



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOAO DEL-REI
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
ENGENHARIA AGRONÔMICA

LETÍCIA GABRIELA SILVA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS EXPERIMENTAIS DE
MILHO: SEM ADUBAÇÃO DE FÓSFORO E EM INTERAÇÃO COM
SOLUBILIZADORES DE FOSFATO**

**SETE LAGOAS
2022**

LETÍCIA GABRIELA SILVA

DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS EXPERIMENTAIS DE MILHO: SEM ADUBAÇÃO DE FÓSFORO E EM INTERAÇÃO COM SOLUBILIZADORES DE FOSFATO

O Trabalho de Conclusão de curso apresentado tem como objetivo de ser avaliado para obtenção de título Bacharel em Engenharia Agrônoma, da Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ), *campus* Sete Lagoas.

Orientador: Prof. Dr. Iran Dias Borges

Coorientador: Dr. Roberto dos Santos Trindade

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586d Silva, Letícia Gabriela.
DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS EXPERIMENTAIS DE
MILHO: SEM ADUBAÇÃO DE FÓSFORO E EM INTERAÇÃO COM
SOLUBILIZADORES DE FOSFATO / Letícia Gabriela Silva ;
orientador Iran Dias Borges; coorientador Roberto
dos Santos Trindade. -- Sete Lagoas, 2022.
34 p.

Trabalho de Conclusão (Graduação - Engenharia
Agrônoma) -- Universidade Federal de São João del
Rei, 2022.

1. Seleção de híbridos. I. Borges, Iran Dias,
orient. II. Trindade, Roberto dos Santos, co-orient.
III. Título.

LETÍCIA GABRIELA SILVA

DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS EXPERIMENTAIS DE MILHO: SEM ADUBAÇÃO DE FÓSFORO E EM INTERAÇÃO COM SOLUBILIZADORES DE FOSFATO

O Trabalho de Conclusão de curso apresentado tem como objetivo de ser avaliado para obtenção de título Bacharel em Engenharia Agrônômica, da Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ), *campus* Sete Lagoas.

Sete Lagoas, 22 de dezembro de 2022

Prof. Dr. Iran Dias Borges - UFSJ

Coorientador: Dr. Roberto dos Santos Trindade – Embrapa Milho e Sorgo

Profa. Dra. Nádia Nardely Lacerda Durães Parrella – UFSJ

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para ter conseguido chegar ao fim de mais uma etapa.

A Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ), *campus* Sete Lagoas, ao corpo docente, em especial os professores Iran e Nádia, que com muita paciência e esforço me oportunizaram a enriquecer o conhecimento no qual detenho hoje.

Ao Dr. Roberto dos Santos Trindade que me proporcionou oportunidades de realizar meu experimento dentro da unidade Embrapa Milho e Sorgo, e por todo conhecimento transferido e pela paciência. Aqui, também não poderia de citar ao pessoal do Galpão de Melhoramento de Milho que sempre se propuseram me auxiliar nas atividades.

Aos meus pais, Eustáquio e Lurdinha, que deram alicerce e sempre me incentivam a continuar e superar todas as dificuldades. Juntamente a minha irmã Laís que sempre me apoiou e me auxiliou na vida acadêmica.

Por fim, não posso deixar de agradecer a minha família e aos amigos que de alguma forma me auxiliaram nessa conquista.

Obrigada a todos!

SUMÁRIO

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 7 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 8 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 14 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 16 |
| 5. CONCLUSÃO | 29 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 30 |

RESUMO

Entre as diversas culturas agropecuárias existentes no mundo, o milho (*Zea mays* L) é uma das mais importantes com origem nas Américas. Bem como outra cultura, o milho é bem exigente em termos nutricionais, no qual são os responsáveis por todo desenvolvimento da planta. Entre eles podemos destacar o fósforo (P) que é essencial para suprimento das demandas energéticas da planta. O baixo teor de P disponível no solo é uma das maiores limitações a produção de grãos, onde que a adubação fosfatada apresenta baixa eficiência em virtude do fato de grande parte do P adicionado tornar-se imóvel ou não disponível. Nem sempre as plantas são eficientes na absorção desses nutrientes, diante disso o assunto mais pronunciado na atualidade, é o uso de bioinoculantes que auxiliam a absorção de nutrientes do solo de forma benéfica. O objetivo do trabalho foi avaliar e selecionar híbridos experimentais de milho que tenham desempenho agrônomico satisfatório, em plantios sem adubação fosfatada e em interação com microrganismos solubilizadores de fosfato. Para isto, foi avaliado o desempenho agrônomico de 36 híbridos experimentais de milho, sendo 32 do Programa de Melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo e 4 testemunhas comerciais. Foram avaliados em locais sem aplicação de P no plantio, sendo feita adubação de base de 500 kg/ha de N e K, na formulação 8:00:16, em duas condições distintas: sem inoculação de sementes; e com inoculação de sementes com microrganismos solubilizadores de fosfato. O delineamento experimental utilizado foi o látice quadrado 6x6 e o plantio realizado de forma mecanizada com uso de plantadora de parcelas, no sistema de plantio direto. As características analisadas foram produtividade, umidade de grãos, florescimento masculino, florescimento feminino, estande, acamamento e quebramento, altura média de planta, altura média de inserção de espiga, peso de espiga com palha, peso de espiga sem palha, número de fileiras de grãos, diâmetro de espiga, diâmetro de sabugo, comprimento de espiga e peso de 100 grãos. Os dados foram submetidos a análise conjunta de variância avaliando-se os dois experimentos e a interação genótipo x inoculante, além disso efetuou as análises de agrupamento de médias pelo teste Scott-Knott, correlação entre as características e por fim foram avaliados os efeitos indiretos e diretos das características avaliadas na produtividade, via análise de trilha. Não teve efeito significativo entre a interação genótipo x inoculante e entre os experimentos, mas teve efeito significativo entre os genótipos em cada experimento. Entre os genótipos, 20 apresentaram melhor eficiência em relação a produtividade, mas os genótipos 1Q2366 e 1R2536 foram os mais responsivos nos ensaios, além disso tiveram melhor comportamento diante das variáveis estande, acamamento e quebramento. Ademais, outras características podem interferir diretamente na produção de grãos.

