



ALAN DHAN COSTA LIMA

**FERTILIZANTE MINERAL MISTO “FORMULADO”
(08 – 28 – 16) REVESTIDO COM ENRAIZADOR, POLÍMERO
ORGÂNICO E MICRONUTRIENTES NA CULTURA DO
MILHO**

**LAVRAS-MG
2021**

ALAN DHAN COSTA LIMA

**FERTILIZANTE MINERAL MISTO “FORMULADO” (08 – 28 – 16) REVESTIDO COM
ENRAIZADOR, POLÍMERO ORGÂNICO E MICRONUTRIENTES NA CULTURA DO
MILHO**

**“FORMULATED” MIXED MINERAL FERTILIZER (08 - 28 - 16) COATED WITH ROOT,
ORGANIC POLYMER AND MICRONUTRIENTS IN MAIZE CROP**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de graduação em Agronomia, para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva – DCS/UFLA
Orientador

Ms. César Ferreira Santos – DCS/UFLA
Coorientador

**LAVRAS-MG
2021**

ALAN DHAN COSTA LIMA

FERTILIZANTE MINERAL MISTO “FORMULADO” (08 – 28 – 16) REVESTIDO COM ENRAIZADOR, POLÍMERO ORGÂNICO E MICRONUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO

“FORMULATED” MIXED MINERAL FERTILIZER (08 - 28 - 16) COATED WITH ROOT, ORGANIC POLYMER AND MICRONUTRIENTS IN MAIZE CROP

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de graduação em Agronomia, para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovado em 31 de março de 2021

Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva, UFLA

Me. César Ferreira Santos, UFLA

Dr. Wantuir Filipe Teixeira Chagas, Externo

Dr. Taylor de Lima Souza, Externo

Me. Leonardo Fernandes Sarkis, UFLA

Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva – DCS/UFLA
Orientador

Ms. César Ferreira Santos – DCS/UFLA
Coorientador

**LAVRAS-MG
2021**

À Deus pelas oportunidades concedidas, minha família e minha filha Giovanna, razão do meu viver.

DEDICO

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pelas oportunidades que me são concedidas, sabedoria, persistência, empenho e dedicação alcançados para chegar até aqui.

Aos meus pais Waldir, Evandeir e Rosana que me apoiaram, sempre estiveram comigo durante minha caminhada e me estenderam a mão diante dos tropeços da vida.

À minha noiva Flávia e minha filha Giovanna que me dão forças e estímulo a sempre seguir em frente, dedicar-me afincamente e buscar por ser melhor a cada dia.

À minha família, tios, primos e irmãos que sempre me apoiaram.

Aos amigos que sempre estiveram comigo, em especial ao Leandro e Lucas, que estão sempre dispostos a ajudar e compartilhar um ombro amigo.

Aos meus amigos de alojamento que me apoiaram em momentos difíceis, me ofereceram conselhos e contribuíram para o desenvolvimento dos meus trabalhos durante a graduação.

Aos meus professores que me forneceram o conhecimento necessário para que eu pudesse alcançar meus objetivos, serei eternamente grato, em especial ao professor Douglas que me acompanhou durante toda a graduação, forneceu grande auxílio para condução deste trabalho e pelos conhecimentos compartilhados.

Meu eterno agradecimento ao professor Alfredo Scheid Lopes (in memoriam) por todos os ensinamentos prestados, pela paciência, serenidade e humildade quando era recebido por ele.

Aos meus colegas de trabalho do departamento de Ciência do Solo, em especial ao César, Wantuir, Ana Paula, André Baldansi, Leonardo Sarkis e Maycool Faria, que contribuíram grandiosamente para que esse trabalho se concretizasse. Ao Taylor, Leandro, Rúbio e todos os amigos de laboratório pela companheirismo e apoio na condução de diversos trabalhos de pesquisa.

Ao Departamento de Ciência do Solo e seus laboratoristas e colaboradores por disponibilizar laboratórios e reagentes para as análises necessárias.

Ao Aviário Santo Antônio por ceder a área e colaborar para realização do experimento.

“Nada se consegue sem esforço próprio e sem
uma dedicação à prova de fraquezas”
(Carlos Bernardo González Pecotche)

RESUMO

Otimizar o desenvolvimento radicular e a disponibilidade de nutrientes é determinante para o sucesso da produção e maiores ganhos econômicos. Assim, objetivou-se avaliar o efeito do fornecimento de fertilizante mineral misto formulado tratado com enraizador, polímero orgânico e micronutrientes no desenvolvimento da cultura do milho. O experimento foi realizado no município de Luminárias-MG na segunda safra, no período de março a julho de 2018. Foi utilizado delineamento experimental em blocos casualizados com 3 repetições contendo os seguintes tratamentos: T1: 08-28-16; T2: 08-28-16 + 2,0% de polímero orgânico adesivo + 1,5% de polímero orgânico pó selante; T3: 08-28-16 + 2,0% de polímero orgânico adesivo + 1,5% de Zn + 0,4% de B + 1,5% de polímero orgânico pó selante; T4: 08-28-16 + 2,0% de enraizador + 1,5% de polímero orgânico pó selante; T5: 08-28-16 + 2,0% de enraizador + 1,5% de Zn + 0,4% de B + 1,5% de polímero orgânico pó selante; T6: 08-28-16 + 2,0% de enraizador; T7: 08-28-16 + 2,0% de enraizador + 1,5% de Zn + 0,4% de B e CONTROLE: Sem aplicação de fósforo. Cada parcela experimental foi composta por 5 linhas com 5m de comprimento, sendo as 3 linhas e os 3m centrais de cada linha considerados como área útil. Os tratamentos foram aplicados na dose de 400 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, no sulco de semeadura. No estágio V8 foram colhidas 10 plantas de cada parcela para a determinação da massa seca de raiz e de parte aérea. A produtividade (kg.ha⁻¹) foi estimada a partir de 15 plantas colhidas por parcela, sendo 5 plantas por linha útil. Todos os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de SkottKnott a 5% de significância através do SISVAR 5.3. A altura de plantas e massa seca da parte aérea no estágio fenológico V8 foram maiores para os tratamentos em que se adicionou alguma das tecnologias ao fertilizante, diferindo estatisticamente dos tratamentos T1 (convencional) e Controle, que obtiveram menores resultados. Os maiores valores de massa seca de raiz no estágio fenológico V8 foram para os tratamentos T7, T3, T5, T4 e T6, que não diferiram entre si, no entanto, a diferença foi significativa em relação aos tratamentos T1, T2 e Controle, os quais foram menores. A produtividade de grãos e a produção final de massa seca da parte aérea não apresentaram diferenças estatísticas, bem como para os índices de eficiência agrônômica (IEA) e eficiência agrônômica relativa (IEAR). Os resultados do presente trabalho indicam que os fertilizantes revestidos com polímero orgânico, micronutrientes e/ou enraizador promovem maior desenvolvimento inicial da cultura, porém sem reflexos significativos na produtividade.

Palavras-chave: Fertilizante de eficiência aprimorada. Desenvolvimento radicular. Revestimento de fertilizantes. Micronutrientes. *Zea mays* L.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estádios fenológicos da cultura do milho	16
Figura 2: Betoneira de mesa AG MAC. Fonte: AG MAC	27
Figura 3: Esquema do recobrimento do fertilizante NPK com micronutrientes	28
Figura 4: Altura de plantas de milho no estágio fenológico V8, após aplicação de fertilizantes fosfatados. PA= Polímero Orgânico Adesivo; PS= Polímero Orgânico Pó Selante; ER= Enraizador.	32
Figura 5: Massa seca de parte aérea das plantas de milho no estágio fenológico V8, após aplicação do fertilizante fosfatado. PA= Polímero Orgânico Adesivo; PS= Polímero Orgânico Pó Selante; ER= Enraizador.	34
Figura 6: Massa seca de raiz de plantas de milho no estágio fenológico - V8, após aplicação de fertilizantes fosfatados. PA= Polímero Orgânico Adesivo; PS= Polímero Orgânico Pó Selante; ER= Enraizador.	35
Figura 7: Produção de massa seca da parte aérea de plantas de milho no momento da colheita, após aplicação do fertilizante fosfatado. PA= Polímero Orgânico Adesivo; PS= Polímero Orgânico Pó Selante; ER= Enraizador.....	37
Figura 8: Produtividade de grãos de milho corrigido para 13% de umidade, após aplicação de fertilizantes fosfatados. PA= Polímero Orgânico Adesivo; PS= Polímero Orgânico Pó Selante; ER= Enraizador.	38
Figura 9: Índice de Eficiência Agronômica (IEA) do fertilizante fosfatado (tratamento controle), após aplicação dos tratamentos. PA= Polímero Orgânico Adesivo; PS= Polímero Orgânico Pó Selante; ER= Enraizador.....	40
Figura 10: Índice de Eficiência Agronômica Relativa (IEAR) do fertilizante fosfatado em relação ao convencional, após aplicação dos tratamentos. PA= Polímero Orgânico Adesivo; PS= Polímero Orgânico Pó Selante; ER= Enraizador.	41
Figura 11: Distribuição do fertilizante no sulco onde será realizado o plantio.	46
Figura 12: Imagem da área onde foi realizado o experimento, dias após o plantio.	46
Figura 13: Milho em estágio fenológico V3, momento da realização da adubação de cobertura.	47
Figura 14: Imagem da área do experimento com o milho em estágio fenológico V3, momento da adubação de cobertura.	47

Figura 15: Área experimental no momento da adubação de cobertura.	48
Figura 16: Imagem dos tratamentos: à esquerda Controle e à direita T3 (08-28-16 + Polímero adesivo + Zn e B + Pó selante).	49
Figura 17: Imagem dos tratamentos: à esquerda Controle e à direita T4 (08-28-16 + Enraizador + Pó Selante).....	50
Figura 18: Imagem dos tratamentos: à esquerda Controle e à direita T5 (08-28-16 + Enraizador + Pó selante).	51
Figura 19: Imagem dos tratamentos: à esquerda Controle e à direita T6 (08-28-16 + Enraizador).	52
Figura 20: Imagem dos tratamentos: à esquerda Controle e à direita T7 (08-28-16 + Enraizador + Zn e B).....	53
Figura 21: Desenvolvimento das plantas 40 dias após plantio.....	53
Figura 22: Espiga de milho no estágio reprodutivo R1.....	54
Figura 23: Lavoura no estágio reprodutivo R1.....	54
Figura 24: Imagem do milho, próximo ao momento da colheita.	54
Figura 25: Colheita experimento.	55
Figura 26: Preparo das espigas para estimar a produtividade de grãos.	55
Figura 27: Imagem da embalagem do enraizador, explicitando as garantias do produto, fornecidas pelo fabricante. Produto em teste.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise química e física do solo em diferentes profundidades.	21
Tabela 2: Caracterização química do polímero orgânico adesivo.	24
Tabela 3: Caracterização química do polímero orgânico pó selante.	25
Tabela 4: Caracterização química do enraizador utilizado, de acordo com as garantias fornecidas pelo fabricante.....	26
Tabela 5: Concentração de aminoácidos no polímero orgânico.....	29
Tabela 6: Concentração de ácidos orgânicos e açúcares no polímero orgânico.....	29

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1.	Cultura do milho no Brasil.....	13
2.2.	A cultura do milho	14
2.3.	Sistema radicular do milho:	16
2.4.	Recobrimento de fertilizantes	17
3.	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1.	Caracterização da área experimental:	19
3.2.	Clima.....	20
3.3.	Solo	20
3.4.	Semeadura	22
3.5.	Manejo realizado na área experimental	22
3.5.1.	Herbicidas	22
3.5.2.	Adubações complementares via solo e folha e inseticidas	22
3.5.3.	Fungicidas	22
3.6.	Unidades experimentais	23
3.7.	Caracterização do polímero utilizado	23
3.7.1.	Polímero orgânico adesivo.....	24
3.7.2.	Polímero orgânico pó selante.....	25
3.7.3.	Enraizador	26
3.8.	Tratamento do fertilizante	27
3.8.1.	Adição de micronutrientes e aminograma dos polímeros utilizados:	27
3.9.	Altura de plantas, massa seca de raiz e da parte aérea no estágio V8.....	30
3.10.	Massa seca da parte aérea e produtividade de grãos de milho.....	30
3.11.	Índices de eficiência.....	30
3.11.1.	Índice de Eficiência Agronômica.....	30
3.11.2.	Índice de eficiência agronômica relativa	31
3.12.	Análise estatística.....	31
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1.	Parâmetros produtivos	31

4.1.1.	Altura de plantas	31
4.1.2.	Massa seca de parte aérea	33
4.1.3.	Massa seca de raíz.....	35
4.1.4.	Massa seca de parte aérea e produtividade	36
4.2.	Índices de eficiência.....	39
4.2.1.	Índice de Eficiência Agronômica (IEA)	39
4.2.2.	Índice de Eficiência Agronômica Relativa (IEAR)	40
5.	CONCLUSÃO	42

FERTILIZANTE MINERAL MISTO “FORMULADO” (08 – 28 – 16) REVESTIDO COM ENRAIZADOR, POLÍMERO ORGÂNICO E MICRONUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura (FAO) a população deve chegar a 9 bilhões de pessoas em 2050, resultando em uma crescente demanda por alimentos no mundo. Assim torna-se importante a produção de alimentos saudáveis, em quantidade e qualidade para atender essa crescente demanda e que ainda preserve a fauna e flora nacional.

