Mineral	Mineral c/ pol	Biochar
<b>Massa seca da parte aérea (MSPA) (g)</b>							
0	0,63						
60	18,42 a*	15,75 a*	19,05 a*	9,15 b*	17,96 a*	14,73 a*	3,16 c
120	28,36 b*	26,05 b*	28,47 b*	4,28 c	28,68 b*	33,38 a*	7,87 c*
180	29,79 a*	29,27 a*	29,52 a*	8,73 c*	30,88 a*	30,77 a*	13,66 b*
240	31,05 a*	29,94 a*	34,86 a*	11,26 c*	20,46 b*	31,94 a*	21,40 b*
Média	26,9	25,25	27,97	8,35	24,5	27,7	11,52
<b>Altura de planta (cm)</b>							
0	57,5						
60	179,50 a*	171,00 a*	173,00 a*	150,25 c*	181,00 a*	163,00 b*	117,67 d*
120	194,67 a*	192,67 a*	194,33 a*	121,33 c*	200,50 a*	194,67 a*	151,33 b*
180	195,67 a*	199,75 a*	200,00 a*	151,25 c*	201,33 a*	204,25 a*	169,00 b*
240	199,33 a*	186,67 b*	206,00 a*	157,00 d*	186,50 b*	204,33 a*	171,33 c*
Média	192,29	187,52	193,33	144,96	192,33	191,56	152,33
<b>Área foliar (cm<sup>2</sup>)</b>							
0	233,13						
60	3890,50 a*	4057,89 a*	4152,01 a*	3511,67 a*	4039,03 a*	3499,11 a*	1612,21 b
120	6396,67 a*	6367,85 a*	5468,08 a*	1757,20 b*	5793,11 a*	6296,71 a*	2441,73 b*
180	6974,89 a*	6652,48 a*	6156,29 b*	2398,47 d*	5848,72 b*	7127,74 a*	4257,46 c*
240	7443,89 a*	6082,56 b*	7792,83 a*	3520,67 d*	5592,82 c*	6820,02 b*	5247,60 c*
Média	6176,49	5790,19	5892,55	2797	5318,42	5935,89	3389,75
<b>Diâmetro de colmos (mm)</b>							
0	3,94						
60	16,49 a*	14,74 a*	16,08 a*	12,48 b*	16,17 a*	15,37 a*	10,17 c*
120	19,90 a*	19,69 a*	19,48 a*	13,07 b*	19,13 a*	19,98 a*	13,58 b*
180	20,33 a*	20,92 a*	21,03 a*	13,70 c*	20,74 a*	20,64 a*	15,97 b*
240	22,59 a*	21,20 b*	23,74 a*	14,78 c*	20,25 b*	21,30 b*	19,73 b*
Média	19,83	19,14	20,08	13,51	19,07	19,32	14,86

MSPA - DMSDunett: 6,64; CV (%): 15,03. **Altura de plantas** - DMSDunett: 17,14; CV (%): 4,66. **Área foliar** - DMSDunett: 1452,32; CV (%): 14,17. **Diâmetro de colmo** - DMSDunett: 2,66; CV (%): 7,23.

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância. \*Diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Avaliando-se a variável área foliar das plantas de milho, os melhores resultados foram observados quando se utilizou os fertilizantes OM Torta e OM Torta + SH (Tabela 4). Para estes tratamentos, observou-se incrementos quadráticos para essa variável com pontos de máxima resposta nas doses de 208 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante OM Torta e 258 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante OM Torta + SH, com valores correspondentes a 7465 e 7478 cm<sup>2</sup>, nesta ordem (Figura 3D).

Quanto ao diâmetro de colmo, observa-se que os tratamentos OM Torta e OM Torta + SH foram os que possuíram maior incremento para esta variável (Tabela 4). Pela equação quadrática apresentada, observa-se que as doses de 193 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante OM Torta com 22,5 mm e 210 kg ha<sup>-1</sup> do OM Torta + SH com 23,17 mm foram as que obtiveram maiores valores de diâmetro de colmo coletados nas plantas de milho estudadas (Figura 3B).

Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira (2016), onde avaliando o efeito de fontes de matéria orgânica utilizadas para produção de fertilizantes organominerais e os efeitos destes fertilizantes na cultura do sorgo, verificou resultados superiores na MSPA, área foliar e diâmetro de colmo quando utilizado o fertilizante organomineral a base de torta-de-filtro comparado ao fertilizante mineral aos 60 DAS.

Diferentemente destes resultados encontrados, Valderrama et al. (2011) avaliando o efeito de doses e fontes de N, P e K, revestidas ou não com polímeros, nos componentes de produção da cultura de milho irrigado na região de Cerrado, não verificaram diferença significativa para a altura de plantas e diâmetro de colmo das plantas de milho quando feita a comparação entre as duas fontes citadas.

Melo et al. (2015) estudando o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho em resposta à aplicação de diferentes tipos e concentrações de ácidos húmicos via tratamento de semente, constataram incrementos significativos na altura de plantas, diâmetro de caule e MSPA quando utilizado a extratos húmicos isolados através de esterco bovino. Este resultado corrobora para o estudo apresentado, onde o incremento de substâncias húmicas no fertilizante organomineral trouxe benefícios diretos sobre os fatores de crescimento e desenvolvimento das plantas de milho. Este maior desenvolvimento pode estar relacionado ao aumento da absorção de nutrientes causado pela influência das substâncias húmicas na permeabilidade da membrana celular através da ação das substâncias húmicas na ativação de H<sup>+</sup>-ATPase na membrana plasmática (CANELLAS et al., 2005).