Palavras-chaves: Bactérias. Bioinsumo. Inoculação.

ABSTRACT

Among the various agricultural crops existing in the world, corn (*Zea mays* L) is one of the most important originating in the Americas. As well as other crops, corn is very demanding in terms of nutrition, which are responsible for the entire development of the plant. Among them we can highlight phosphorus (P) which is essential to supply the energy demands of the plant. The low level of P available in the soil is one of the major limitations to grain production, where phosphate fertilization has low efficiency due to the fact that a large part of the P added becomes immobile or unavailable. Plants are not always efficient in absorbing these nutrients, therefore the most pronounced subject today is the use of bioinoculants that help absorb nutrients from the soil in a beneficial way. The objective of this work was to evaluate and select experimental maize hybrids that have satisfactory agronomic performance, in plantations without phosphate fertilization and in interaction with phosphate solubilizing microorganisms. For this, the agronomic performance of 36 experimental maize hybrids was evaluated, 32 from the Embrapa Maize and Sorghum Improvement Program and 4 commercial controls. They were evaluated in places without P application at planting, with base fertilization of 500 kg/ha of N and K, in the 8:00:16 formulation, under two different conditions: without seed inoculation; and seed inoculation with phosphate solubilizing microorganisms. The experimental design used was the 6x6 square lattice and the planting was carried out mechanized using a plot planter, in the no-tillage system. The characteristics analyzed were productivity, grain moisture, male flowering, female flowering, stand, lodging and breakage, average plant height, average height of ear insertion, weight of ear with straw, weight of ear without straw, number of rows of grains, ear diameter, cob diameter, ear length and weight of 100 grains. The data were submitted to a joint analysis of variance, evaluating the two experiments and the genotype x inoculant interaction, in addition, the analysis of grouping of means by the Scott-Knott test, correlation between the characteristics and finally, the indirect effects and direct results of the characteristics evaluated in productivity, via path analysis. There was no significant effect between the genotype x inoculant interaction and between the experiments, but it had a significant effect between the genotypes in each experiment. Among the genotypes, 20 showed better efficiency in relation to productivity, but the 1Q2366 and 1R2536 genotypes were the most responsive in the tests, in addition they had better behavior in relation to the variables stand, lodging and breakage. In addition, other characteristics can directly interfere with grain production.

Index terms: Bacteria. Bio-input. Inoculation.

1. INTRODUÇÃO

Entre as diversas culturas existentes, o milho (*Zea mays* L) é uma das mais importantes. Com origem nas Américas, há indícios que apontam seu centro de diversidade como sendo o México. De acordo com a CONAB 2020, o Brasil está no 3º lugar no ranking mundial de produção de grãos de milho, mantendo-se somente atrás dos Estados Unidos e China. Os valores de produção desses países, na safra de 2020/2021 foram de 406.292, 260.000 e 106.000 mil toneladas, respectivamente, 1º, 2º e 3º lugar. Além da relevância no aspecto de segurança alimentar, a importância econômica é caracterizada por diversas formas de utilização, desde na alimentação animal até o uso em industriais de alta tecnologia (DUARTE, 2021).

O paradigma dominante de modificar o ambiente para atender às necessidades das culturas através do uso contínuo de insumos tem sido contraposto atualmente pela opção de se adaptar a planta ao ambiente, o que é de fundamental importância no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (CLARK; DUNCAN, 1991). A sustentabilidade de um sistema agrícola está ligada a um manejo dos recursos naturais que vise maximizar sua eficiência e promover sua conservação, mantendo sempre que possível os processos naturais de fluxo de energia e o desenvolvimento de todas as espécies presentes no ambiente (VANCE, 2001).

Como qualquer outra cultura, o milho é bem exigente em termos nutricionais para todo desenvolvimento da planta. Entre eles podemos destacar o fósforo (P), que é essencial para suprimento das demandas energéticas da planta, incluindo síntese de ATP. O baixo teor de P disponível no solo é uma das maiores limitações a produção de grãos, onde que a adubação fosfatada apresenta baixa eficiência em virtude do fato de grande parte do P adicionado tornar-se imóvel ou não disponível devido às reações de adsorção em colóides minerais do solo, como óxidos de Fe e Al; precipitação por reações com cátions presentes no complexo sortivo, como Ca, Al e Fe; ou conversão em formas orgânicas (HOLFORD, 1997). Entretanto a quantidade de P absorvida pela planta pode variar em algum grau devido à baixa mobilidade do nutriente na solução do solo e as demandas da planta, sobretudo quando se comparam cultivares ou ambientes de cultivos diferentes (GUTIÉRREZ, 2016; SILVA, 2016).

As plantas utilizam algumas estratégias para aumentar a eficiência na aquisição de P no qual se relacionam com processos de produção e secreção de fosfatases; exudação de ácidos orgânicos; crescimento e modificações do sistema radicular como alterações da morfologia e da distribuição de raízes; expansão da superfície radicular; surgimento de pêlos radiculares; modificações na atividade de transportadores de P presentes no sistema radicular e simbiose micorrízica (MARSCHNER, 1995; ARAÚJO, 2000; AHMAD et al., 2001; VANCE et al.,

2003). Porém, nem sempre as plantas são eficientes na absorção desses nutrientes. Diante disso, uma alternativa recente é o uso de bioinoculantes que auxiliam a absorção de nutrientes do solo de forma benéfica.