Nesse sentido, a cultura do milho possui papel muito importante por ser um alimento amplamente difundido, além de matéria prima para produção de etanol, condimentos e ingredientes de diversos pratos da culinária mundial e um dos principais ingredientes para alimentação animal.

O recobrimento de fertilizantes tem um papel fundamental no aumento da eficiência produtiva das culturas, uma vez que grande parte das fontes convencionais de nitrogênio, fósforo e potássio são perdidos, principalmente, por volatilização, desnitrificação, imobilização pelos coloides do solo (problema agravado em solos altamente intemperizados) e lixiviação, além da disponibilização desses nutrientes visando a sincronização ao requerimento pela planta, otimizando a eficiência dessas fontes (REETZ, 2016). Contamos ainda com a possibilidade de adicionar juntamente ao recobrimento do fertilizante fontes de micronutrientes, que por serem requeridos em pequenas quantidades ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$) pelas plantas apresentam obstáculos na sua aplicação à campo, como segregação e desuniformidade de distribuição na área (Lopes, 1999). Aliado a tecnologia de recobrimento de fertilizantes, torna-se possível associar outros compostos que contribuem para o maior desenvolvimento da planta, como carbono orgânico e hormônios. Contudo eficácia dessas tecnologias tem sido contestada em condições de campo, pois podem variar de acordo com os diversos tipos de solo, clima e manejo (Sousa et al., 2016).

De acordo com Borém et.al., 2017, aproximadamente 75% das raízes do milho encontram-se na camada superficial do solo (0-20 cm), deste modo, sob condições

climáticas desfavoráveis, como longos períodos sem chuva, podem comprometer a absorção de água e nutrientes pela planta prejudicando seu desenvolvimento, podendo comprometer a produtividade final da cultura. Assim substâncias bioestimulantes como os aminoácidos, prontamente disponíveis às plantas, em níveis equilibrados e quantidades específicas ao longo do ciclo da cultura promovem diversos estímulos, atuando como amenizadores de estresse, síntese de ATP, fornecimento de nutrientes, moduladores hormonais, estimulantes do desenvolvimento radicular e parte aérea, otimizam a absorção de nutrientes e atuam no metabolismo secundário das plantas (mecanismos de defesa).

Neste contexto, associado à importância do pleno desenvolvimento do sistema radicular, com a capacidade de absorção de água, nutrientes e a eficiência da utilização dessas fontes pela cultura do milho no seu desenvolvimento inicial, para o sucesso produtivo da cultura, bem como a maior produção final de matéria seca, objetivou-se com este trabalho, avaliar o desenvolvimento inicial, a produtividade de milho e produção de massa seca, como também índices de eficiência agrônômica do fertilizante mineral misto “formulado” 08-28-16 revestido com polímero orgânico, enraizador e alguns micronutrientes na cultura do milho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cultura do milho no Brasil

Dentre os grãos cultivados no mundo, o milho se destaca com a maior área de cultivo e segunda maior cultura de importância na produção agrícola brasileira. É superado apenas pela soja que lidera a produção de grãos no país, sendo que, na safra 2018/2019 a produção foi de 100,04 milhões de toneladas (CONAB, 2020). Esta cultura está presente na história do Brasil desde os primórdios do descobrimento, sendo cultivado por tribos indígenas das regiões Centro-Oeste e possui tradição na culinária brasileira com pratos como a pamonha, o curau, o mingau e a pipoca. Apresenta uma ampla utilização fazendo parte da alimentação humana através de fubás, amido, farinhas, canjicas, óleo, creme, espiga assada ou cozida, quitandas, aromas e essências, dentre outros. Na alimentação animal é um ingrediente primário da elaboração de rações para mamíferos e aves na forma de fubá, quirela, milho rolão (com sabugo), silagem, dentre outros. Na

indústria, com a produção de adesivos, embalagens biodegradáveis, cervejas e refrigerantes e do etanol, principalmente no Centro-oeste brasileiro.

No cenário mundial, o Brasil se encontra como 3º maior produtor com 100,04 milhões de toneladas, atrás de China com 257,3 milhões de toneladas e Estados Unidos da América (EUA), que lidera este ranking com 364,3 milhões de toneladas e 2º maior exportador dessa commodity com 39,7 milhões de toneladas exportadas, atrás apenas dos EUA com 52,5 milhões de toneladas exportadas. (USDA) dados da safra de 2018/2019.

2.2. A cultura do milho

O milho é uma monocotiledônea pertencente à família Poaceae, do gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L., por evidências arqueológicas foi constatado seu centro de origem sendo o México. Por meio de seleção humana o teocinto, ancestral do milho, deu origem ao milho que conhecemos hoje.

É uma planta alógama, ou seja, possui fecundação cruzada, anemófila (sua polinização ocorre principalmente pelo vento) e protrândrica (o órgão sexual masculino se torna ativo primeiro, em relação ao feminino). É uma planta fotossinteticamente eficiente (planta C4) e possui uma alta adaptabilidade devido as suas características botânicas e fisiológicas e é cultivado em diversas regiões do país e do mundo, sob diferentes condições de temperatura, fotoperíodo, pluviosidade, tratamentos culturais, fertilidade do solo, pragas e doenças, com isso torna-se importante o desenvolvimento de técnicas que atendam diversos sistemas produtivos, ou condições de cultivo diversificadas, favorecendo o incentivo a pesquisa e viabilizando a comercialização de produtos mais eficientes.

Apesar de possuir uma grande adaptação a diversas localidades e condições climáticas, o milho é altamente exigente em temperatura, com faixa ideal entre 24 a 30°C. Temperaturas inferiores a 19°C reduzem o metabolismo e crescimento da planta e inferiores a 10°C afetam a germinação e fotoperíodo, fator este que determina as épocas de plantio nas regiões produtoras. A cultura do milho é uma planta C4, apresentando assim alta eficiência na assimilação de carbono devido à grande concentração da enzima PEPcase que resulta em maior atividade da enzima RUBISCO, responsável pela produção de fotoassimilados a partir de cadeias carbônicas e água. A pluviosidade durante o

desenvolvimento da cultura é determinante para sua produtividade, pois a cultura apresenta períodos críticos durante o desenvolvimento inicial até 7ª e 8ª folha e 15 dias antes e após o florescimento. O consumo médio ideal está em torno de 600 mm por ciclo e a altitude ideal de cultivo situa-se entre 720 a 1100 m (Magalhães e Durães, 2006).

Assim o cultivo do milho 2ª safra (que compreende os plantios realizados a partir do final de janeiro até meados de março para a região sul de Minas), apresenta um risco maior quando comparado ao milho da safra verão, que compreende os plantios a partir de 15 de outubro até 15 de dezembro. Esse risco está relacionado a maior possibilidade de ocorrência de veranicos prolongados e geadas, menor radiação solar (dias mais curtos), maior pressão de patógenos e temperaturas amenas. Porém, mesmo com os riscos, o cultivo de milho 2ª safra vem aumentando e já ultrapassa 70% da área plantada com a cultura (CONAB, 2020), devido à crescente produção de soja associado ao vazio sanitário imposto pelo governo aos produtores da leguminosa, como técnica de manejo para redução ou erradicação do inóculo da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) e ao sistema de produção em que o milho é cultivado após a colheita da soja, como manejo de rotação de culturas.

O milho é dividido em diferentes estádios fenológicos para maior precisão na determinação do estágio de desenvolvimento da cultura, que norteiam os tratos culturais a serem adotados em cada uma dessas etapas. A divisão de estádios mais comumente utilizada foi criada por Ritchie (2003), e é baseada em estágio vegetativo (V) subdivididos numericamente em V1, V2, V3, Vn em que “n” representa o número de folhas completamente expandidas (que apresentam lígula e bainha), sendo o primeiro VE (emergência) e o último VT (pendoamento). No estágio reprodutivo (R), subdivididos em 6 etapas, sendo elas, R1 que compreende o florescimento, R2 fase de grão leitoso (85% de umidade), R3 grão pastoso (80% de umidade), R4 grão farináceo (70% de umidade), R5 grão farináceo duro (55% de umidade) e R6 maturidade fisiológica (aparecimento da camada negra no ponto de incisão do grão à espiga, compreende em torno de 30 a 37% de umidade).

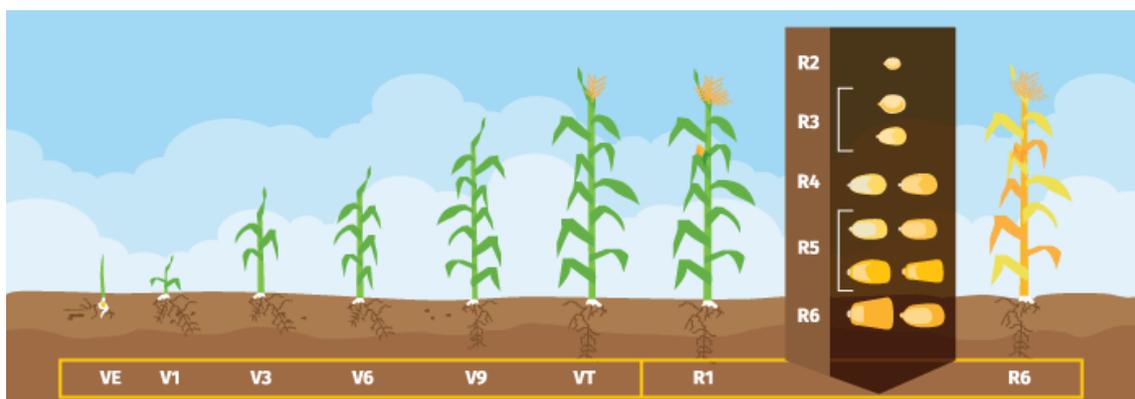


Figura 1: Estádios fenológicos da cultura do milho

Fonte: Pioneer sementes

2.3. Sistema radicular do milho:

O desenvolvimento radicular é essencial para o adequado desenvolvimento das plantas, apresentando uma relação intrínseca entre a profundidade de enraizamento, vigor da planta e produtividade (MATHIUE citado por SIQUEIRA et.al., 1997).

A radícula é responsável pelo estabelecimento inicial do milho, inicialmente é envolta por uma película protetora, denominada coleorriza, embora a radícula seja capaz de se desenvolver até 11 cm por dia, trabalhos demonstram que mais comumente, em condições de campo, são encontradas taxas entre 1 a 4 cm por dia, posteriormente desenvolvem-se as raízes seminais ou primárias, que apresentam pouca ramificação e são responsáveis pela nutrição da planta até o estabelecimento do sistema radicular definitivo, ambos são originadas da semente e interrompem seu desenvolvimento no estágio vegetativo 3 (V3) (BORÉM, A. et al., 2017).

O sistema radicular secundário se desenvolve a partir do 4º ao 6º nó abaixo da superfície do solo e no estágio vegetativo 6 (V6) se torna o principal responsável pela nutrição da planta, até este estágio é considerado o período crítico para estabelecimento da cultura e do sistema radicular no campo.