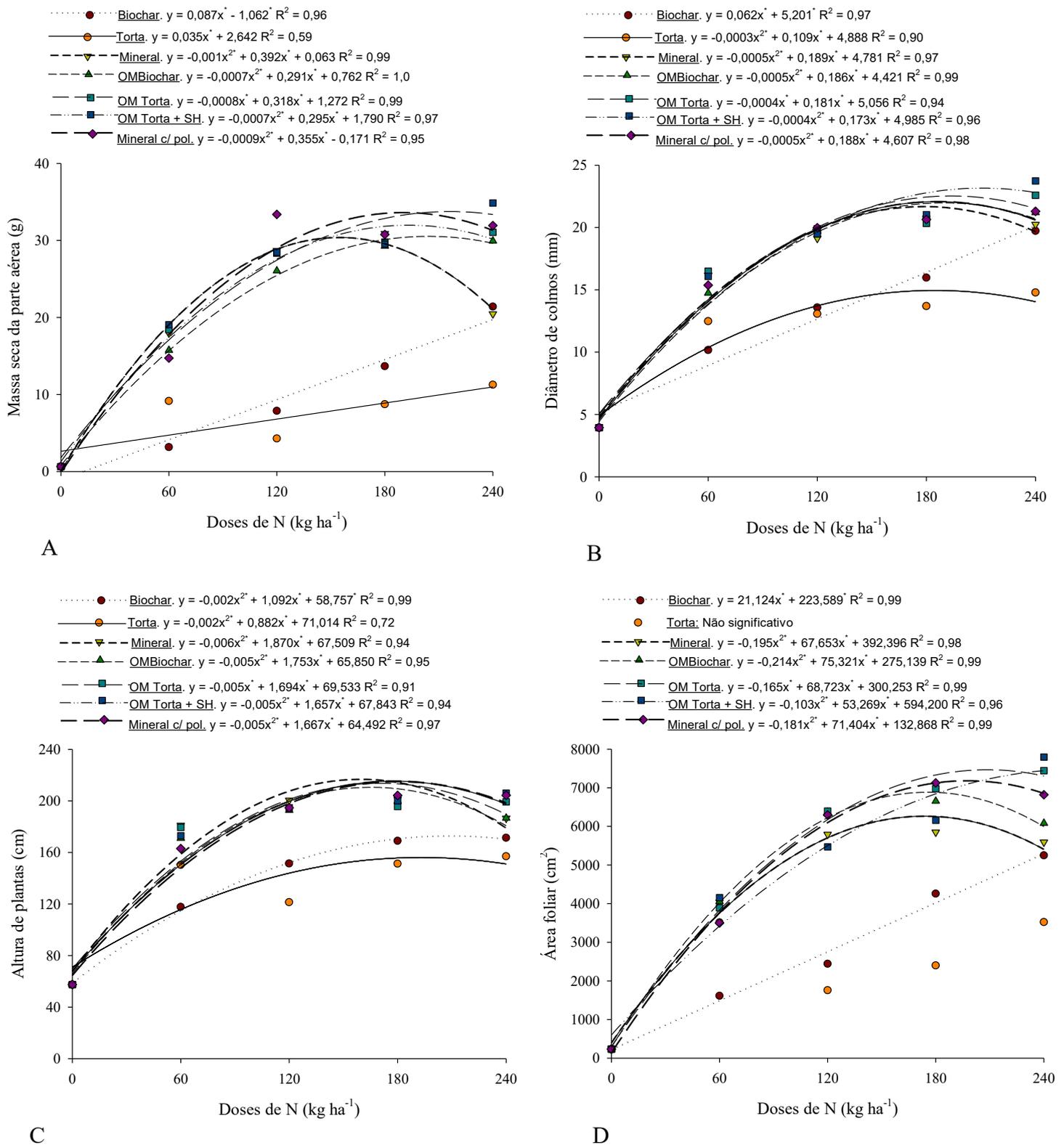


FIGURA 3. Matéria seca da parte aérea (g) (A); Diâmetro de colmo (mm) (B); Altura (cm) (C) e Área foliar (cm<sup>2</sup>) (D) em plantas de milho submetidas a diferentes fertilizantes e doses de N (kg ha<sup>-1</sup>), aos 60 dias após o plantio.

Para as porcentagens observadas com base na equação “Eq<sub>Ad.Mineral</sub>” relativo aos valores equivalentes de cada produto em relação ao fertilizante mineral, observou-se uma maior eficiência para os tratamentos OM torta, OM biochar, OM torta + SH e mineral com polímero. Para os fertilizantes torta e biochar foi observado uma redução na eficiência quando comparado ao fertilizante mineral (Tabela 5).

TABELA 5. Equivalência e eficiência dos diferentes tipos de adubos testados comparados com a adubação mineral padrão.

Fonte	Equivalente em adubo mineral* (%)	Eficiência (%)
OM Torta	118,97	18,97
OM Biochar	115,71	15,71
OM Torta + SH	126,04	26,04
Torta	37,40	-62,60
Mineral c/ pol	122,70	22,70
Biochar	67,49	-32,51

\*Cálculos realizados segundo equação de eficiência (Eq<sub>Ad.Mineral</sub>) baseada nas doses aplicadas do fertilizante mineral.