O bioinoculante é um insumo biológico com microrganismos que desempenham atividades benéficas e essenciais para o desenvolvimento das plantas. Para o melhor aproveitamento de adubação fosfatada, existem bactérias que solubilizam o fósforo que está adsorvido no solo, deixando em formas disponíveis para a planta. Porém, mesmo sendo microrganismos encontrados na natureza, como qualquer outra formulação, os bioinoculantes comerciais devem ser registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

O objeto deste trabalho é avaliar e selecionar híbridos experimentais de milho que tenham desenvolvimento agrônomico satisfatório, em plantios sem adubação fosfatada, em interação com microrganismos solubilizadores de fosfato.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O milho (*Zea mays* L.) é a segunda cultura de importância na agricultura brasileira, perdendo somente para a soja, que lidera a produção de grãos. Segundo, o 2º levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022), para a safra 22/23, é previsto uma produção total de 126,4 milhões de toneladas, um aumento de 12% comparado a safra anterior. Esse aumento é resultado do crescimento na área cultivada de milho segunda safra juntamente com a recuperação da produtividade das três safras. Além disso, o milho tem grande importância econômica e social, sendo que a maior parte da produção (70% a 85%) é atribuído a fabricação de ração animal e o restante (cerca de 15%) são utilizados como matéria prima para alimentação humana. Paralelamente, emprega-se na indústria de alta tecnologia para a produção filmes, embalagens biodegradáveis e biocombustíveis (RANUM et al., 2014).

A produção de milho nacional se concentra nas regiões do cerrado, em que os solos são predominantes ácidos, pobres em nutrientes, com destaque para o fósforo (P) e baixa retenção de água (NOVAIS; SMITH, 1999). Para que essa região mantenha um nível satisfatório de desempenho na agricultura brasileira é necessário que utilizem o manejo adequado de adubos minerais, principalmente os fosfatados, visando aumentar ou manter a eficiência do uso (SOUZA; LOBATO, 2004).

A deficiência de P tem um elevado impacto, inúmeros dados fundamentam a importância agrônômica, ambiental e econômica de um bom manejo desse nutriente (STAUFFER; SULEWSKI, 2004). O P é um elemento essencial para a cultura do milho, uma vez que participa de vários processos metabólicos, como a transferência de energia, síntese de ácidos nucleicos, glicose, respiração, síntese e estabilidade de membrana, ativação e desativação de enzimas, reações redox, metabolismo de carboidratos e fixação de N₂ (VANCE et al., 2003). O nível adequado de P cede um benefício fundamental para a melhoria do estabelecimento e do vigor da cultura, assim plantas submetidas à deficiência de P são limitadas ao crescimento e desenvolvimento desde os estádios iniciais da plântula (SCHWARTZ; KAFKAFI, 1978).

Cerca de 0,12% de P está contida na crosta terrestre, e as maiores reservas estão presentes em sedimentos marinhos, solos, fosfato inorgânico dissolvido nos oceanos e rochas minerais, como o material primário: apatita (STEVENSON; COLE, 1999). Apesar de existir muitos minerais que fornecem P na natureza, em escala geológica, apenas o grupo das apatitas liberam em maiores quantidades o P, devido ao seu intemperismo e que foi absorvido e reciclado, incorporado na matéria orgânica do solo ou precipitados a matérias como cálcio, ferro e alumínio (STEVENSON; COLE, 1999).

Embora as perdas para o ambiente, a remoção pelas culturas é o principal responsável pelas perdas de P no solo (ROBERTS, 1995). Em razão de existir pequena quantidade de P disponível em qualquer época, o fator que controla a nutrição de plantas é a capacidade que o solo possui em manter um abastecimento adequado de P disponível em períodos críticos demandados pela cultura. Na agricultura moderna, as entradas de P pelos fertilizantes fosfatados ou de fontes orgânicas, tal como o esterco, são baixas para assegurar o rápido restabelecimento do nível de P na solução do solo. Além disso, o nível adequado de P é necessário para assegurar que os outros nutrientes aplicados ao solo, sejam utilizadas com mais eficiência para os sistemas de alta produtividade, uma vez que utilizam variedades modernas, as quais demandam uma taxa de suprimento alta. Assim, a demanda de P pode ter contribuição combinada pela intemperização mineral, dessorção e dissolução em superfícies minerais, difusão para as raízes e mineralização da matéria orgânica (STAUFFER; SULEWSKI, 2004).

A quantidade de P nos solos está entre 0,2 e 5,0 g kg⁻¹, no entanto uma pequena fração está em formas disponíveis para as plantas. O P no solo pode ser dividido em quatro categorias, a saber: P na forma iônica e em compostos na solução do solo; P adsorvido na superfície dos constituintes minerais do solo; minerais cristalinos e amorfos de P; e P componente da matéria orgânica do solo (BARBER, 1984). Na solução do solo, as concentrações de P são muito baixas,

em torno de 0,1 e 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Valores de pH para a dissociação do H_3PO_4 (ácido fosfórico) em H_2PO_4^- e HPO_4^- são de 2,1 e 7,2, respectivamente, ou seja, pH abaixo de 6 a uma maior concentração de P na solução do solo que está na forma H_2PO_4^- , que é denominada de P inorgânico. Entretanto, valores de P de compostos orgânicos podem variar de quase zero até mais de 2 g kg^{-1} , dependendo do solo pode apresentar entre 20 a 80% do P total presente no solo (STEVENSON; COLE, 1999).