As raízes adventícias se desenvolvem no final do ciclo vegetativo (em torno de V12), a partir dos nós acima da superfície do solo e sua principal função é a sustentação da planta, podendo em alguns casos absorver água e nutrientes da superfície do solo.

Aproximadamente 75% das raízes encontram-se na camada superficial do solo (0-20 cm). Deste modo sob condições climáticas desfavoráveis, como longos períodos sem chuva, podem comprometer a absorção de água e nutrientes pela planta prejudicando seu desenvolvimento.

Hoje em dia, o melhoramento busca por híbridos tolerantes a seca, que além de apresentarem uma maior eficiência na utilização da água, tenham um desenvolvimento radicular morfológicamente e anatomicamente diferentes que favoreçam a colonização pelas raízes nas camadas sub-superficiais do solo.

A maior exploração do solo pelas raízes favorece a absorção de água e nutrientes, reduzindo os estresses causados por escassez hídrica, elevando o desempenho da planta e maior eficiência das adubações à campo, tendo reflexos positivos em produtividade da cultura.

2.4. Recobrimento de fertilizantes

Os níveis de extração de N, P, K para a cultura do milho a partir de médias encontradas por 6 autores apresentam valores de 24,3; 10 e 23,9 kg.t⁻¹, respectivamente. Com relação a exportação de nutrientes, tomados a partir da média de 8 fontes de pesquisa demonstraram que os valores de exportação de nutrientes médios são 16,1; 7,5 e 5,6 kg.t⁻¹, para N, P e K, respectivamente (RESENDE et al, 2012). Contudo tem se observado adubações a partir de fontes desses nutrientes superiores, em alguns casos, aos níveis de exportação da cultura, isso se deve à ineficiência das fontes utilizadas, nível de fertilidade, aspectos físicos e aspectos físico-químicos dos solos cultivados, além de relações desses fatores aos nutrientes e suas fontes.

Com isso, a indústria de fertilizantes vem buscando melhorias das características físicas, químicas e físico-químicas de seus produtos, visando a maior eficiência no uso dos nutrientes contidos nesses fertilizantes. E como tecnologia para elevar a eficiência das fontes convencionais de nutrientes, como a ureia ((NH₂)₂CO), o cloreto de potássio (KCl), o fosfato monoamônio (MAP), fosfato diamônico (DAP) e super fosfato simples (SS) por exemplo, utiliza-se o recobrimento desses fertilizantes, que além de tecnologias de revestimentos que visam a otimização da utilização desses nutrientes pelas plantas, podem ser adicionados micronutrientes e fitormônios no processo industrial.

A fonte de nitrogênio mais utilizada é a ureia, devido ao seu baixo custo e seu alto teor de N (44 a 46%), porém o nitrogênio quando aplicado na forma de ureia está susceptível a diversas perdas no sistema, seja por lixiviação, volatilização ou imobilização.

Este nutriente é requerido em grandes quantidades pela cultura do milho. Os índices de exportação variam de 0,8 a 1,4 kg de nitrogênio por hectare por saca de 60 kg produzida (Resende et al., 2012), assim, se torna um excelente veículo para micronutrientes, fitormônios, aminoácidos, dentre outros produtos que se fazem necessários ao sistema produtivo, promovendo maior uniformidade de distribuição que resulta em maior controle das doses de ingrediente ativo a ser utilizado na área.

O potássio, utilizado em sua maioria na forma de cloreto de potássio (KCl – 60% de K₂O), por sua vez pode ser perdido principalmente por lixiviação, devido sua carga iônica ser inferior à de outros nutrientes como cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) que, por sua vez são inferiores à do alumínio (Al³⁺) (tóxico para raízes das plantas), sobretudo em solos bem drenados e/ou de baixa CTC (Raij, 1991 e WERLE, 2008).

Já o fósforo (P) apresenta problemas de adsorção (fixação) por ligações específicas nos coloides do solo, principalmente por meio de ligações bidentadas, sendo mais acentuado em solos com mineralogia 0:1 (óxidos de ferro e alumínio) e mais argilosos. Contudo em solos com presença de matéria orgânica, os ácidos orgânicos competem pelos sítios de adsorção, diminuindo a adsorção de P, tornando-o mais disponível para a planta. A aplicação de fósforo no sulco de semeadura tem demonstrado maior eficiência na utilização da fonte desse nutriente, reduzindo a superfície de contato com os coloides do solo, além da baixa movimentação por difusão desse nutriente no solo, aumentando a eficiência no uso do P (Sousa et al., 2016).

Além da utilização do recobrimento dos fertilizantes visando aumentar a eficiência das adubações com N, P e K, é possível utilizar essa tecnologia visando aumentar a eficiência da aplicação de micronutrientes como boro (B), manganês (Mn) e zinco (Zn); cobre (Cu) e molibdênio (Mo) em casos específicos, visto que são utilizadas pequenas doses das fontes desses nutrientes (g.ha⁻¹), reduzindo problemas com a segregação e desuniformidade de distribuição, através da utilização de agentes agregantes com alta superfície específica no recobrimento dos fertilizantes (LOPES, 1999), favorecendo a expressão produtiva da cultura em que se usa esse tipo de tecnologia,

ressalta-se que apesar do termo “micronutrientes”, eles não deixam de ser tão importantes quanto aos “macronutrientes”, a sua falta resulta no comprometimento do desenvolvimento da cultura. Além disso, os micronutrientes contribuem para o enriquecimento nutricional do produto final, visando a nutrição balanceada da população consumidora desses alimentos.

Associado as tecnologias que visam redução de perdas de nutrientes provindos dos fertilizantes convencionais, são inclusos substâncias bioestimulantes como os aminoácidos prontamente disponíveis às plantas, que em níveis equilibrados e quantidades específicas ao longo do ciclo da cultura promovem diversos estímulos, atuando como amenizadores de estresse, explicado pelo fato de grupos específicos de aminoácidos serem usados diretamente na mitocôndria durante o processo de respiração celular, além da oxidação de outros aminoácidos que liberam elétrons diretamente na cadeia transportadora de elétrons contribuindo para a síntese de energia na forma de ATP e atuam como fonte de nutrientes como o enxofre. São moduladores dos níveis hormonais celulares, principalmente pelos aminoácidos triptofano e metionina, precursores dos hormônios auxina (diretamente relacionado a divisão e alongamento celular que promove o desenvolvimento radicular e da parte aérea, além da atuação como principal promotor da dominância apical nas plantas) e etileno, respectivamente. Aminoácidos aromáticos conferem proteção contra o ataque de pragas e doenças por fazerem parte da via de síntese de diversos compostos presentes no metabolismo secundário, como grupos fenólicos que são utilizados muitas das vezes como compostos de defesa das plantas. Ainda, os aminoácidos atuam como substâncias orgânicas quelatizantes de cátions e são capazes de aumentar a absorção e o transporte de diferentes nutrientes em todas as partes da planta. (Taiz e Zeiger, 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental:

O experimento foi realizado em uma fazenda de produção de grãos, localizada no município de Luminárias-MG (coordenadas geográficas 21° 30' 42" S e 45° 00' 48" W), cultivado em segunda safra entre os meses de março e julho de 2018.

3.2. Clima

O clima da região é do tipo Cwa, temperado húmido, com inverno seco e verão quente, segundo a classificação de Köppen. Temperatura média anual de 20,8°C, com precipitação pluviométrica média de 1.204 mm. A área experimental encontra-se a 959m de altitude.

3.3. Solo

A área em que foi realizado o experimento é cultivada em sistema de plantio direto (SPD), com sucessão de culturas soja/milho ou soja/trigo, o cultivo anterior à implantação do experimento foi soja.

O solo da área experimental foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico (EMBRAPA - SBCs, 2013). Para a caracterização química e textural foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e; 20 a 40 cm (Tabela 1).

Tabela 1: Análise química e física do solo em diferentes profundidades.

Profundidade	pH	K ⁺	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m
Cm	H ₂ O	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³				%		
0-5	6,3	117,62	5,74	5,60	0,72	0,02	1,96	6,62	6,64	8,58	77,17	0,30
5-10	5,2	58,15	19,11	2,10	0,24	0,12	4,32	2,49	2,61	6,81	36,55	4,60
10-20	5,3	67,38	1,40	1,64	0,23	0,07	3,66	2,04	2,11	5,70	35,84	3,32
20-40	5,5	69,43	0,52	1,30	0,18	0,06	3,13	1,66	1,72	4,79	34,61	3,49
0-20	5,52	77,63	6,91	2,74	0,35	0,14	3,4	4,10	3,36	6,69	46,35	2,88
Profundidade	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S	P-rem	M.O.	Argila	Silte	Areia	
Cm	mg dm ⁻³						mg L ⁻¹	dag kg ⁻¹				
0-5	6,75	17,14	28,37	1,33	0,24	25,29	17,14	3,70	34	38	28	
5-10	8,42	13,50	12,16	1,75	0,15	87,59	13,50	2,63	42	31	27	
10-20	1,17	10,75	6,78	1,10	0,16	99,11	10,75	2,19	43	28	29	
20-40	0,56	8,53	3,70	0,76	0,17	95,84	8,53	2,00	44	26	30	
0-20	4,37	13,03	13,52	1,32	0,17	77,77	13,03	2,67	40,5	31,25	28,25	

P-K-Fe-Zn-Mn-Cu – Extrator Mehlich; Ca-Mg-Al – Extrator KCl -1 mol/L; H+Al – Extrator SMP; B – Extrator água quente; S – Extrator Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; %V = Índice de Saturação de Bases; m = Saturação de Alumínio; P(rem) = Fósforo Remanescente; M.O.= matéria orgânica (Oxidação Na₂Cr₂O₇0,57 mol L⁻¹+H₂SO₄ 5mol L⁻¹).

3.4. Semeadura

A semeadura foi realizada utilizando-se o híbrido simples Pioneer P3707 VYH (Viptera®, YieldGard® e Herculex®), em semeadora a vácuo no dia 06/03/2018, com espaçamento entre linhas de 0,5 m e estande final de 60.000 plantas por hectare. Primeiramente a área foi sulcada com o auxílio da mesma semeadora e os fertilizantes distribuídos manualmente e uniformemente em cada uma das 5 linhas constituintes da parcela experimental, e posteriormente foi realizada a semeadura exatamente sobre as linhas onde foram distribuídos os fertilizantes.

3.5. Manejo realizado na área experimental

3.5.1. Herbicidas

Foi realizada aplicação única de herbicida no dia 16/03/2018, com produtos à base de Tembotriona (420g L^{-1}) e Atrazina (500g L^{-1}), na dose de 240 mL ha^{-1} e 4 L ha^{-1} respectivamente.

3.5.2. Adubações complementares via solo e folha e inseticidas

No dia 24/03/2018 (estágio V3) foi realizada a adubação de cobertura com uréia e cloreto de potássio nas doses de 100 kg ha^{-1} de N e 30 kg ha^{-1} de K_2O , respectivamente. Os fertilizantes foram distribuídos manualmente a uma distância de 10 cm da linha de semeadura.

Foi realizada adubação foliar (5% N; 4% S; 5% Mn; 0,3% B; 0,05% Mo e 3% Zn) no dia 23/03/2018 na dose de 2 L ha^{-1} , juntamente com aplicação de inseticida a base de Imidacloprido (100g L^{-1}) + Betaciflutrina ($12,5\text{ g L}^{-1}$), na dose de 750 mL ha^{-1} . Na adubação foliar foram aplicados: 100 g ha^{-1} de N; 80 g ha^{-1} de S; 100 g ha^{-1} de Mn; 6g ha^{-1} de B; 1g ha^{-1} de Mo; 60 g ha^{-1} de Zn.

3.5.3. Fungicidas

As aplicações de fungicida foram realizadas nos dias 21/04/2018 e 05/05/2018. A 1ª aplicação com o uso de fungicida a base de Trifloxistrobina (100g L^{-1}) + Tebuconazol

(200g L⁻¹) e fungicida/acaricida a base de Mancozeb (750 g kg⁻¹), nas doses de 600 mL ha⁻¹ e 2 kg ha⁻¹ respectivamente. Na 2ª aplicação foi utilizado o fungicida a base de Picoxistrobina (200g L⁻¹) + Ciproconazole (80g L⁻¹), na dose de 400 ml.ha⁻¹. Todas as aplicações dos produtos descritos acima foram realizadas por pulverizador auto propelido.