Para as variáveis relacionadas ao acúmulo de N, P e K acumulados na parte aérea das plantas aos 60 DAP foi observado efeito significativo da interação entre os fatores, ou seja, houve influência da dose aplicada, em diferentes magnitudes, sobre os efeitos das fontes testadas. Assim, pode-se inferir que, independente do tratamento estudado, houve acréscimo de N, P e K acumulado nas plantas à medida que se aumentou a dose aplicada dos fertilizantes (Tabela 6).

Para o nitrogênio e potássio acumulados, observou-se que os fertilizantes OM Torta, OM Biochar, OM Torta + SH e Mineral com polímero, na dose de 240 kg ha<sup>-1</sup>, foram os que apresentaram melhores resultados (Tabela 6).

Para todos os tratamentos citados, houve acréscimos lineares no Nitrogênio acumulado na parte aérea, sendo que a cada 10 kg de nutriente aplicado no solo houve um aumento de 38,9; 38,1; 41,5 e 36,4 mg vaso<sup>-1</sup> de nitrogênio para os tratamentos OM Torta, OM Biochar, OM Torta + SH e Mineral com polímero, respectivamente (Figura 4C).

Em compensação, Machado et al. (2013) avaliando a eficiência agrônômica de fontes de fertilizantes nitrogenados convencionais e revestidos com polímeros na cultura do milho não detectou diferenças significativas entre essas duas fontes de fertilizantes utilizadas.

TABELA 6. Nitrogênio, Potássio e Fosforo acumulado na parte aérea de plantas de milho (mg vaso<sup>-1</sup>) submetidas a diferentes fertilizantes e doses de N (kg ha<sup>-1</sup>), aos 60 dias após o plantio.

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Fonte						
	OM Torta	OM Biochar	OM Torta + SH	Torta	Mineral	Mineral c/pol	Biochar
<b>N acumulado (mg vaso<sup>-1</sup>)</b>							
0	12,47						
60	330,72 a*	263,06 a*	349,42 a*	244,31 a*	383,73 a*	292,71 a*	83,19 b
120	582,56 a*	641,14 a*	639,11 a*	111,71 b*	750,85 a*	721,19 a*	206,56 b
180	809,59 a*	783,00 a*	843,16 a*	226,79 b*	825,62 a*	817,50 a*	341,46 b*
240	941,50 a*	897,15 a*	1011,09 a*	284,66 c*	570,61 b*	842,08 a*	514,54 b*
Média	666,09	646,09	710,69	216,87	632,7	668,37	286,44
<b>K acumulado (mg vaso<sup>-1</sup>)</b>							
0	35,1						
60	492,60 a*	469,88 a*	614,71 a*	390,61 a*	547,13a*	530,79 a*	135,60 b
120	951,06 b*	1008,48b*	985,04 b*	192,36 c	1133,73a*	1248,06 a*	366,47 c*
180	1271,78 a*	1194,63 a*	1310,55 a*	427,51 c*	1427,15a*	1267,00 a*	679,87 b*
240	1442,12 a*	1353,67 a*	1592,15 a*	564,17 c*	982,53 b*	1469,64 a*	1071,08b*
Média	1039,39	1006,66	1125,61	393,66	1022,63	1128,87	563,26
<b>P acumulado (mg vaso<sup>-1</sup>)</b>							
0	10,67						
60	7,86 c	96,71 a*	102,41 a*	55,37 b*	81,07 a*	89,82 a*	20,27 c
120	106,30 b*	104,35 b*	119,69 b*	23,84 c	138,10 a*	145,47 a*	40,87 c
180	133,80 b*	118,21 b*	134,47 b*	40,62 d	170,64 a*	147,03 b*	73,74 c*
240	168,43 a*	143,96 b*	187,07 a*	47,61 d	121,03 c*	188,36 a*	111,54 c*
Média	104,1	115,81	135,91	41,86	127,71	142,67	61,6

**N acumulado** - DMSDunett: 198,78; CV (%): 17,91. **K acumulado** - DMSDunett: 266,81; CV (%): 14,64. **P acumulado** - DMSDunett: 40,43; CV (%): 19,05.

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância. \*Diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Já para o potássio acumulado na parte aérea, constatou-se que a cada 10 kg de nutriente aplicado no solo houve um aumento de 59,8; 56,0; 63,6; 60,0 mg vaso<sup>-1</sup> de potássio para os tratamentos OM Torta, OM Biochar, OM Torta + SH e Mineral com polímero, respectivamente (Figura 4B).