A solubilidade do P no solo e a biodisponibilidade para absorção pelas plantas são fortemente influenciadas pelo pH, existindo uma relação direta entre pH e a aquisição de P pelas plantas (AHMAD et al., 2001; ARAÚJO; MACHADO, 2006). Embora a solubilidade do P no solo dependa em parte da espécie de íon fosfato que controle a solução, é considerado que em valores de pH na faixa de 5,5 a 6,8 se encontra a maior disponibilidade de P na solução do solo, uma vez que nesta faixa é maior a solubilidade de fosfatos de Al, Fe e Ca (MARSCHNER, 1995). Além disso, a um outro aspecto importante em si tratando de solos fertilizados, pode ocorrer um elevado número de compostos fosfatados (TISDALE et al., 1985). O que ocorre é que no início, os compostos encontram-se em fase meta-estável, do qual a solubilidade é mais elevada e com o passar do tempo a mesma vai diminuindo, ou seja, o P passa para a solução e a seguir, rapidamente, para a forma de P-lábil; logo após de forma mais devagar para o P-não lábil (RAIJ, 2004).

O termo eficiência é usado para diferir as espécies de plantas, seus genótipos ou cultivares em relação à sua habilidade de absorver nutrientes e utilizar ou relacionar com a produtividade das culturas (BALIGAR; FAGERIA, 1999). A eficiência fisiológica vegetal de nutrição fosfatada se divide em duas linhas: a eficiência de utilização, que é definida como a capacidade que a planta possui de produzir biomassa por unidade de P assimilado; e a eficiência de aquisição, que é definida como a capacidade que o sistema radicular possui de extrair fósforo do solo, medida em total de P absorvido por unidade de raiz (ELLIOTT; LÄUCHLI, 1985; MARSCHNER, 1995; ARAÚJO, 2000; AHMAD et al., 2001; VANCE et al., 2003). Além disso, estratégias são utilizadas pelas plantas para aumentar a eficiência no uso de P, tal como redução na taxa de crescimento, aumento do crescimento por unidade de P adquirido, remobilização interna de P, modificações no metabolismo de carbono, rotas alternativas de respiração, modificações na fenologia e aumentos na reserva de P na semente (ARAÚJO, 2000; AHMAD et al., 2001; VANCE et al., 2003; RAGHOTHAMA; KARTHIKEYAN, 2005).

Como citado anteriormente, são vários os fatores que afetam a eficiência da adubação fosfatada, assim deve considerar as reações no sistema solo-planta. O fluxo do P é iniciado na fase sólida e termina no interior da planta, determinando o desenvolvimento e o rendimento de

características de interesse agrônomo ou econômico. Nesse processo ocorrem processos e mecanismos que podem ser descritos por reações de desorção e de troca que ocorrem na superfície das partículas do solo, liberando o P da fase sólida, mas também há dissolução de minerais e decomposição de matéria orgânica. A concentração de P na solução é dependente da concentração da quantidade de P na fase sólida em rápido equilíbrio com o P-lábil (ANGHINONI, 2004).

Assim, para que o P seja absorvido pelas plantas há uma necessidade do seu deslocamento da solução para próximo às partículas para a superfície da raiz. Tal deslocamento é possível devido ao fluxo de massa, decorrente do gradiente hídrico, e é predominantemente por difusão em decorrência da concentração de P. A quantidade de P que as plantas absorvem depende da taxa de absorção, ou seja, a quantidade absorvida por unidade de tempo e de superfície de raiz, além da magnitude do sistema radicular. A concentração de P nas superfícies das raízes é controlada por características fisiológicas, que variam de acordo com o genótipo. Dessa forma, o P é translocado para regiões de alta atividade celular, como na produção de forragem ou grãos. (ANGHINONI, 2004)

Para adquirir o P inorgânico do solo, as plantas adquirem um elevado gradiente de concentração de P na membrana plasmática, onde que as concentrações de P nas células vegetais são superiores as concentrações de P na solução do solo, em torno de 100 vezes mais (RAGHOTHAMA, 2000). Assim, é aliado a uma carga negativa dentro da célula que exige a formação de um forte gradiente eletroquímico para seja possível o transporte de P inorgânico para dentro da célula (SMITH, 2022). A energia para esse transporte vem da bomba de extrusão de prótons através da plasmalema, onde que as ATPases fazem o transporte de H^+ para o lado inferior da célula, gerando um diferencial de potencial elétrico (GLASS, 1990). Além disso, o P inorgânico se move do córtex até o cilindro central das raízes, principalmente pelo simplasto, que pode ser atingida somente pela difusão, entretanto é provável que a taxa respiratória contribua para tal movimento (BIELESKI, 1973).

Nas plantas, a forma do fosfato é diferentemente do nitrato e sulfato, pois ele não é reduzido e é utilizado somente na sua formação completamente oxidada de ortofosfato. Após a absorção do P, o fosfato continua na forma de P inorgânico ou é esterificado por meio de um grupo hidroxil ou retido a outro fosfato por ligações de pirofosfato de elevada energia (MARSCHNER, 1995). Quando o pH é neutro, o fosfato se comporta como um ânion mono quanto divalente, que contribui para a capacidade tampão da célula (CLARKSON; HANSON, 1980). O P nas células vegetais, se encontra em alguns componentes, como nos nucleotídeos,

nos fosfolipídios, nos fosfatos de adenosina e em ésteres de carboidratos (ARAÚJO; MACHADO, 2008).