3.6. Unidades experimentais

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados com 3 repetições. Os tratamentos consistiram de 7 fertilizantes minerais mistos, aplicados na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de semeadura: **T1**) 08 – 28 – 16 (Convencional); **T2**) 08 – 28 – 16 + 2,0% de polímero orgânico adesivo (PA) + 1,5% de polímero orgânico pó selante (PS); **T3**) 08 – 28 – 16 + 2,0% de polímero orgânico adesivo (PA) + 1,5% de Zn e 0,4% de B (Micros); 1,5% de polímero orgânico pó selante (PS). **T4**) 08 – 28 – 16 + 2,0% de enraizador (ER) + 1,5% de polímero orgânico pó selante (PS). **T5**) 08 – 28 – 16 + 2,0% de enraizador (ER) + 1,5% de Zn e 0,4% de B (Micros) + 1,5% de polímero orgânico pó selante (PS). **T6**) 08 – 28 – 16 + 2,0% de enraizador (ER). **T7**) 08 – 28 – 16 + 2,0% de enraizador (ER) + 1,5% de Zn e 0,4% de B (Micros) e um tratamento **CONTROLE**, sem aplicação de fósforo.

Em todos os tratamentos foram incluídos 1% de Ca e 2% de S inerentes ao fertilizante 08-28-16. As fontes de boro e zinco utilizadas foram octoborato de sódio (21% de B) e óxido de zinco (50% Zn).

Os sulcos foram abertos a aproximadamente 7 cm de profundidade, os fertilizantes foram distribuídos linha a linha e fechados manualmente, posteriormente realizou-se o plantio exatamente onde foram aplicados os tratamentos com semeadora para plantio direto.

Cada parcela experimental foi composta de 5 linhas com 5m de comprimento. As 3 linhas centrais e os 3m centrais de cada linha foram considerados como área útil.

3.7. Caracterização do polímero utilizado

O chamado kit polímero orgânico (agente adesivo supressor de poeira e agente selante) usado neste experimento é uma inovação, que se trata do processo de produção de revestimento para fertilizantes minerais granulados e outras aplicações. O kit é

composto por dois produtos, sendo o principal, a massa orgânica blindada aniônica, que é um produto que pode se apresentar tanto na forma fluída/viscosa ou na forma pastosa, de acordo com o processo industrial de mistura dos fertilizantes granulados especiais e outras aplicações, denominado polímero orgânico adesivo e o outro seria o polímero orgânico pó selante.

3.7.1. Polímero orgânico adesivo

O polímero orgânico adesivo é preparado com uma porcentagem de polímero orgânico pó, o que contribui para superfície específica estimada de 137 mil m² .kg⁻¹ de produto. Os teores de macro e micronutrientes, carbono orgânico total, pH e densidade do polímero orgânico adesivo são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Caracterização química do polímero orgânico adesivo.

Composição	Valor	Unidade
Carbono Orgânico Total	30,16	%
Matéria orgânica (MO)	56,55	%
Nitrogênio total	1,07	%
Fósforo (P₂O₅)	0,39	%
Potássio (K₂O)	2,6	%
Cálcio	0,8	%
Magnésio	0,09	%
Enxofre	0,05	%
Zinco	31,95	mg kg ⁻¹
Cobre	10,65	mg kg ⁻¹
Manganês	19,17	mg kg ⁻¹
Boro	33,46	mg kg ⁻¹
Ferro	55,38	mg kg ⁻¹
Sódio	660,24	mg kg ⁻¹
Relação C/N	28	-
pH	5,0	-
Densidade	1,28	g cm ⁻³
Superfície específica	137.000	m ² kg ⁻¹

Métodos: pH em CaCl_2 0,01M; Matéria Orgânica Total e Resíduo mineral por combustão em mufla; Potássio(K_2O), cálcio (Ca), magnésio (Mg) por espectrofotômetro de absorção atômica, extraído com HCl 1+1; Nitrogênio total, digestão sulfúrica (Kjeldahl); Carbono por dicromato seguido de titulação; Fósforo (P_2O_5): Extração com HCl 1+1, determinação por espectrofotômetro (leitura no comprimento de onda de 430 nm) pelo método com a solução de vanadomolibdica; Enxofre (S) método gravimétrico do sulfato de bário; Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Sódio (Na) por espectrofotômetro de absorção atômica extraído com HCl 1+1. Boro (B) por espectrofotômetro com Azometina H monossódica. (Ref. Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos. MAPA, 2014).

3.7.2. Polímero orgânico pó selante

O polímero orgânico pó selante, que é utilizado para fabricação do polímero orgânico adesivo e para selagem do revestimento em alguns casos, possui a mesma composição do polímero orgânico adesivo, porém com uma superfície específica mais elevada (Tabela 3).

Tabela 3: Caracterização química do polímero orgânico pó selante.

Composição	Valor	Unidade
Carbono Orgânico Total	21,38	%
Matéria orgânica (MO)	42,07	%
Nitrogênio total	0,19	%
Fósforo (P_2O_5)	0,08	%
Potássio (K_2O)	0,37	%
Cálcio	0,77	%
Magnésio	0,09	%
Enxofre	0,04	%
Zinco	12,65	mg kg^{-1}
Cobre	6,90	mg kg^{-1}
Manganês	81,62	mg kg^{-1}
Boro	10,12	mg kg^{-1}
Ferro	694,37	mg kg^{-1}
Sódio	655,28	mg kg^{-1}
Relação C/N	113	-
pH	8,5	-

Densidade	0,2	g cm^{-3}
Superfície específica	1.703,62	$\text{m}^2 \text{g}^{-1}$

Métodos: pH em CaCl_2 0,01M; Matéria Orgânica Total e Resíduo mineral por combustão em mufla; Potássio(K_2O), cálcio (Ca), magnésio (Mg) por espectrofotômetro de absorção atômica, extraído com HCl 1+1; Nitrogênio total, digestão sulfúrica (Kjeldahl); Carbono por dicromato seguido de titulação; Fósforo (P_2O_5): Extração com HCl 1+1, determinação por espectrofotômetro (leitura no comprimento de onda de 430 nm) pelo método com a solução de vanadomolíbica; Enxofre (S) método gravimétrico do sulfato de bário; Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Sódio (Na) por espectrofotômetro de absorção atômica extraído com HCl 1+1. Boro (B) por espectrofotômetro com Azometina H monossódica. (Ref. Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos. MAPA, 2014).

3.7.3. Enraizador

O polímero enraizador utilizado se trata de um produto que se encontra em fase de testes para disponibilização comercial, a caracterização do produto, de acordo com garantias fornecidas pelo fabricante encontra-se na tabela 4.

Tabela 4: Caracterização química do enraizador utilizado, de acordo com as garantias fornecidas pelo fabricante.

Composição	Valor	Unidade
Carbono Orgânico Total	27	%
Matéria orgânica (MO)	50	%
Nitrogênio total	3,0	%
Fósforo (P_2O_5)	4	%
Potássio (K_2O)	4	%
Cálcio	0,8	%
Magnésio	0,4	%
Enxofre	1	%
Zinco	3	mg kg^{-1}
Cobre	0,4	mg kg^{-1}
Manganês	1	mg kg^{-1}
Boro	1	mg kg^{-1}
Molibidênio	1,2	mg kg^{-1}

Cobalto	0,4	mg kg ⁻¹
Níquel	0,3	mg kg ⁻¹
Aminoácidos	2,8	%
Densidade	1,34	g cm ⁻³
pH	5,5	-

Fósforo em CNA + H₂O; Garantias fornecidas pelo fabricante do produto.

3.8. Tratamento do fertilizante

Para revestimento dos fertilizantes com o kit polímero orgânico usa-se de 1 a 1,5% do polímero adesivo supressor de poeira e a mesma proporção do pó selante para cada tonelada de fertilizante tratado. Primeiramente é adicionado ao fertilizante o polímero orgânico adesivo, e posteriormente adiciona-se o pó selante, que possui elevada superfície específica e elevada densidade de cargas negativas.

3.8.1. Adição de micronutrientes e aminograma dos polímeros utilizados:

A matéria prima 8-28-16 foi adicionada a uma betoneira de mesa da marca AG MAC (figura 2), posteriormente acrescidos os tratamentos na ordem e concentrações mencionados em cada uma das unidades experimentais descritas acima (ítem 3.6).



Figura 2: Betoneira de mesa AG MAC. Fonte: AG MAC

A elevada adesividade do polímero orgânico permite a adição de micronutrientes em pó na mistura de formulados minerais granulados (figura 3), permitindo a produção de fertilizantes granulados especiais, contendo não só micronutrientes, como também matéria orgânica, ácidos orgânicos e aminoácidos. Para análise de ácidos orgânicos, aminoácidos e açúcares, uma amostra do material foi enviada para o Laboratório Eurofins do Brasil Análises de Alimentos Ltda, e os resultados são apresentados nas tabelas 5 e 6.

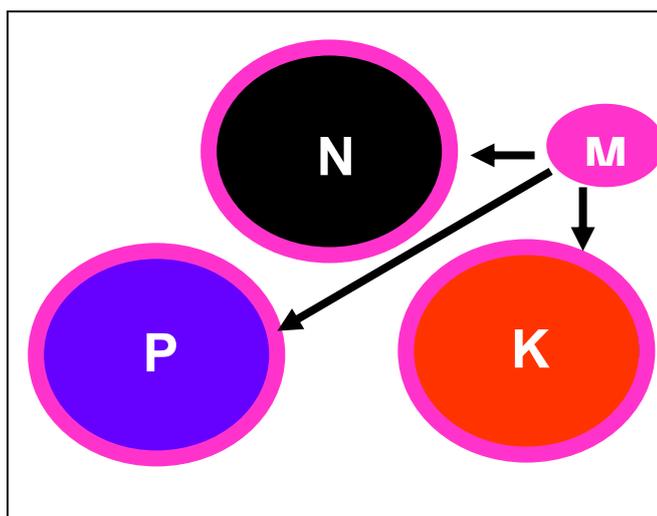


Figura 3: Esquema do recobrimento do fertilizante NPK com micronutrientes

Tabela 5: Concentração de aminoácidos no polímero orgânico.

Aminoácidos	Concentração (g.100g⁻¹)	Aminoácidos	Concentração (g.100g⁻¹)
Alanina	0,207	Omitina	< 0,05*
Arginina	0,239	Fenilalanina	0,211
Ácido glutâmico	0,925	Prolina	0,174
Ácido aspártico	0,510	Serina	0,123
Glicina	0,166	Treonina	0,118
Histidina	0,133	Tirosina	0,194
Hidroxiprolina	< 0,05*	Valina	0,121
Leucina	0,127	Cisteína + Cistina	0,056
Lisina	0,122	Metionina	0,045
Isoleucina	0,090	Triptofano	0,089

* Abaixo do limite de detecção. Metodologia: AMSUR, ISSO 13.903: 2005, EU 152/2009.

Tabela 6: Concentração de ácidos orgânicos e açúcares no polímero orgânico

Ácidos orgânicos¹	Concentração (mg kg⁻¹)	Açúcares²	Concentração (%)
Ácido acético	2000	Frutose	1,53
Ácido butírico	< 300*	Glucose	< 0,15*
Ácido cítrico	29.000	Lactose	<0,15*
Ácido fórmico	< 200*	Maltose	0,46
Ácido láctico	24.000	Sacarose	10,4
Ácido oxálico	160	Açúcares totais	12,39
Ácido propiônico	< 300*		
Ácido pirúvico	< 10*		
Ácido succínico	1.500		

* Abaixo do limite de detecção. ¹Analisado por cromatografia líquida de acordo com metodologia interna do laboratório; ²Metodologia: AOAC 982.14, 1990.

De acordo com os objetivos de uso, o tratamento dos fertilizantes pode ser realizado de diferentes formas. Quando se pretende adicionar micronutrientes no grânulo de fertilizante com o polímero orgânico adesivo, o produto (fertilizante tratado) pode ter ou não a inclusão do polímero pó selante, dependendo do tipo de fertilizante granulado tratado, mas quando se faz o tratamento apenas com o polímero orgânico adesivo, obrigatoriamente deve-se usar o polímero orgânico pó para selagem do revestimento.