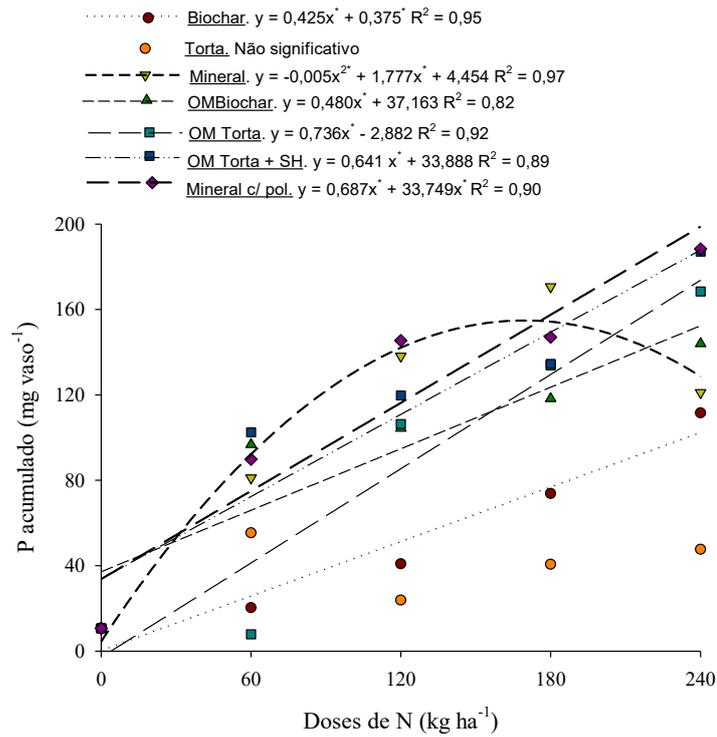
Diferentemente dos resultados obtidos, Bley (2015) em seu estudo avaliando a eficácia de um fertilizante potássico revestido com polímero comparado a aplicação do KCl convencional sobre a nutrição das plantas de milho em dois tipos de solo (arenoso e argiloso), verificou que

independente do solo e doses utilizadas, houve maior absorção de potássio pelas plantas quando aplicado o tratamento convencional em relação ao tratamento com KCl revestido.

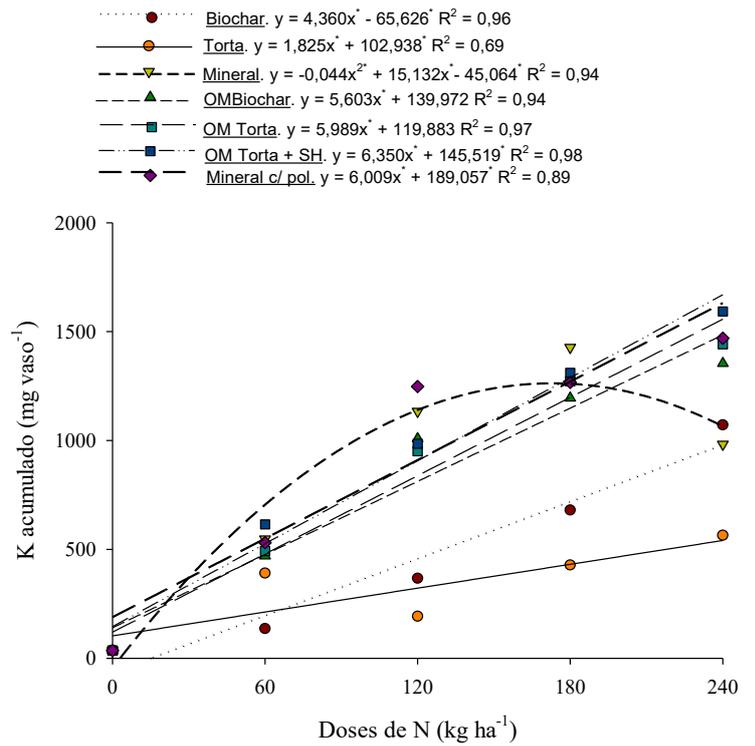
Quando analisado o fósforo acumulado nas plantas de milho, verificou-se que os fertilizantes OM Torta, OM Torta + SH e Mineral com polímero, nas doses de 240 kg ha<sup>-1</sup>, foram os que apresentaram maiores valores quando comparado aos demais (Tabela 6). Para esta variável, verificou-se acréscimos lineares à medida que se aumentou a dose aplicada no solo, sendo que a cada 10 kg de nutriente aplicado houve um aumento de 7,3; 6,4; 6,8 mg vaso<sup>-1</sup> de fósforo para as respectivas fontes citadas (Figura 4A).

Entretanto, Gazola et al. (2013) estudando o efeito residual de doses de P e de formas de fosfato monoamônio convencional e revestido por diferentes polímeros, nos componentes de produção da cultura de milho, verificaram que as formas de fosfato monoamônio (MAP) não diferiram, significativamente, para teor foliar de P. Segundo o mesmo autor, este fato pode estar relacionado a não liberação gradual do fósforo dos grânulos revestidos.