O P inorgânico é a principal forma de transporte no floema das plantas, com velocidades de transporte de 80 cm h^{-1} entre os limbos foliares e o floema de pecíolos (BIELESKI, 1973). Entretanto, quando o suprimento externo se torna limitante, esse nutriente é redistribuído na planta. O P é tão móvel na planta, que a redistribuição é realizada pelas propriedades de fonte e dreno mais que pelo sistema de transporte, ou seja, o P é transferido de folhas velhas para folhas e brotos novos e/ou do lenho para ramos novos, flores ou frutos (MALAVOLTA, 2004). Através da adubação foliar, o P pode ser transportado rapidamente para outros tecidos vegetais, a absorção varia entre com a idade das folhas e com o genótipo, porém admite-se que após 5 dias de aplicação 50% do P é absorvido (KANNAN, 1990).

As condições de nutrientes pela cultura do milho não podem ser medidas somente a partir da extração total, e sim pela existência de picos de máxima absorção. É necessário entendimento sobre a marcha de absorção em função do tempo para poder quantificar as adubações necessárias, já que a planta de milho continua absorvendo P da solução do solo até próximo a maturação fisiológica dos grãos. Os nutrientes, na planta de milho, têm distintas taxas de translocação entre os componentes vegetais: na maturidade, metade do P absorvido provém de outras partes áreas, como palhada e pedúnculo da espiga (COELHO; ALVES, 2004). Andrade et al. (1975) e Hiroce (1989), apresentaram valores muito similares de exportação de P_2O_5 nos grãos, respectivamente, 8,93 e 9,16 kg t^{-1} .

Há vários efeitos do P no crescimento vegetal. Como produto final, o P inorgânico é relevante para muitas reações enzimáticas importantes, ele está envolvido nos processos de ATP que é indispensável para fotossíntese, translocação, regulação de vias metabólicas no citoplasma e outras citadas anteriormente (MITRA et al., 1993). Em situações de deficiência de P a alteração no metabolismo primário para o secundário, que resulta na acumulação de flavonóides e indo-alcalóides (VANCE et al., 2003). Os sintomas são marcantes, os efeitos mais evidentes são: redução no crescimento, coloração verde-escura nas folhas mais velhas e colorações avermelhadas em consequência da acumulação de antocianina. Em plantas de milho, com limitação de P, há uma diminuição nos teores de amido e proteína solúvel, e menor teores de sacarose (KHAMIS et al., 1990). Além disso, apresenta severa inibição da assimilação fotossintética do CO_2 em folhas, diminuição na quantidade de C em forma de amido, redução na atividade de enzimas (exemplo: ribulose 1,5-bisfosfato carboxilase) que são indispensáveis no metabolismo de plantas C4 e na via reductiva de pentoses fosfato e redução na enzima-chave da síntese do amido (USUDA; SHIMOGAWARA, 1991a,b).

Diante do cenário mundial, cerca de 70% do P aplicado via fertilizantes minerais é perdido ou fica retido em partículas do solo, como Fe, Al e Ca, que contribui para o acúmulo desse nutriente no solo (PAVINATO et al., 2020). Com a finalidade de desenvolver uma tecnologia de baixo custo e de alto aproveitamento, hoje em dia, há vários estudos em relação aos inoculantes microbianos, que afetam a estrutura, a química, a bioquímica e a fisiologia do ambiente radicular para desempenhar funções essenciais para o aumento da disponibilidade de P no solo, que visam aumentar a eficiência da adubação fosfatada. Dentre desses mecanismos de ação, salienta-se a modificação do sistema radicular que se entende pela associação com fungos micorrízicos, solubilização e mineralização de P por alguns gêneros de bactérias e fungos (ARAÚJO; MACHADO, 2008).

Entre os microrganismos solubilizadores de fosfato (MSP) alguns gêneros de bactérias e fungos representam essa classe, como os *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Penicillium* e *Aspergillus*. Esses microrganismos representam, em média, 40% da população presente em isolados de solos rizosférico (RICHARDSON, 2001). Os MSP atuam por meio de dois mecanismos, a saber: a liberação de P dos óxidos de Fe, Al e Ca presentes no solo e/ou em rochas fosfáticas através de produção e liberação de ácidos orgânicos e inorgânicos; e a ação de enzimas, como fitase e fosfatases, que mineraliza o P orgânico da matéria orgânica do solo (OWEN et al., 2015; BINI; LOPEZ, 2016).

Atualmente, existe no mercado um produto comercial (BiomaPhos®) registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a base de MSP, recomendado para a cultura do milho. Nele está contido cepas de bactérias solubilizadoras de fosfato, BRM 2084 e BRM 119, respectivamente das espécies *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2021a). As bactérias desse gênero apresentam vantagens de uso, tal que são estáveis devido a capacidade de formação de endósporos, que permite sua aplicabilidade em ambientes em condições extremas de pH e temperaturas elevadas ou exposto a defensivos agrícolas (BAHADIR et al., 2018).

Esse produto atua sobre o P adicionado por fertilizantes ou pelo P adsorvido no solo. As bactérias promovem o crescimento da área de raízes finas das plantas, aumento da produção de biofilme e a liberação de substâncias na região da rizosfera, que iram solubilizar ou mineralizar o P (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020b; SOUZA et al., 2021). Assim, eleva o aproveitamento da absorção do P e por consequência há um aumento na produtividade decorrente do acúmulo de P próximo ao sistema radicular e nos grãos (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020c). A aplicação do produto pode ser feita por duas vias, a saber: inoculação da semente; e via sulco de plantio (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2021a).