3.9. Altura de plantas, massa seca de raiz e da parte aérea no estágio V8

No estágio fenológico V8, 40 dias após a semeadura, foram coletadas 3 plantas representativas de cada parcela experimental, as plantas foram separadas em parte aérea e raiz, foram mensuradas as suas alturas e por média simples determinado a altura média das plantas da respectiva parcela. Posteriormente as plantas foram secas em estufa de circulação forçada a 65°C até peso constante, em seguida mensurado a massa de parte aérea e raiz, determinando-se o peso médio da massa seca de raiz e parte aérea da parcela experimental no estágio fenológico V8.

3.10. Massa seca da parte aérea e produtividade de grãos de milho

Após a colheita do milho, realizada no dia 24/08/18, as espigas de milho foram separadas em grão e parte vegetal. A parte vegetal e os grãos foram secos em estufa com circulação forçada de ar a 65°C. Posteriormente foram pesados para a quantificação da produção de palhada e grãos.

O parâmetro de produtividade (grãos) foi determinado, corrigindo-se a matéria seca para 13% de umidade.

3.11. Índices de eficiência

Na colheita, após a obtenção dos dados de produtividade, foram calculados os seguintes índices de eficiência da adubação fosfatada na cultura do milho:

3.11.1. Índice de Eficiência Agronômica

O índice de eficiência agronômica (IEA) da fonte fosfatada, foi calcula pela seguinte equação (FAGERIA, 1998):

$$IEA = \left(\frac{\text{Prod. da fonte testada } (kg. ha^{-1}) - \text{Produtividade controle } (kg. ha^{-1})}{\text{Dose de P aplicado no sulco de semeadura } (kg. ha^{-1})} \right)$$

3.11.2. Índice de eficiência agrônômica relativa

E o índice de eficiência agrônômica relativa (IEAR) foi calculado com os dados de produtividade, tomando-se como referência a adubação com 08-28-16 convencional como 100% a partir da equação (NOVAIS et al., 2007):

$$IEAR = \left(\frac{\text{Prod. da fonte testada } (kg. ha^{-1}) - \text{Prod. controle } (kg. ha^{-1})}{\text{Prod. form. convencional } (kg. ha^{-1}) - \text{Prod. controle } (kg. ha^{-1})} \right) \times 100$$

3.12. Análise estatística

Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Skott Knott à 5% de significância. A ANOVA foi realizada após a verificação da normalidade (Shapiro – Wilk'stest) e homogeneidade de variância (Teste de Bartlett) dos dados. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa de análise estatística SISVAR 5.3[®] (FERREIRA, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Parâmetros produtivos

A altura de plantas (Figura 4), massa seca de parte aérea (Figura 5) e massa seca de raiz (Figura 6) das plantas de milho, ambos avaliados no estágio fenológico-V8, foram influenciados significativamente ($p \leq 0,05$) pelos tratamentos com fertilizantes fosfatados aplicados na cultura do milho.

4.1.1. Altura de plantas

O maior valor médio de altura de plantas de milho no estágio fenológico V8 foi de 1,36 m com a aplicação dos tratamentos T5; T2; T4; T7; T3 e T6, variando de 1,38 m a 1,33 m, respectivamente. O menor valor médio foi de 1,14 m nos tratamentos Controle (1,13 m) e T1 (1,15 m) (Figura 4).

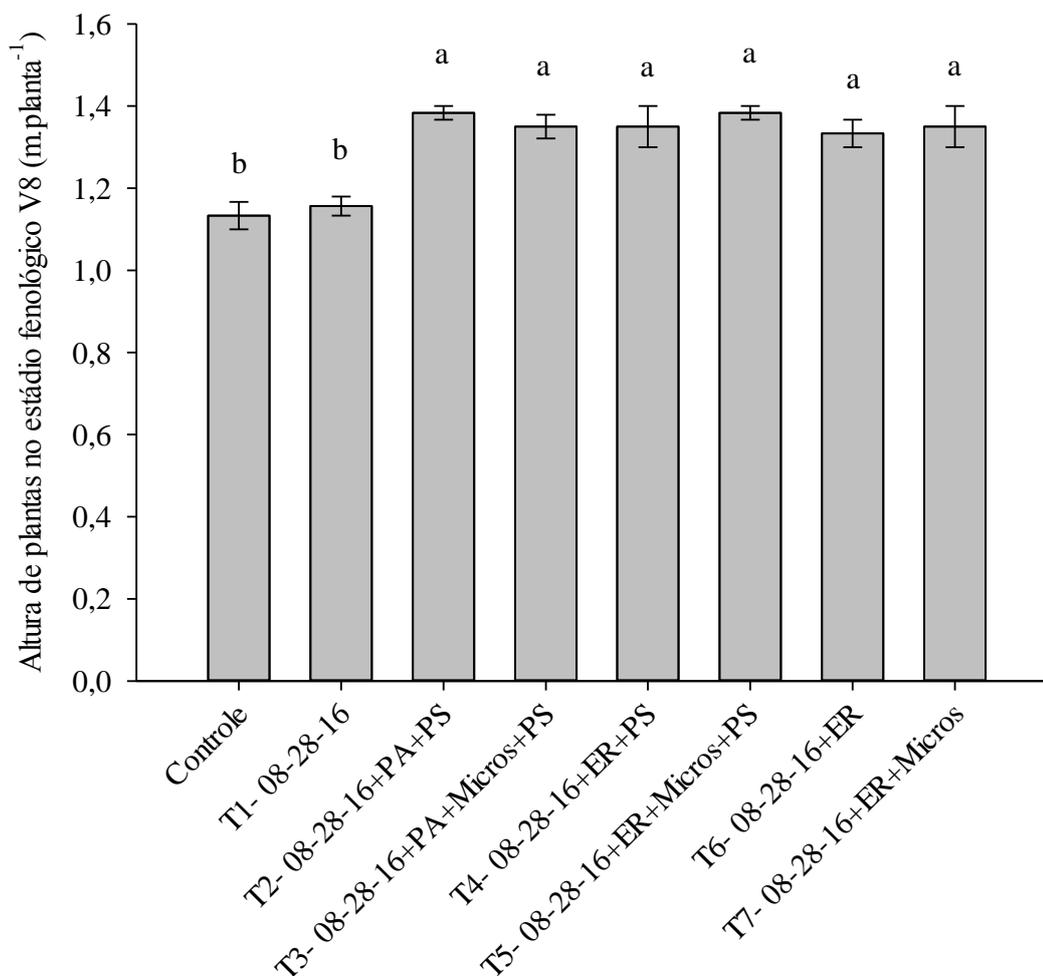


Figura 4: Altura de plantas de milho no estágio fenológico V8, após aplicação de fertilizantes fosfatados. PA= Polímero Orgânico Adesivo; PS= Polímero Orgânico Pó Selante; ER= Enraizador.

O resultado encontrado no presente estudo pode ter sofrido grande influências abióticas, principalmente relacionado a pluviosidade, devido as condições de cultivo do milho segunda safra na região sul de Minas, historicamente acometida por veranicos pronunciados entre os meses de março a setembro, podendo comprometer significativamente o desenvolvimento a produtividade da cultura. Ainda assim podemos

observar um ganho significativo na altura de plantas submetidas aos tratamentos em relação ao controle e a fonte de fósforo isolada, mostrando que houve um ganho significativo no desenvolvimento inicial da cultura do milho submetida aos tratamentos com polímeros, enraizador e/ou micronutrientes.

4.1.2. Massa seca de parte aérea

Para massa seca da parte aérea de plantas de milho (estádio fenológico V8) o maior valor médio foi de 118,8 g.planta⁻¹ com a aplicação dos tratamentos: T5; T7; T4; T2; T3 e T6, diferindo entre 120 g a 117,6 g, respectivamente. O menor valor médio foi de 108,3 g por planta nos tratamentos Controle (107,33 g) e T1 (109,33 g) (Figura 5).

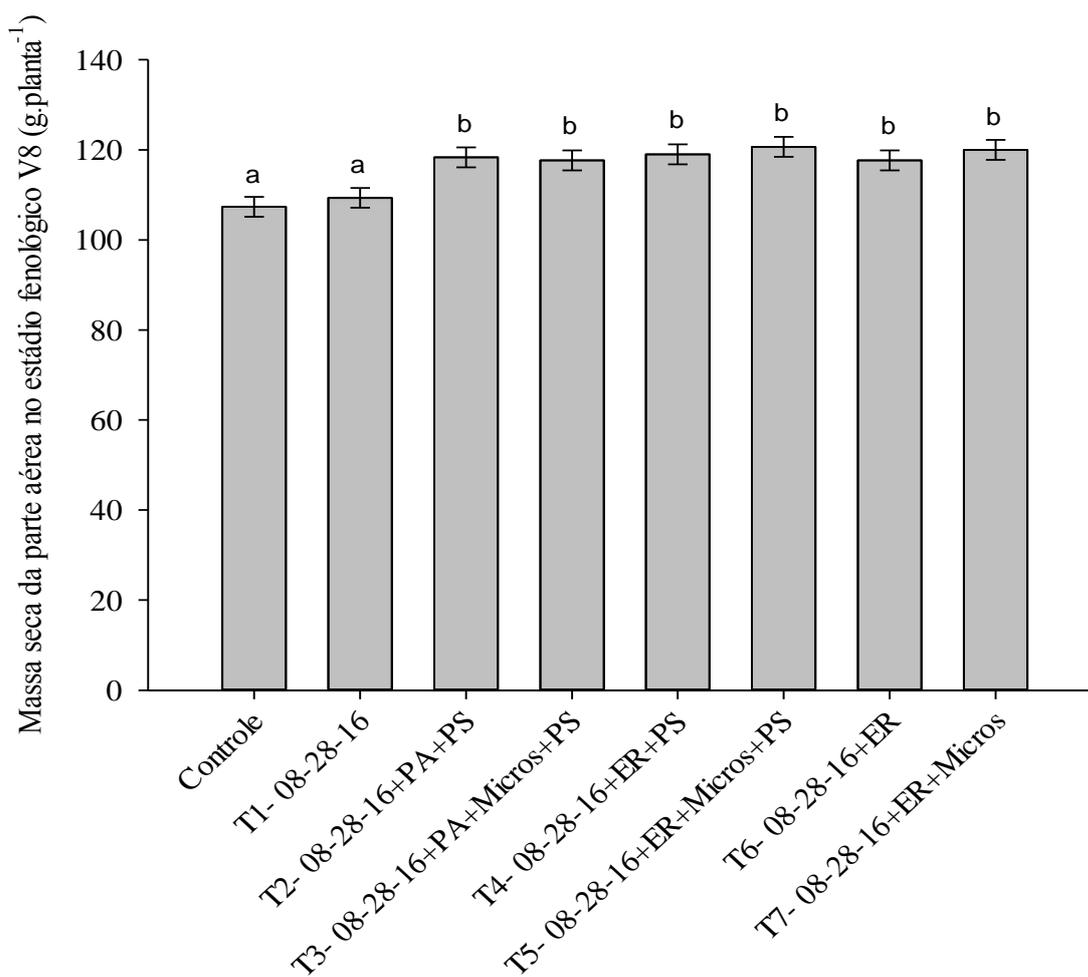


Figura 5: Massa seca de parte aérea das plantas de milho no estágio fenológico V8, após aplicação do fertilizante fosfatado. PA= Polímero Orgânico Adesivo; PS= Polímero Orgânico Pó Selante; ER= Enraizador.

Como observado na altura de plantas no estágio fenológico V8, a massa seca de parte aérea nesse mesmo estágio demonstra que as plantas submetidas aos tratamentos onde o fertilizante 8-28-16 foi revestido por polímero orgânico, enraizador e/ou micronutrientes acumularam maior biomassa e, conseqüentemente, tiveram maior desenvolvimento inicial em relação ao controle e a adubação fosfatada isolada, o que reforça o resultado obtido no parâmetro anterior.