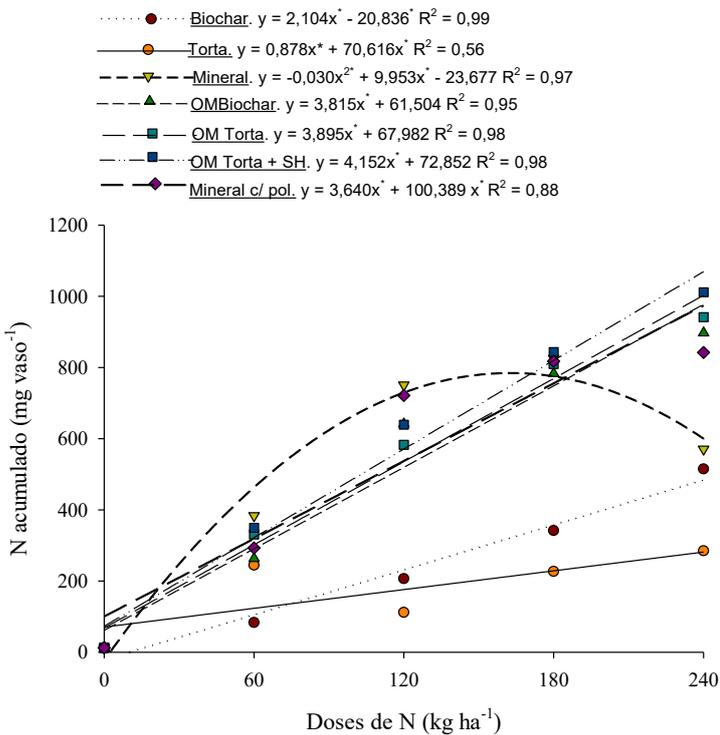
Eyheraguibel et al. (2014) analisando os efeitos fisiológicos da aplicação de ácidos húmicos no crescimento e desenvolvimento de plantas de milho sob condições hidropônicas, detectaram que a aplicação dos extratos húmicos melhorou a captação de K e P e aumentou de forma significativa a absorção de N pela planta, proporcionando maiores concentrações destes nutrientes na parte aérea das plantas quando comparado ao tratamento controle (sem aplicação). Segundo Pinton et al. (1999) os efeitos benéficos das substâncias húmicas na nutrição das plantas estão vinculados pela promoção do maior desenvolvimento das raízes. Além disto, as substâncias húmicas proporcionam o aumento da emergência de raízes laterais na planta, o que induz a produção de raízes secundárias menores, porém mais ramificadas, melhorando assim a absorção de nutrientes pela planta (CANELLAS et al., 2002; HARTWIGSEN et al., 2000). Com isso, a maior acumulação de N, P e K pela parte aérea do milho quando aplicado o tratamento OM Torta + AO pode estar relacionado a melhor eficiência de absorção destes nutrientes devido a adição dos ácidos orgânicos ao fertilizante organomineral.



A



B



C

FIGURA 4. Fósforo (A); Potássio (B) e Nitrogênio (C) acumulado na parte aérea de plantas de milho (mg vaso<sup>-1</sup>) submetidas a diferentes fertilizantes e doses de N (kg ha<sup>-1</sup>), aos 60 dias após o plantio.

Quanto às porcentagens observadas com base na equação “Eq-Nutr. acumulado” representando os teores de nutrientes recuperados do solo e acumulados na parte aérea das plantas, observou-se uma maior eficiência de recuperação de fósforo para os tratamentos OM Torta + AO e OM Biochar e Mineral com polímero. Já para o potássio, os tratamentos OM Torta, OM Biochar, OM Torta + SH, Mineral com polímero e Biochar foram os que obtiveram os melhores resultados (Tabela 7).

TABELA 7. Percentual de nutriente recuperado do solo e translocado para parte aérea das plantas de milho.

Fonte	Fosforo recuperado / translocado (%)	Potássio Recuperado / translocado (%)
OM Torta	7,3	65,14
Om Biochar	6,17	61,04
OM Torta + SH	8,16	72,09
Torta	1,06	30,62
Mineral	5,1	43,86
Mineral c/ pol	8,22	66,41
Biochar	3,73	63,95

\*Cálculos realizados segundo equação de nutriente recuperado (Eq-Nutr.recuperado) baseada nas fontes de fertilizantes aplicados.

De maneira geral, no estudo para os teores de fosforo e potássio residuais presentes no solo após a retirada das plantas de milho, constatou-se aumentos significativos destas variáveis à medida que se aumentou as doses das fontes aplicadas (Tabela 8). Houve também, para as duas variáveis citadas, interação significativa entre os fatores dose e fonte de fertilizantes, o que comprova a influência da dose aplicada sobre os efeitos das fontes de fertilizantes.

Para a maioria dos tratamentos estudados, não foi constatada diferença significativa nos teores de fósforo no solo quando comparados a testemunha, com exceção para as doses de 120 kg ha<sup>-1</sup> da Torta de filtro e nas doses de 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> do tratamento Biochar (Tabela 8).

Pode-se inferir também que os melhores resultados para o teor residual de fósforo no solo foram observados quando aplicados os fertilizantes orgânicos a base de torta de filtro e Biochar. Para o fertilizante composto orgânico a base de Torta de Filtro, houve um incremento quadrático significativo de fosforo no solo até o ponto máximo na dose de 137 kg ha<sup>-1</sup>, com seu valor correspondente a 36,23 mg dm<sup>3</sup>. Já para o Biochar, o maior valor para esta variável foi observado quando aplicado a dose 240 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que a cada 10 kg de fertilizante aplicado, houve um incremento de 1,1 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo no solo (Figura 5A).

O maior teor de fósforo residual no solo advindo da aplicação dos fertilizantes orgânicos pode ser explicado pela diminuição da adsorção deste elemento nos coloides do solo proporcionado pela aplicação da matéria orgânica. Machado et al. (2006) afirmam que a aplicação de resíduos orgânicos tem a capacidade de repor de maneira constante ácidos orgânicos no solo. Por sua vez, estes são responsáveis por restringir a adsorção de P através do bloqueio dos sítios de adsorção deste nutriente. Segundo os autores, este efeito é influenciado também pela concentração do P no resíduo orgânico, onde concentrações abaixo de 0,2% de P total, a imobilização do P da solução torna-se maior que a mineralização do P orgânico.

TABELA 8. Teores de P e K no solo em função da aplicação de doses crescentes de N (kg ha<sup>-1</sup>) através da aplicação de diferentes fertilizantes.