Em algumas avaliações feitas, na produção média de grãos de milho pode incrementar cerca de 8,6% que corresponde a 11,0 sacas/hectare (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020b; SOUZA et al., 2021). Em várias regiões do país para a produção de milho grão, foi possível verificar o ganho com a inoculação do produto comercial que foi maior do que o custo do produto, esses ganhos são proporcionais a sete vezes maior que o custo de aplicação, para ser mais exato a aplicação do produto equivale a 1,7 saca/hectare de milho (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020b). Por fim, embora o conhecimento sobre MSP seja fundamentado em estudos básicos realizados é evidente que são essenciais para o ciclo do P no sistema solo-planta, para um melhor crescimento e desenvolvimento de plantas de milho (SIQUEIRA et al., 2004). Além disso, o uso de bioinsumos deve ser adicionado a boas práticas de manejo a fim de evitar falhas e deslumbrar do aumento da produtividade da lavoura (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2021a).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos em área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, localizado na cidade de Sete Lagoas/ MG, latitude 19° 28' 4" Sul, longitude: 44° 14' 52" Oeste e 751 metros de altitude, na safra de 2021/2022. Em cada experimento foi avaliado 36 genótipos de milho, sendo 32 do programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo e 4 testemunhas comerciais. Esses genótipos foram avaliados em local sem aplicação de P no plantio e com dois anos de pousio, sendo considerada apenas a fertilidade natural da área (tabela 1). Dessa forma, efetuou-se adubação de base de 500 kg/ha de N e K, na formulação 8:00:16, sobre duas condições distintas, a saber: a) A1 = sem inoculação de sementes e; b) A2 = com inoculação de sementes com microorganismos solubilizadores de fosfato.

O experimento foi delineado em látice quadrado 6 x 6, com duas repetições e parcelas de duas linhas com 4,2 metros de comprimento e espaçadas por 0,70 metros. O plantio dos dois ensaios foi realizado de forma mecanizada, no sistema de plantio direto, com o uso de plantadora de parcelas. Durante a condução do experimento, os tratos culturais foram efetuados conforme as recomendações técnicas para a cultura do milho (CRUZ et al., 1996).

Tabela 1: Análises químicas de amostras do solo pré-plantio para as áreas experimentais utilizadas no experimento para as profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm.

| Profundidade (cm) | pH | Mat. Org. dag/dm ³ | P | K | Ca | Mg | Al | H + Al | SB | CTC (t) | CTC (T) | |
|----------------------|--------|-------------------------------------|-------------------------------|--------|-------|---|------|--------|--------|---------|---------|--|
| | Água | | -----mg/dm ³ ----- | | | -----cmol _c /dm ³ ----- | | | | | | |
| 0 – 20 | 6,00 | 2,50 | 14,60 | 122,00 | 5,00 | 1,00 | 0,00 | 3,60 | 6,31 | 6,31 | 9,91 | |
| 20 – 40 | 5,90 | 2,50 | 10,80 | 83,00 | 4,30 | 0,90 | 0,00 | 4,60 | 5,41 | 5,41 | 10,01 | |
| | V | m | B | Cu | Fe | Mn | Zn | S | Ca CTC | Mg CTC | K CTC | |
| | -----% | | -----mg/dm ³ ----- | | | | | | | -----% | | |
| 0 – 20 | 63,70 | 0,00 | 0,30 | 0,80 | 46,00 | 18,60 | 2,60 | 28,00 | 50,50 | 10,10 | 3,10 | |
| 20 – 40 | 54,00 | 0,00 | 0,20 | 0,90 | 54,00 | 15,00 | 1,40 | 27,00 | 43,00 | 9,00 | 2,10 | |

Mat. Org. = matéria orgânica, P = fósforo, K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, Al = alumínio, H + Al = hidrogênio + alumínio, SB = soma de bases, CTC (t) = capacidade de troca catiônica efetiva, CTC (T) = capacidade de troca catiônica em pH 7, V = saturação de bases, m = saturação de alumínio, B = boro, Cu = cobre, Fe = ferro, Mn = manganês, Zn = zinco, S = enxofre

Durante o experimento, nos dois ensaios, foram coletadas as seguintes características: i) FF = florescimento feminino, em dias; ii) FM = florescimento masculino, em dias; iii) EST = estande final: número total de plantas por parcela; iv) AC + QB = total de plantas acamadas e quebradas por parcela; v) AP = altura média das plantas da parcela medida da base do colmo até à inserção da folha bandeira, em centímetros; vi) AE = altura média da inserção da primeira espiga das plantas por parcela, medida da base do colmo até à inserção da primeira espiga, em centímetros. Cinco dias antes da colheita, nos dois ensaios, foram coletadas cinco espigas de cada parcela para avaliação das seguintes características: vii) PEP = peso de espiga com palha, em gramas; viii) PES = peso de espiga sem palha, em gramas; ix) NF = número de fileiras de grãos; x) DE = diâmetro de espiga, em milímetros; xi) diâmetro de sabugo, em milímetros; xii) CE = comprimento de espiga, em centímetros; xiii) P100 = peso de 100 grãos, em gramas. Por fim, em abril de 2022, efetuou-se a colheita dos ensaios com o uso de colhedora de parcelas, com medição automática de umidade e peso, tomando-se as características: xiv) U = umidade de grãos, em porcentagem, e; xv) PROD = produtividade de grãos por parcela, convertido para toneladas/hectare (t/ha): obtido pela conversão de quilos por parcela para toneladas por hectare, padronizado a 13% de umidade.

Para análise estatística, efetuou-se análise conjunta de variância, avaliando-se os dois experimentos e a interação genótipo x inoculante (GxI), seguindo-se análise de agrupamento de médias pelo teste de Scott-Knott (1974) e de correlação entre as características avaliadas. Por fim, foram avaliados os efeitos diretos e indiretos das características avaliadas na produtividade de grãos sob presença e ausência de inoculação com microrganismos solubilizadores de fosfato, via análise de trilha. Todas as análises foram realizadas com o uso do software GENES (CRUZ, 2013).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância conjunta indicou diferenças significativas entre as médias das variáveis avaliadas para a fonte de variação genótipos, tanto sem inoculação de sementes (A1) e com inoculação (A2) de sementes com microrganismos solubilizadores de fosfato (Tabela 2).