Contudo, Junior e Neves (2018) desenvolveram trabalhos em que demonstraram que o uso de enraizador em diferentes doses a partir do tratamento de sementes da cultura do milho semeado em areia lavada sob irrigação, não promoveram um maior desenvolvimento da parte aérea quando avaliado 15 dias após a semeadura.

4.1.3. Massa seca de raiz

Os maiores valores de massa seca de raiz no estágio fenológico V8 foram para os tratamentos T7, T3, T5, T4 e T6, respectivamente, variando de 4,27 a 3,97 g.planta⁻¹, com valor médio de 4,13 g.planta⁻¹, mas não diferem entre si. No entanto, a diferença foi significativa em relação aos tratamentos T1, T2 e Controle, os quais foram menores e variaram 3,3 g.planta⁻¹ (Controle), 3,47 g.plantas⁻¹ (T1) e 3,57 g.planta⁻¹ (T2) (Figura 6).

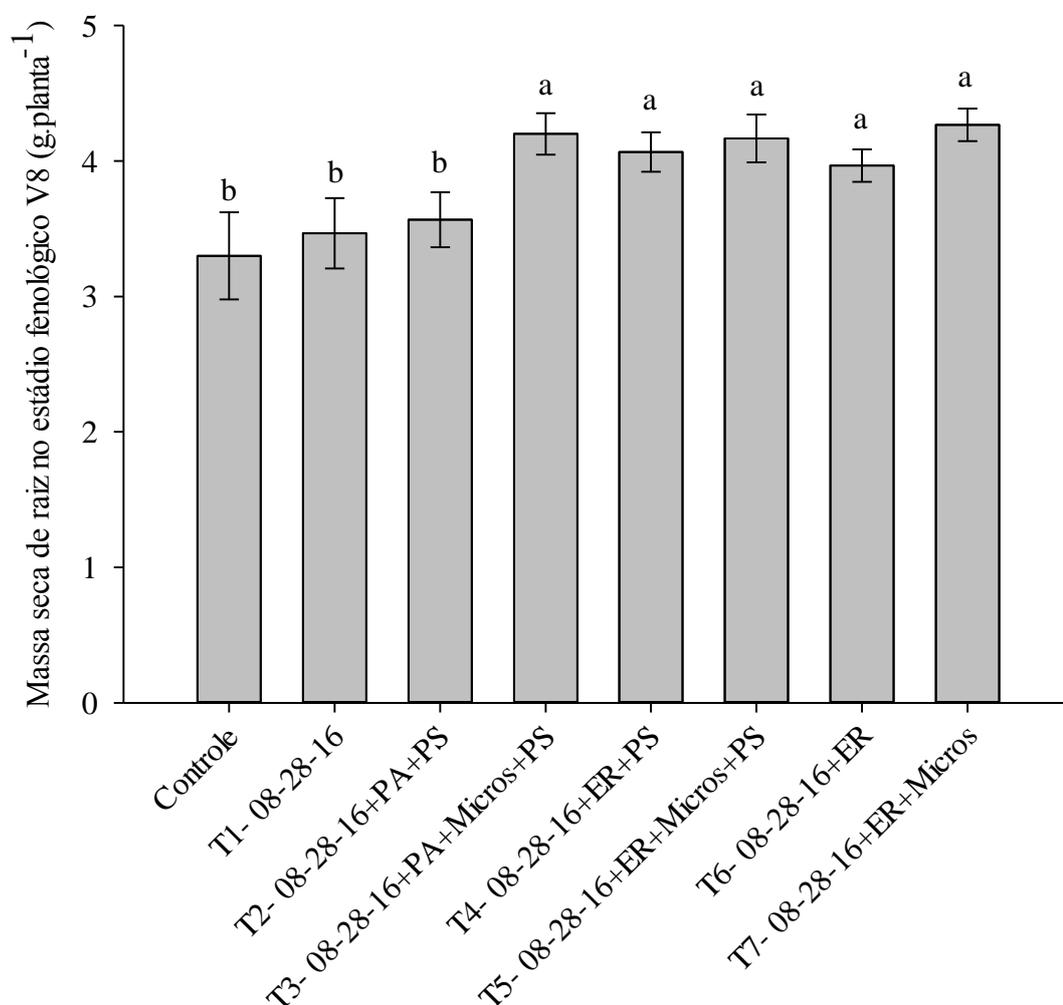


Figura 6: Massa seca de raiz de plantas de milho no estágio fenológico - V8, após aplicação de fertilizantes fosfatados. PA= Polímero Orgânico Adesivo; PS= Polímero Orgânico Pó Selante; ER= Enraizador.

Diante do resultado obtido, observa-se que, semelhante aos parâmetros anteriores, no estágio fenológico V8 as plantas de milho apresentaram maior desenvolvimento inicial da cultura, com exceção do tratamento em que o fertilizante foi submetido ao revestimento por polímero orgânico adesivo e polímero orgânico pó selante. Contudo há necessidade de desenvolvimento deste experimento em solos mais friáveis, com menor teor de argila, preferencialmente sob condições de areia, visando a menor destruição/rompimento de raízes durante a remoção da planta do solo, onde mesmo com todos os cuidados tomados, acredita-se que não foi possível retirar todo o volume de raiz que a cultura desenvolveu até a avaliação, buscando assim avaliações mais precisas do desenvolvimento radicular da cultura e relações entre o desenvolvimento radicular e os tratamentos prepostos.

Assim, Júnior e Neves (2018) desenvolveram trabalhos associando doses de enraizador na cultura do milho via tratamento de sementes sob condições de irrigação e semeadura em areia lavada e observaram diferenças significativas no comprimento de raiz em duas doses do produto utilizado, sendo uma delas a dose recomendada e outra 1,5 vezes maior que a recomendada.

4.1.4. Massa seca de parte aérea e produtividade

A produção de massa seca de parte aérea no momento da colheita (Figura 7) e a produtividade do milho (Figura 8) não foram influenciadas significativamente ($p \leq 0,05$) pelos tratamentos aplicados na cultura do milho.

A produção de massa seca da parte aérea de plantas de milho no momento da colheita variou de 8978 kg ha⁻¹ (Controle) a 11122 kg ha⁻¹ (T2), apresentando valor médio de 10143,1 kg ha⁻¹.

Trabalhos desenvolvidos por Berticelli E. e Joselito N. (2008) no estado do Paraná com híbrido AG 9010 cultivado no mês de fevereiro de 2008, demonstram um incremento em massa verde (2416,63 kg.ha⁻¹ em relação a testemunha) no estágio de florescimento (VT) e produtividade na colheita com incremento de 212,62 kg.ha⁻¹, no entanto o trabalho foi conduzido em safra de verão. No caso do presente estudo, acredita-se que a ausência

de respostas em produção de massa seca de parte aérea e produtividade de grãos tenha sido em função das baixas precipitações ocorridas durante o ciclo da cultura.

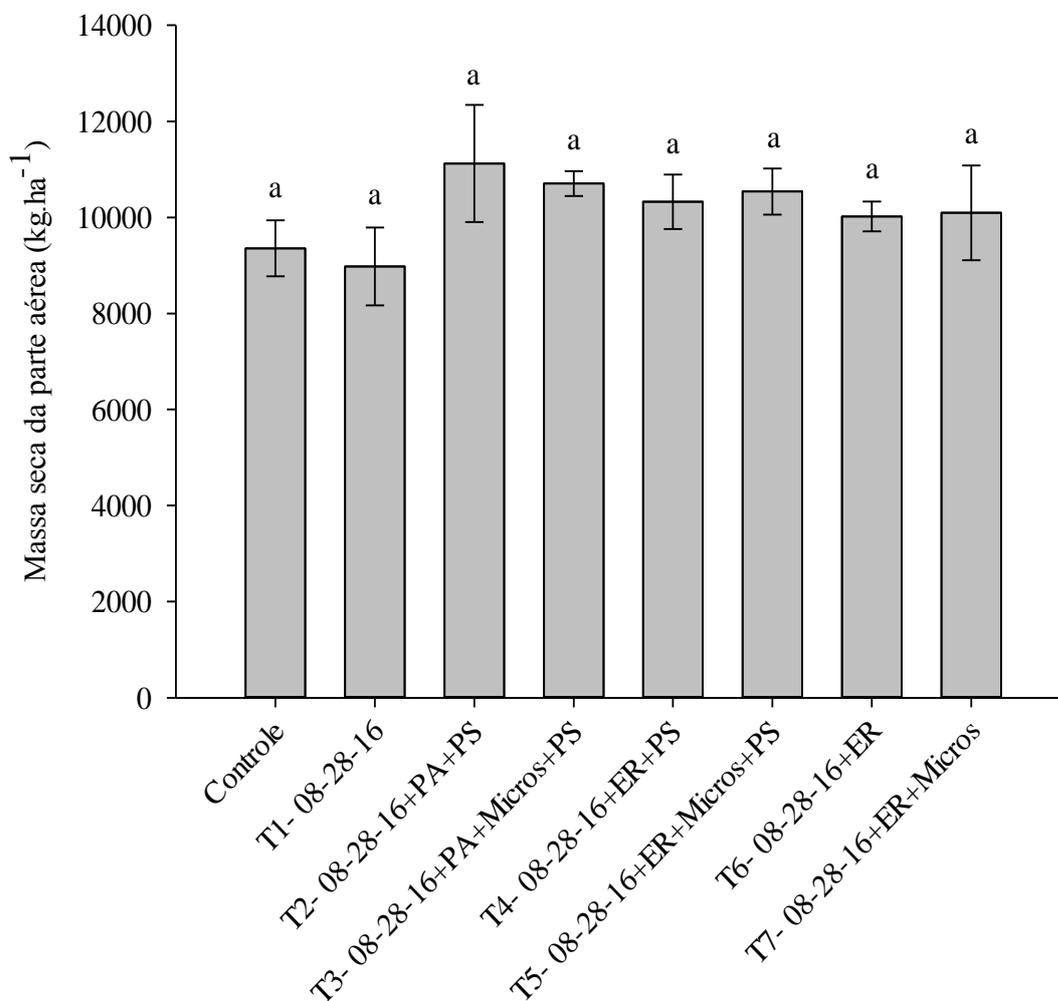


Figura 7: Produção de massa seca da parte aérea de plantas de milho no momento da colheita, após aplicação do fertilizante fosfatado. PA= Polímero Orgânico Adesivo; PS= Polímero Orgânico Pó Selante; ER= Enraizador.

A produtividade de grãos corrigida para 13% variou de 4476 kg ha⁻¹ (Controle) a 5841 kg ha⁻¹ (T2), sem diferenças estatisticamente significativas, a produtividade de grãos de milho média entre os tratamentos foi de 5359,10 kg ha⁻¹ (Figura 8).