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Fonte						
	OM Torta	OM Biochar	OM Torta + SH	Torta	Mineral	Mineral c/ pol	Biochar
<b>P no solo (mg dm<sup>-3</sup>)</b>							
0	1,38						
60	4,50 a	2,00 a	4,60 a	10,43 a	2,53 a	7,65 a	21,33 a
120	16,47 b	9,90 b	5,90 b	47,40 a*	5,77 b	9,70 b	22,67 b
180	22,67 a	9,43 a	16,13 a	20,43 a	11,68 a	11,10 a	24,03 a*
240	18,00 b	16,63 b	10,07 b	15,38 b	10,68 b	15,43 b	35,80 a*
Média	15,41	9,49	9,18	23,41	7,66	10,97	25,96
<b>K no solo (mg dm<sup>-3</sup>)</b>							
0	17,00						
60	16,25 b	22,25 b	21,25 b	86,00 a	15,75 b	29,25 b	102,00a*
120	34,00 c	33,67 c	36,25 c	242,67 a*	43,67 c	35,67 c	179,25b*
180	142,00 b*	120,33 b*	128,67 b*	274,67 a*	124,75 b*	92,33 b*	253,50a*
240	211,25 b*	224,00 b*	151,25 c*	376,00 a*	210,00 b*	168,75 c*	403,50a*
Média	100,88	100,06	84,35	244,83	98,54	81,50	234,56

**P no solo** - DMS<sub>Dunnet</sub>: 21,83; CV (%): 73,55. **K no solo** - DMS<sub>Dunnet</sub>: 69,28; CV (%): 25,19.

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

\*Diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Quanto aos teores de potássio residuais no solo, observou-se que independente do tratamento utilizado, houve incrementos lineares no teor deste elemento com o uso de maiores dosagens dos fertilizantes aplicados no solo (Figura 5B).

Quando comparado a testemunha, observa-se que a partir da dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> aplicada, ocorreu diferença significativa para os teores de potássio no solo para todos os fertilizantes aplicados, exceto para os tratamentos onde foram aplicados os tratamentos à base de composto orgânico Biochar e Torta de filtro, onde mesmo com a aplicação em menores dosagens foi constatado resultados superiores ao controle (Tabela 8).

Observa-se que os melhores resultados para o teor de potássio nos solos foram obtidos quando aplicado os tratamentos Torta e Biochar, sendo que a cada 10 kg de nutriente aplicado no solo, teve um acréscimo de 15,4 mg dm<sup>-3</sup> para o Biochar e 15,11 mg dm<sup>-3</sup> para o tratamento Torta (Figura 5B).

A maior concentração de potássio no solo em resposta a aplicação de fertilizantes à base de compostos orgânicos puros pode ser justificada pela retenção do potássio na forma trocável proporcionada pelo complexo argila-humus e pelo aumento da CTC do solo (MALAVOLTA, 1981). Aliado a isto, o fato de o potássio ser um cátion monovalente faz com que o mesmo seja mais facilmente substituído nos processos de retenção do solo, assim, o íon K<sup>+</sup>, normalmente absorvido nos minerais e na matéria orgânica do solo, tem menor perda em solos com maior concentração de matéria orgânica (MEURER, 2006).