Entretanto, com exceção das características de NF e DE, não houve efeito significativo entre as médias avaliadas para todas as variáveis para a fonte de variação inoculante, o que denota pouco efeito do inoculante, mesmo na ausência de adubação fosfatada. Para o efeito da

interação entre genótipos e inoculação, não houve efeito significativo entre as médias avaliadas, exceto para a variável AC + QB.

Os valores de coeficiente de variação foram abaixo de 20% para a maioria das características, com exceção da variável AC + QB (66,84), indicando boa precisão experimental na condução dos experimentos.

As análises das médias das variáveis, pelo teste de Scott-Knott, não resultaram em diferenciação entre os ensaios com e sem inoculação de microrganismos solubilizadores de P, porém houve variações quanto ao agrupamento dos genótipos dentro de cada ensaio. Observando os resultados obtidos em conjunto (tabela 3), verifica-se que para cada variável analisada alguns dos genótipos apresentaram médias superiores à média geral (tabela 2), embora que entre os ensaios não obteve diferenças significativas, poucos desses genótipos tiveram produtividades maiores no ensaio com inoculação em comparação ao ensaio sem inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato.

Além disso, pode-se destacar que a área utilizada para o plantio do experimento estava em pousio, ou seja, uma área que não era utilizada para outros fins. Ainda que nesse solo não foi adicionado adubação fosfatada no plantio, o fato de que espontaneamente ele obteve um “descanso” do qual pôde-se recuperar sua estrutura e assim gerar um P residual, que pode não ter levado a planta a promover interação com os microrganismos.

O agrupamento de médias pelo teste de Scott-Knott indicou a formação de dois grupos para produtividade, quando da ausência de uso de inoculantes, e de três grupos, quando da aplicação de inoculante, o que denota uma maior variabilidade quanto a produtividade quando do uso de solubilizadores de fosfato. Os genótipos 1Q2366 e 1R2536 foram os de maior destaque na ausência e na presença de inoculação, com valores de 10,8, e 12,4, sem inoculação, e de 11,7 e 11,8 com inoculação, para a produção de grãos. Em um trabalho realizado por Coimbra et al. (2014), determinaram baixo P na área através da análise química do solo, assim utilizaram dos níveis de P no experimento, um com adubação fosfatada no plantio e outro sem adubação fosfatada, obteve-se apenas diferenças em genótipos que foram submetidos ao estresse de adubação fosfatada o que possibilitou a seleção de híbridos superiores e a identificação da variabilidade genética.

Tabela 2: Estimativas de quadrados médios para quatorze características agrônômicas avaliadas em 36 genótipos de milho com e sem uso de inoculante solubilizador de fosfato.

| FV | GL | Quadrado médio | | | | | | | |
|----------------|----|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| | | PROD | U | FF | FM | EST | AC+QB | AP | AE |
| Genótipos (G) | 35 | 10,73* | 4,24* | 13,97* | 6,94* | 24,69* | 23,44* | 543,93* | 469,02* |
| Inoculante (I) | 1 | 0,57 ^{ns} | 1,32 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | 2,78 ^{ns} | 8,03 ^{ns} | 18,78 ^{ns} | 306,25 ^{ns} |
| G x I | 35 | 2,17 ^{ns} | 0,46 ^{ns} | 2,78 ^{ns} | 2,91 ^{ns} | 6,03 ^{ns} | 6,55* | 139,94 ^{ns} | 98,61 ^{ns} |
| Resíduo | 50 | 1,46 | 0,65 | 3,09 | 2,48 | 8,88 | 2,73 | 138,99 | 94,20 |
| Média geral | | 8,55 | 15,69 | 62,94 | 63,79 | 34,32 | 2,47 | 255,22 | 142,08 |
| CV (%) | | 14,12 | 5,13 | 2,79 | 2,47 | 8,68 | 66,84 | 4,62 | 6,83 |
| | | PEP | PES | NF | DE | DS | CE | P100 | - |
| Genótipos (G) | 35 | 2010,92* | 1761,18* | 8,17* | 43,77* | 16,99* | 1,46* | 57,16* | - |
| Inoculante (I) | 1 | 88,27 ^{ns} | 16,34 ^{ns} | 9,00* | 26,01* | 1,58 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 58,52 ^{ns} | - |
| G x I | 35 | 355,60 ^{ns} | 315,25 ^{ns} | 0,47 ^{ns} | 5,56 ^{ns} | 4,17 ^{ns} | 0,40 ^{ns} | 35,52 ^{ns} | - |
| Resíduo | 50 | 410,19 | 382,96 | 0,65 | 6,20 | 4,42 | 0,41 | 34,35 | - |
| Média geral | | 197,01 | 183,20 | 15,84 | 46,46 | 24,96 | 16,62 | 29,45 | - |
| CV (%) | | 10,28 | 10,68 | 5,09 | 5,36 | 8,42 | 3,85 | 19,90 | - |

*nível de significância a 5%; ^{ns}não significativo, PROD = produção, U = umidade, FF = florescimento feminino, FM = florescimento masculino, EST = estande, AC+QB = acamamento + quebramento, AP = altura de planta, AE = altura de espiga, PEP = peso de espiga com palha, PES = peso de espiga sem palha, NF = número de fileiras de grãos, DE = diâmetro de espiga, DS = diâmetro de sabugo, CE = comprimento de espiga e P100 = peso de 100 grãos.