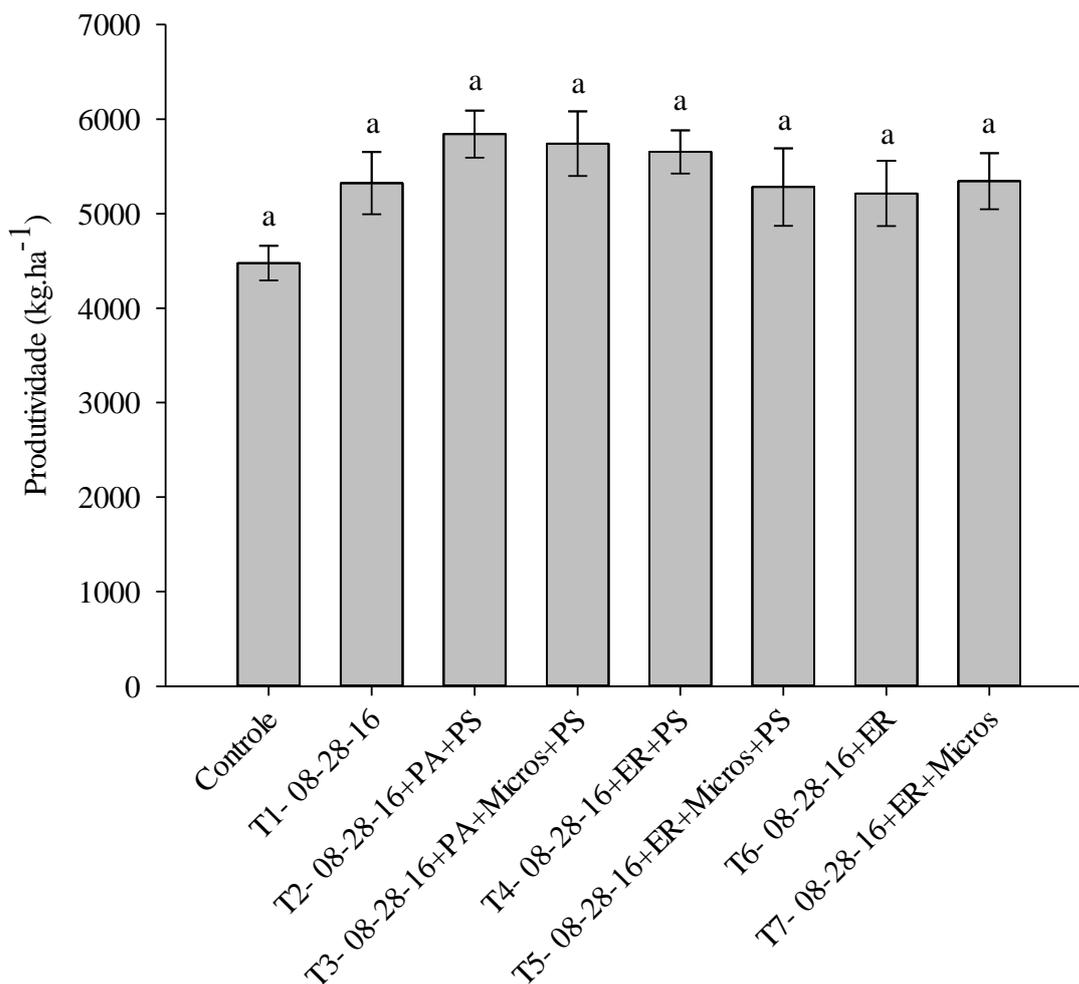


Figura 8: Produtividade de grãos de milho corrigido para 13% de umidade, após aplicação de fertilizantes fosfatados. PA= Polímero Orgânico Adesivo; PS= Polímero Orgânico Pó Selante; ER= Enraizador.

Trabalhos desenvolvidos por Gazola, R.N. et al. (2013) sugere o fertilizante fosfato monoamônico (MAP) revestido por diferentes polímeros sob condições de irrigação não proporcionam incrementos significativos em produtividade, porém há uma correlação positiva entre a produtividade e o aumento da dose do fertilizante fosfatado até a dose de 118 kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

Vilela, R. G. et al. (2013) demonstraram que a utilização da ácidos húmicos e fúlvico e aminoácidos não influenciaram no desenvolvimento da cultura do milho segunda safra, resultados que corroboram com trabalhos desenvolvidos por Chagas, W. T. (2016) na cultura da cebola, onde observou-se que o revestimento do fertilizante super

fosfato triplo (SFT) por polímeros não alteraram as características de crescimento e produção de massa seca de bulbos, porém houve maior incremento de fósforo no bulbo da cebola quando cultivada com SFT revestido por polímeros.

Trabalhos conduzidos por Battistus, A. G. et al. (2013) apontam que o uso de bioativadores e enraizadores revestidos à semente não conferiram incrementos em produtividade na cultura do trigo.

Estudos desenvolvidos por pesquisadores da Embrapa, Plotegher, F. et al. (2017) sugere que recobrimento de fertilizantes fosfatados por zeínas se mostrou promissor no sentido de retardar a liberação imediata dos nutrientes contidos no grânulo do fertilizante.

4.2. Índices de eficiência

A Índice de Eficiência Agronômica (IEA) (Figura 9) e o Índice de Eficiência Agronômica Relativa (IEAR) (Figura 10) não foram influenciados significativamente ($p \leq 0,05$) pelos tratamentos aplicados na cultura do milho.

4.2.1. Índice de Eficiência Agronômica (IEA)

O Índice de Eficiência Agronômica do fertilizante fosfatado formulado 08-28-16 apresentou valores entre 4,22 (T6) a 7,82 (T2), apresentando valor médio entre os tratamentos de 5,78, sem diferenças estatisticamente significativas (figura 9).

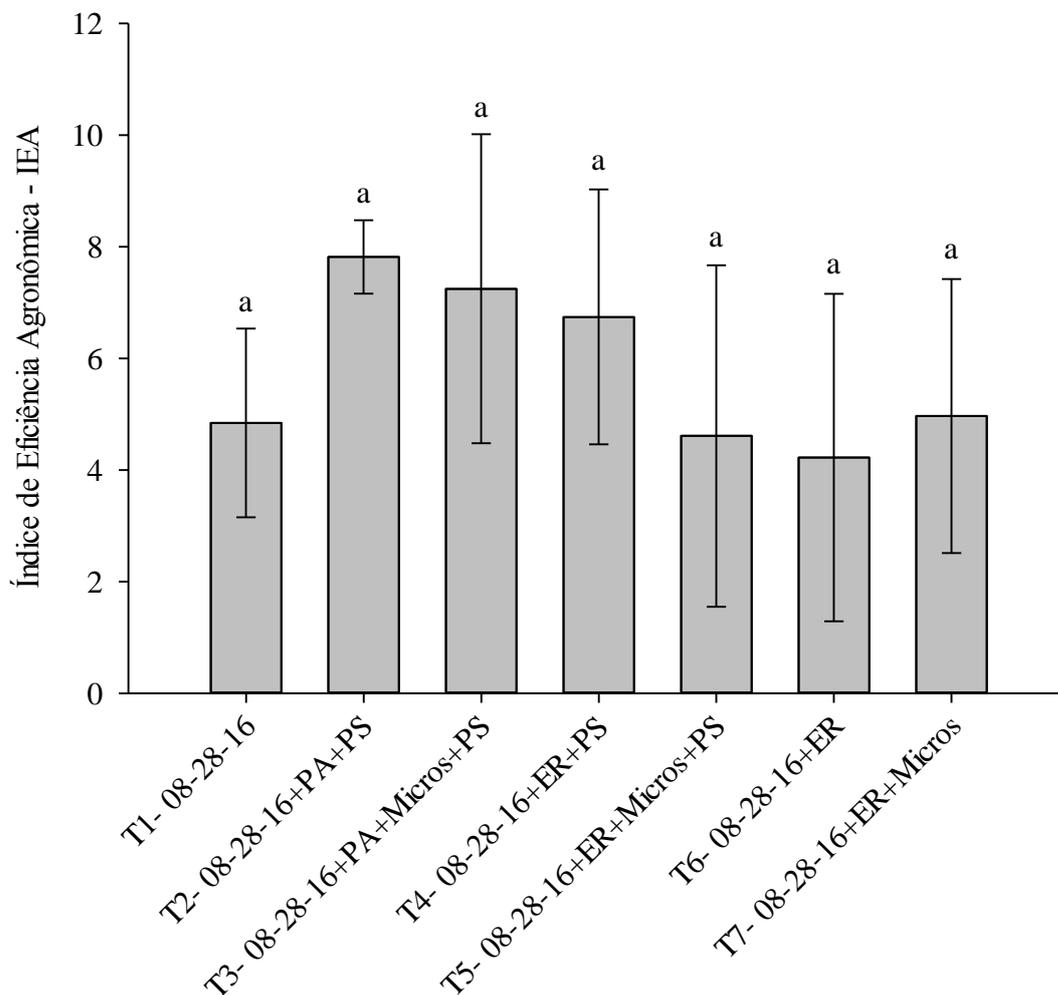


Figura 9: Índice de Eficiência Agrônômica (IEA) do fertilizante fosfatado (tratamento controle), após aplicação dos tratamentos. PA= Polímero Orgânico Adesivo; PS= Polímero Orgânico Pó Selante; ER= Enraizador.

4.2.2. Índice de Eficiência Agrônômica Relativa (IEAR)

O Índice de Eficiência Agrônômica Relativa (IEAR), em relação ao tratamento convencional (100%), apresentou valores entre 153,9% (T6) a 237,1% (T2), porém sem diferenças significativas estatisticamente e com valor médio entre os tratamentos (T2; T3; T4; T5; T6; T7) de 198,7% (figura 10).

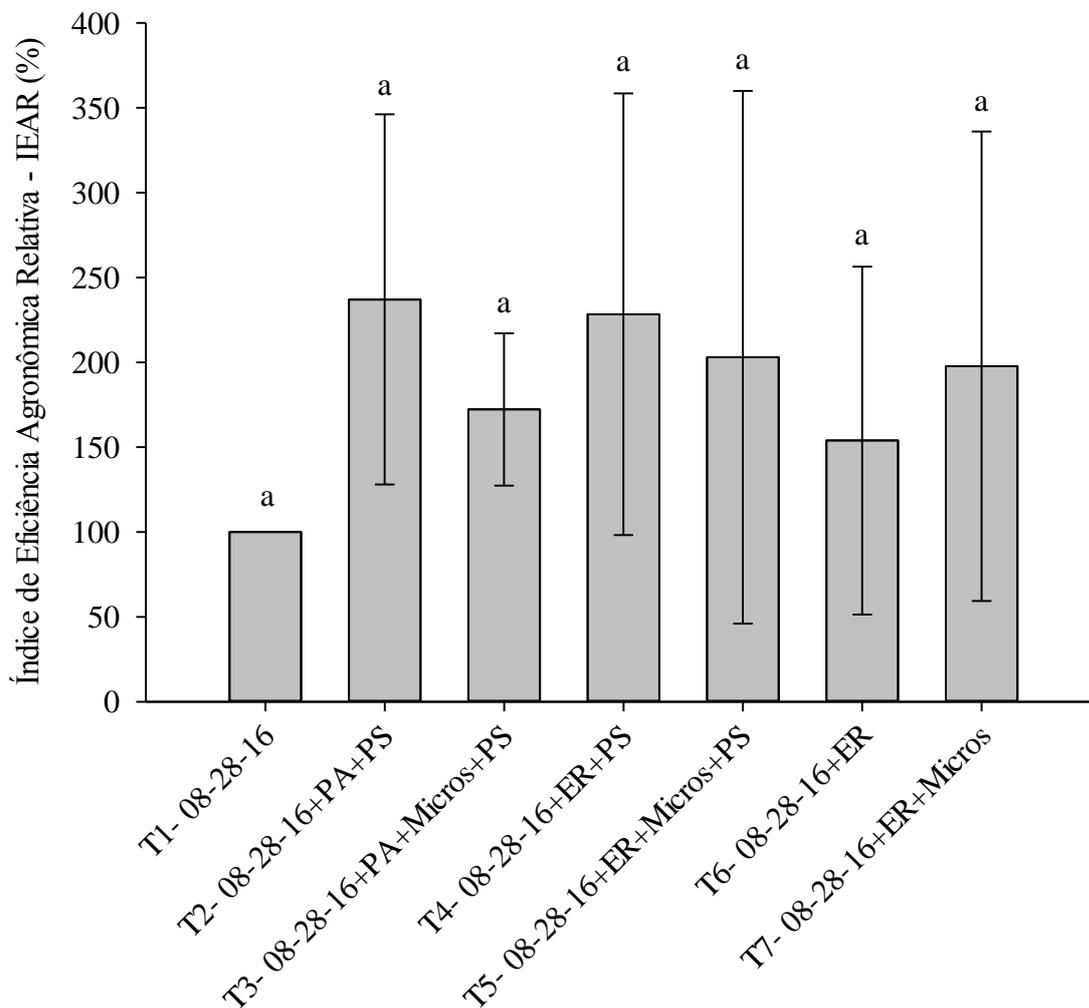


Figura 10: Índice de Eficiência Agronômica Relativa (IEAR) do fertilizante fosfatado em relação ao convencional, após aplicação dos tratamentos. PA= Polímero Orgânico Adesivo; PS= Polímero Orgânico Pó Selante; ER= Enraizador.

Chagas et al. (2015) desenvolveu trabalhos com fosfato monoamônico revestido por polímeros, demonstrando que o fertilizante revestido por polímeros promoveu uma maior eficiência da adubação fosfatada, além de incrementos nas características produtivas e nutricionais na cultura da alface.