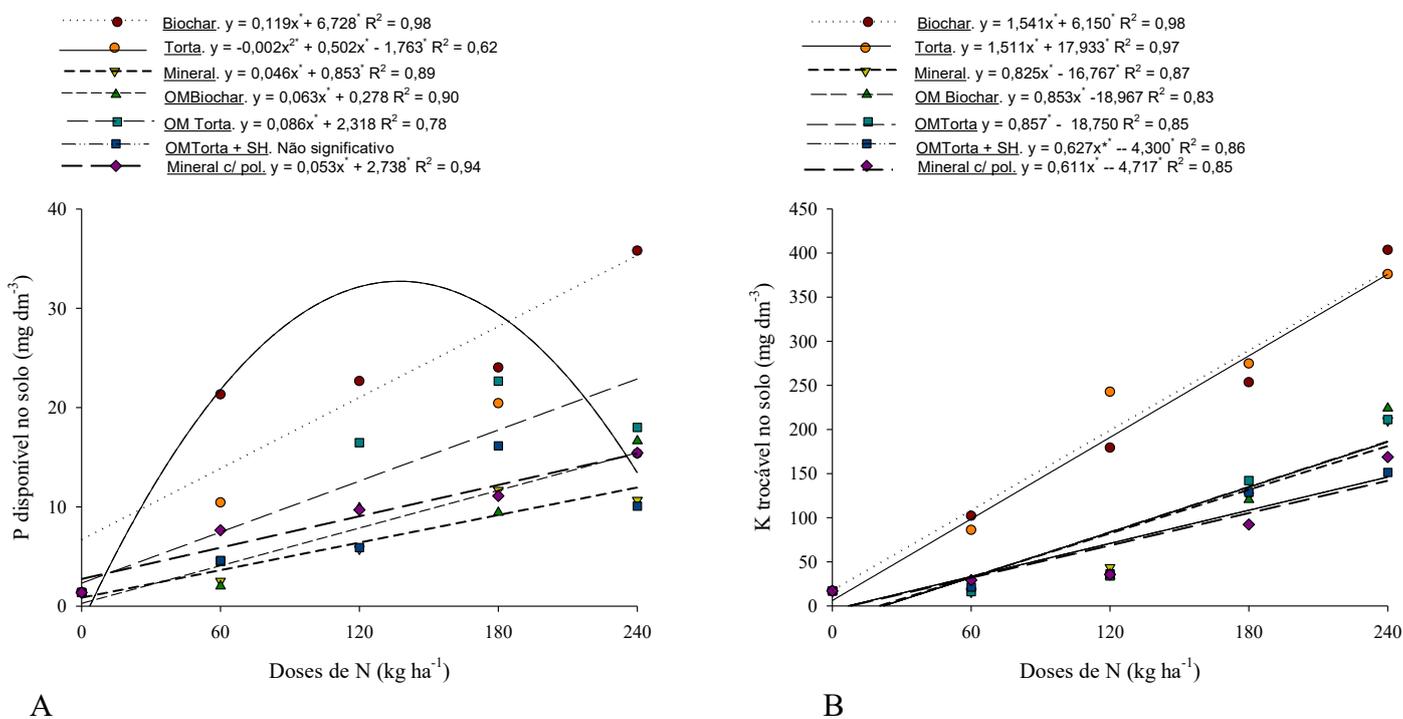


FIGURA 5. Teores de Fósforo (Mehlich -1) (A) e Potássio (B) no solo (mg dm<sup>-3</sup>) em função da aplicação de doses crescentes de N (kg ha<sup>-1</sup>) através de diferentes fertilizantes.

Resultados semelhantes ao desta pesquisa foram obtidos por Junior et al. (2011), onde estudando o efeito de diferentes doses de fertilizantes orgânico e mineral na cultura da cana-de-açúcar e nos atributos químicos do solo, verificaram incrementos expressivos nos teores de P dos solos quando comparado ao uso do fertilizante mineral, indicando assim a eficiência do composto

em suprir P no solo. O mesmo ocorreu para o K do solo, onde as doses crescentes de Torta proporcionaram incrementos significativos nos teores deste elemento no solo.

### 3 CONCLUSÕES

Os fertilizantes Mineral com polímero e OM Torta + SH e OM Torta foram mais eficientes em aumentar o crescimento das plantas de milho.

O fertilizante OM Torta + SH mostrou-se mais eficiente na cultura do milho, podendo substituir o fertilizante mineral e apresentar até 26% a mais de eficiência na produção de massa seca de plantas.

Houve maior acúmulo dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea das plantas de milho quando aplicado os fertilizantes OM Torta + SH, Mineral com polímero e OM Torta.

Os tratamentos à base de Torta de filtro e Biochar obtiveram melhores resultados para o teor de fósforo e potássio residual no solo.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os dados apresentados, pode-se observar que houve maior eficiência agronômica dos fertilizantes organominerais e mineral com polímero em relação ao mineral convencional na cultura do milho com destaque para o fertilizante OM Torta + SH que apresentou uma eficiência de 26,04%. Estes resultados confirmam a proposta de que a proteção contra os fatores de perda e a liberação gradual oferecida por esses fertilizantes tem papel fundamental nestes resultados encontrados. Com isso, pode-se dizer que estratégias voltadas para a aplicações de menores dosagens destes fertilizantes podem ser utilizadas no campo sem risco de perdas de produtividade e com manutenção da rentabilidade pelo produtor.

A melhor eficiência observada no tratamento onde foi adicionado ácido húmico aos fertilizantes organominerais pode ser explicada pelo efeito direto destas substâncias no metabolismo das plantas, proporcionando uma melhora no sistema de absorção dos nutrientes pelas mesmas.

A menor eficiência agronômica observadas na aplicação dos compostos orgânicos a base de torta de filtro e biochar podem ser explicadas pela redução da mineralização destes materiais no solo e conseqüente não liberação dos nutrientes para as plantas devido ao pouco tempo de condução do experimento realizado nos vasos. Estes resultados nos sinalizam que estudos futuros com a utilização de cultivos sucessivos são necessários para se explicar melhor a dinâmica da aplicação de compostos orgânicos no solo e o fornecimento de nutrientes para as plantas.

Analisando o percentual de fósforo e potássio recuperado do solo e translocado para a parte aérea das plantas de milho, pode-se observar que os tratamentos OM Torta + SH e mineral com polímero se destacaram perante os demais. Esta maior eficiência pode ser explicada devido redução da fixação do fósforo e lixiviação do potássio proporcionada pela proteção advinda dos fertilizantes especiais testados e também pela liberação gradual dos nutrientes presentes nestes.

## REFERÊNCIAS

- ANDA. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. (CD-ROM). 2009.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (Brasil). **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo, 2009. 1 CD-ROM.
- ALMEIDA, T.; POCOJESKI, E.; NESI, C.N.; OLIVEIRA, J. P. M.; SILVA, L. S. Eficiência de fertilizante fosfatado protegido na cultura do milho. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 17, n.1, p.29-35, 2016. DOI:  
<https://doi.org/10.5380/rsa.v17i1.46173>
- BENITES, V. N.; CORREA, J. C.; MENEZES, J. F. S.; POLIDORO, J. C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. **Anais[...]**. Guarapari: FertBio, 2010, p. 1-4.
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; H. Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Hangzhou, v. 32, p. 921–950, 2001. DOI:  
<https://doi.org/10.1081/CSS-100104098>
- BLEY, H. **Liberção, nutrição de plantas e lixiviação de potássio de fertilizante revestido**. 2015. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Porto Alegre, 2015.
- BULL, L. T. **Influência da relação K (Ca+Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosas forrageiras**. Tese (Doutorado em Agonomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, Piracicaba, 1986.
- CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. **Humosfera**: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes: UENF, 2005. 309 p.
- CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; FAÇANHA, A. L. O.; FAÇANHA, A. R. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence and plasma membrane H<sup>+</sup>- ATPase activity in maize root. **Plant Physiology**. Campos dos Goytacazes, v. 130, p. 1951–1957, 2002. DOI:  
<https://doi.org/10.1104/pp.007088>
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para agropecuária**. Brasília: Conab, 2018. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-agropecuaria/item/download/22780\\_ee707c6e6d44f06fe7b6a86ce6141652](https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-agropecuaria/item/download/22780_ee707c6e6d44f06fe7b6a86ce6141652).
- EYHERAGUIBEL, B.; SILVESTRE, J.; MORARD, P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. **Bioresource Technology**, Elsevier, v. 99, p. 4206-4212, 2008. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.082>
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Informação Tecnológica, 2009. p. 1-628.

EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa de solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 1997. P. 1-212.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. DOI:  
<https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

JUNIOR, A. B. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOBRAL, M. F.; SILVA, F. B. V.; GOMES, W. A. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-acucar fertilizada com torta de filtro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Dourados, v. 15, n. 10, p. 1004–1013, 2011. DOI:  
<https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001000003>

GAZOLA, M. R. N.; BUZETTI, S.; DINALLI, R. P.; FILHO, M. C. M. T.; CELESTRINO, T. S. Efeito da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.6, p. 876-884, 2013. DOI:  
<https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000600016>

GEODERT, W. J.; SOUZA, D. M. G.; REIN, T. A. **Princípios metodológicos para avaliação agrônômica de fontes de fosforo**. Planaltina, DF: EMBRAPA, 1986, 23 p. (Documentos, 22)

HARTWIGSEN, J. A. EVAN, M. R. Humic acids seed and substrate treatments promote seedling root development. **HortScience**, Alexandria, v. 35, p. 1231– 1233, 2000. DOI:  
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.7.1231>

MACHADO, V. J. **Resposta da cultura do milho aos fertilizantes fosfatados e nitrogenados revestidos com polímeros**. 2012. Dissertação (Mestrado em solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H.; LANA, R. M. Q.; SILVA, A. A.; RIBEIRO, V. J. Produtividade da cultura do milho em função de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Verde**, Mossoró, v. 8, n. 5, p. 93 - 104, 2013.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola; adubos e adubação. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. p. 1-607.

MELO, R. O.; BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Desempenho inicial do milho em resposta a ácidos húmicos isolados de esterco bovino e cama aviário. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, p. 1863-1874, 2015. DOI:  
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3Sup1p1863>

MEURER, E. J. **Potássio**. In: FERNADES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 282-295.

NANNIPIERI, P.; MUCCINI, L.; CIARDI, C. Microbial biomass and enzyme activities: production and persistence. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 15, p. 679-685, 1983. DOI:  
[https://doi.org/10.1016/0038-0717\(83\)90032-9](https://doi.org/10.1016/0038-0717(83)90032-9)

NÓBREGA, I. P. C. **Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de Carbono no solo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Técnica de Lisboa, 2011.

NORUSIS, M. **SPSS 16.0 statistical procedures companion**, Prentice Hall Press, 2008.

OLIVEIRA, D. P. **Fontes de matéria orgânica para a formulação de fertilizantes organominerais peletizados no desenvolvimento da cultura do sorgo**. 2016. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

PINTON, R.; CESCO, S.; LACOLETTIG, G.; ASTOLFI, S. C.; VARANINI, Z. Modulation of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> uptake by water-extractable humic substances: Involvement of root plasma membranes H<sup>+</sup> ATPase. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 215, p. 155–161, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1004752531903>

POLIDORO, J. C. **Fertilizantes organominerais: aspectos mercadológicos e tecnológicos – rede fertBrasil**. In: V FÓRUM ABISOLO. Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. 2013.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; **Substâncias húmicas aquáticas: interações com espécies metálicas**. São Paulo: UNESP, 2003. p. 1-120.

SOUSA, R. T. X.; HENRIQUE, H. M.; KORNDÖRFER, G. H. **Teste de performance em híbridos de Milho com uso de Geofert em Santana de Vargem - MG**. Empresa Geociclo, Minas Gerais. 10p, 2012. Disponível em: [http://www.geociclo.com.br/wpcontent/uploads/2012/07/Lamina-Geofert\\_MILHO.pdf](http://www.geociclo.com.br/wpcontent/uploads/2012/07/Lamina-Geofert_MILHO.pdf) Acesso em: 02/07/2014.

STEENWERTH, K. L.; JACKSON, L. E.; CALDERON, F. J.; SCOW, K. M.; ROLSTON, D. E. Response of microbial community composition and activity in agricultural and grassland soils after a simulated rainfall. **Soil Biology & Biochemistry**, New York, v. 37, p. 2249-2262, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.02.038>

TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H.; BORDINI, R. A.; FOLONI, J. S. S.; ONISHI, R. Y. Produção de matéria seca de milho em função da adubação fosfatada mineral e organomineral. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 6. n. 1. p. 01-07, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5747/ca.2010.v06.n1.a044>

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K. Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility, **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 327, p. 235-246, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x>

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; FILHO, M. C. M. T. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5216/pat.v41i2.8390>