Portanto, torna-se importante o desenvolvimento de trabalhos com revestimento de fertilizantes fosfatados em diferentes condições de clima, solo, cultivo, sistemas de alta, média e baixa fertilidade, homogêneas e as doses dos produtos utilizados, visando o menor comprometimento possível dos resultados e o seu desempenho nos diversos

sistemas de cultivo para podermos afirmar algo sobre o desempenho do nutriente e/ou a eficiência do fertilizante revestido por polímeros orgânicos, micronutrientes e enraizador.

5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados do presente trabalho, sob as condições de clima e solo em que foi desenvolvido, nota-se que o fertilizante revestido com polímero orgânico, micronutrientes e/ou enraizador promovem um maior desenvolvimento inicial da cultura de milho sob condições de segunda safra (safrinha), porém sem reflexos significativos em produtividade e produção de massa seca.

O fertilizante fosfatado revestido com polímero orgânico adesivo e pó selante não promoveu maior desenvolvimento radicular inicial da planta de milho.

Fertilizante fosfatado revestido com polímero orgânico, enraizador e micronutrientes não tiveram diferentes influências significativas na produção de grãos ou produção final de matéria seca pela planta de milho de segunda safra.

O revestimento do fertilizante fosfatado com polímero orgânico, enraizador e/ou micronutrientes não influenciaram significativamente na eficiência do aproveitamento do fertilizante fosfatado pela cultura do milho cultivado em condições de segunda safra.

Deve-se ressaltar que o experimento foi conduzido sob condições de milho segunda safra, época que se caracteriza por baixa pluviosidade podendo assim comprometer significativamente a produção da cultura do milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. E. M. **Fertilizantes de aumentada: uso de ureia de liberação controlada ou com inibidores em sistemas agrícolas.** Embrapa Pesca e Aquicultura- Documentos (INFOTECA-E), setembro, 2016, ISSN 2318-1400 Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1056527/1/CNPASA2016doc28.pdf>. Acesso em: março, 2020.

BATTISTUS, André Gustavo et al. **Comportamento da cultura do trigo tratado com enraizador e bioativador de plantas.** Scientia Agraria Paranaensis, v. 12, n. 1, p. 17-29, 2013. Acesso em: abril de 2020.

BERTICELLI, Eduardo; NUNES, Joselito. **Avaliação da eficiência do uso de enraizador na cultura do milho.** Cultivando o saber, v. 1, p. 34-42, 2008. Acesso em: abril de 2020.

BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C. E PIMENTEL, M. A. **Milho do Plantio à Colheita**. Universidade Federal de Viçosa, 2ª edição, 382 p. ISBN: 9788572695831, 2017.

CHAGAS, Wantuir Filipe Teixeira et al. **Agronomic efficiency of polymer-coated triple superphosphate in onion cultivated in contrasting texture soils**. Revista Ciência Agronômica, v. 47, n. 3, p. 439-446, 2016. Acesso em: abril de 2020.

CHAGAS, Wantuir Filipe Teixeira et al. **Productive characteristics, nutrition and agronomic efficiency of polymer-coated MAP in lettuce crops**. Revista Ciência Agronômica, v. 46, n. 2, p. 266-276, 2015.

CHAGAS, Wantuir Filipe Teixeira et al. **Productive characteristics, nutrition and agronomic efficiency of polymer-coated MAP in lettuce crops**. Revista Ciência Agronômica, v. 46, n. 2, p. 266-276, 2015. Acesso em: abril de 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**; safra 2019/20, quarto levantamento, janeiro 2020 - completo. Disponível em: 86 <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em março de 2020.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F. de; SANTANA, D. P. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Circular Técnica87: **Manejo da cultura do milho**. Sete Lagoas, dezembro, 2006a, ISSN 1679-1150. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490419/1/Circ87.pdf>. Acesso em: abril, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.2, p.6-16, 1998.

FAGERIA, N. K. **Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v.2, p.6-16, 1998.

FANCELLI, A. L. Milho. p. 43-89. In. PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba, SP, International Plant Nutrition Institute. 2010. 467p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 186 p.

FERREIRA, D.F. **SISVAR - Sistema de análise de variância**. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2010.

GAZOLA, Rodolfo de Niro et al. **Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho.** Revista Ceres, v. 60, n. 6, p. 876-884, 2013.

GUELFY, D. R. **Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada.** Informações Agronômicas, nº. 157, p. 1-14, março/2017.

JÚNIOR, Cássio Batista Mendes; NEVES, Claudia Milene Nascente. **USO DE ENRAIZADOR NA CULTURA DO MILHO (Zea mays) VISANDO O DESENVOLVIMENTO INICIAL.** e-RAC, v. 8, n. 1, 2018.

LOPES, Alfredo Scheid. **BOLETIM TÉCNICO Nº 8 MICRONUTRIENTES FILOSOFIAS DE APLICAÇÃO E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA.** São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), 1999.

MAGALHÃES, Paulo César; DURÃES, F. O. M. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Circular Técnica 76: **Fisiologia da produção de milho.** Sete Lagoas, dezembro, 2006b, ISSN 1679-1150. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490408/1/Circ76.pdf>. Acesso em: abril, 2020.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos.** Brasília, 2014. 227p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/laboratorios/arquivos-publicacoes-laboratorio/manual-_in-5_-analiticos-oficiais-para-fertilizantes-e-corretivos_com_capa_final_03.pdf. Acesso em: março de 2020.

PLOTEGHER, Fábio et al. **Recobrimento de fertilizantes: uma estratégia para a veiculação e liberação controlada de nutrientes.** In: Embrapa Instrumentação-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: WORKSHOP DA REDE DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 9., 2017, São Carlos. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017. p. 475-478. Editores: Caue Ribeiro de Oliveira, Elaine Cristina Paris, Luiz Henrique Capparelli Mattoso, Marcelo Porto Bemquerer, Maria Alice Martins, Odílio Benedito Garrido de Assis., 2017. Acesso em: abril de 2020.

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba, Ceres, 1991. 343p.

REETZ, Harold F. **Fertilizantes e seu Uso Eficiente.** Paris, França: International Fertilizer Industry Association (IFA), 2016. Tradução por: Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: Agência Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), 2017.

RESENDE, Álvaro Vilela de; COELHO, Antônio Marcos; DOS SANTOS, Flávia Cristina; LACERDA, Julian Júnio de Jesus. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Circular Técnica 181: **Fertilidade do Solo e Manejo da Adubação NPK para Alta Produtividade de Milho no Brasil Central.** Sete Lagoas, dezembro, 2012, ISSN 1679-1150. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77755/1/circ-181.pdf>. Acesso em: abril, 2020.

SIQUEIRA, N. S. et al. **Influência de sistemas de preparo do solo no desenvolvimento radicular do milho**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro: SBCS, 1997.

SOUSA, Dijalma Martinhão Gomes de; NUNES, Rafael de Souza; REIN, Thomaz Adolpho; JÚNIOR, João de Deus Gomes dos Santos. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Circular Técnica 181: **Manejo da Adubação Fosfatada para Culturas Anuais no Cerrado**. Planaltina - DF, junho, 2016, ISSN 1517-0187. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154889/1/CT-33.pdf>. Acesso em: maio, 2020.

TAIZ, L. and Zeiger, E.. 2010. **Regulation and root growth by plant hormones roles for auxins and gibberellins**. Plant Physiology fifth Edition. Sinauer Associates., Inc. 23 Plum tree Road, Sunderland, MA 01375, USA. Tanimoto E. 2005. Critical Rev. Plant. Sci. 24: 249–265.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Brazil; **Grain and Feed Annual, 2019**. Disponível em: <http://www.usdabrazil.org.br/pt-br/reports/grain-and-feed-annual-2019.pdf>; Acesso em: março de 2020.

VILELA, Rafael Gonçalves, VALENTINI ARF, Marcelo; Barreto, Rafael Ferreira. **Avaliação do desenvolvimento e produtividade da cultura do milho sob diferentes produtos promotores de crescimento**. XII Seminário Nacional Milho Safrinha, Dourados-MS, 2013. Acesso em: abril de 2020.

WERLE, Rodrigo; GARCIA, Rodrigo Arroyo; ROSOLEM, Ciro Antonio. **Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008.

APÊNDICES



Figura 11: Distribuição do fertilizante no sulco onde será realizado o plantio.



Figura 12: Imagem da área onde foi realizado o experimento, dias após o plantio.



Figura 13: Milho em estágio fenológico V3, momento da realização da adubação de cobertura.



Figura 14: Imagem da área do experimento com o milho em estágio fenológico V3, momento da adubação de cobertura.



Figura 15: Área experimental no momento da adubação de cobertura.

Imagens dos tratamentos, em campo:



Figura 16: Imagem dos tratamentos: à esquerda Controle e à direita T3 (08-28-16 + Polímero adesivo + Zn e B + Pó selante).



Figura 17: Imagem dos tratamentos: à esquerda Controle e à direita T4 (08-28-16 + Enraizador + Pó Selante)



Figura 18: Imagem dos tratamentos: à esquerda Controle e à direita T5 (08-28-16 + Enraizador + Pó selante).



Figura 19: Imagem dos tratamentos: à esquerda Controle e à direita T6 (08-28-16 + Enraizador).



Figura 20: Imagem dos tratamentos: à esquerda Controle e à direita T7 (08-28-16 + Enraizador + Zn e B).



Figura 21: Desenvolvimento das plantas 40 dias após plantio.



Figura 22: Espiga de milho no estágio reprodutivo R1.



Figura 23: Lavoura no estágio reprodutivo R1.



Figura 24: Imagem do milho, próximo ao momento da colheita.



Figura 25: Colheita experimento.



Figura 26: Preparo das espigas para estimar a produtividade de grãos.

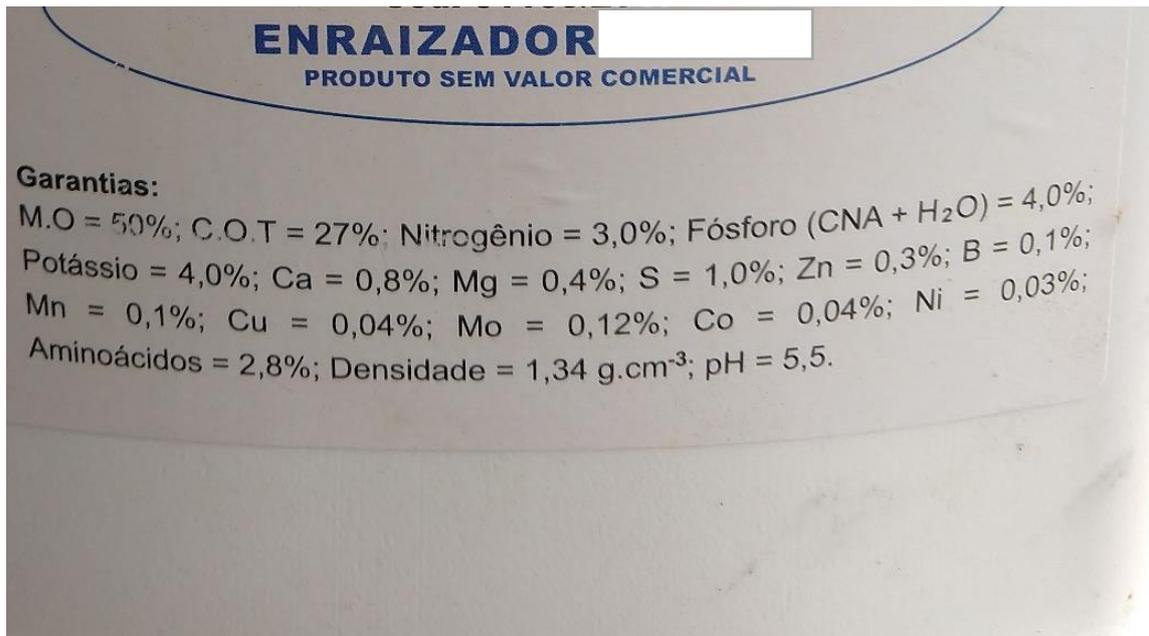


Figura 27: Imagem da embalagem do enraizador, explicitando as garantias do produto, fornecidas pelo fabricante. Produto em teste.