A umidade de grãos e o florescimento masculino e feminino são as características indicativas da precocidade de ciclo em um conjunto de genótipos de milho, porém é importante que estes componentes sejam associados a produtividade e outras características de interesse. Ocorreu a formação de dois grupos para umidade de grãos, independente da inoculação ou não do ensaio com microrganismos. Em média, a umidade de grãos foi de 14% sem a aplicação de microrganismos e de 13,5%, com o uso de solubilizadores de fosfato. Para FF e FM, a ausência de inoculação resultou na formação de um único grupo, enquanto que a inoculação com solubilizadores de fosfato resultou na formação de dois grupos, indicando uma maior variabilidade no florescimento a partir da inoculação dos genótipos em questão, o que possibilita a seleção de genótipos superiores quanto a precocidade. Nos dois ensaios, o genótipo 1Q2473 foi o mais precoce, com FF de 59 dias e FM de 61 dias.

Para a variável EST não houve diferenças significativas entre as médias avaliadas, independente da aplicação ou não de inoculante. O estande variou entre 29 e 39 plantas no ensaio sem aplicação de inoculante e entre 29 e 40 plantas no ensaio com aplicação de inoculante. Com relação ao acamamento e quebramento de plantas, na ausência de aplicação de inoculante, ocorreu a formação de dois grupos, enquanto que com a inoculação de sementes apresentaram três grupos, indicando maior diferença entre os genótipos avaliados o que contribui para uma melhor eficiência na colheita dos grãos. Nos dois ensaios os genótipos 1Q2366 e 1Q2425 não apresentaram plantas acamadas e quebradas.

Para a variável AP, no ensaio sem inoculação, não houve diferenças significativas entre as médias. No experimento com inoculação, houve formação de dois grupos, com 16 genótipos avaliados apresentaram altura igual ou abaixo de 2,5 m. Já para AE, sem inoculação, houve a formação de dois grupos, com 18 genótipos que apresentaram médias entre 120,0 e 140,0 cm. Com a aplicação de inoculante, porém, os genótipos: 1Q2366, 3R2575, 1R2628, 1Q2359, 1R2629, 1R2539, 1Q2400 e 2R2643 apresentaram maiores médias, 150,0 e 175,0 cm, em relação aos demais que apresentou valores entre 117,5 e 145,0 cm. Este fato indica a possibilidade de que sementes inoculadas com microrganismos podem ter influenciado a altura de inserção de espiga nas plantas, mesmo que não obtiveram diferenças significativas entre os dois experimentos.

Tabela 3: Médias de quatorze características agrônômicas avaliadas em 36 genótipos de milho com e sem interação com inoculante solubilizador de fosfato.

| Genótipos | PROD (t/ha) | | U (%) | | FF (dias) | | FM (dias) | | EST | | AC+QB | | AP (cm) | | AE (cm) | |
|------------|-------------|---------|---------|---------|-----------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
| | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 |
| 1Q2366 | 10,8 Aa | 11,7 Aa | 16,0 Aa | 14,8 Ab | 64 Aa | 62 Ab | 65 Aa | 63 Ab | 35 Aa | 36 Aa | 0 Ab | 0 Ac | 250,0 Aa | 255,0 Aa | 147,5 Aa | 150,0 Aa |
| 1Q2403 | 7,5 Ab | 9,2 Ab | 14,7 Ab | 14,2 Ab | 63 Aa | 64 Aa | 63 Aa | 65 Aa | 34 Aa | 34 Aa | 9 Aa | 3 Bc | 247,5 Aa | 247,5 Ab | 140,0 Ab | 140,0 Ab |
| 1P2215 | 5,9 Bb | 9,6 Aa | 16,1 Aa | 16,1 Aa | 66 Aa | 63 Ab | 66 Aa | 62 Bb | 29 Aa | 32 Aa | 1 Ab | 1 Ac | 230,0 Ba | 257,5 Aa | 140,0 Ab | 137,5 Ab |
| 3P2200 | 10,3 Aa | 8,8 Ab | 17,6 Aa | 15,9 Ba | 65 Aa | 65 Aa | 65 Aa | 65 Aa | 39 Aa | 36 Aa | 1 Ab | 2 Ac | 260,0 Aa | 250,0 Ab | 150,0 Aa | 145,0 Ab |
| 1Q2370 | 10,0 Aa | 10,1 Aa | 15,5 Ab | 16,1 Aa | 62 Aa | 59 Ab | 63 Aa | 61 Ab | 35 Aa | 33 Aa | 3 Ab | 2 Ac | 272,5 Aa | 255,0 Aa | 140,0 Ab | 137,5 Ab |
| 1Q2473 | 8,3 Ab | 8,0 Ab | 14,0 Ab | 13,5 Ab | 59 Aa | 59 Ab | 61 Aa | 61 Ab | 35 Aa | 36 Aa | 2 Ab | 5 Ab | 252,5 Aa | 260,0 Aa | 132,5 Ab | 140,0 Ab |
| 1P2206 | 8,6 Aa | 8,9 Ab | 14,5 Ab | 14,6 Ab | 63 Aa | 66 Aa | 63 Aa | 66 Aa | 33 Aa | 36 Aa | 1 Ab | 0 Ac | 262,5 Aa | 255,0 Aa | 147,5 Aa | 142,5 Ab |
| 1Q2461 | 7,3 Ab | 6,1 Ac | 14,8 Ab | 15,2 Ab | 64 Aa | 65 Aa | 64 Aa | 64 Aa | 32 Aa | 33 Aa | 8 Aa | 3 Bc | 245,0 Aa | 240,0 Ab | 135,0 Ab | 140,0 Ab |
| 1R2536 | 12,4 Aa | 11,8 Aa | 16,4 Aa | 16,4 Aa | 61 Aa | 61 Ab | 64 Aa | 64 Aa | 31 Aa | 31 Aa | 2 Ab | 0 Ac | 255,0 Aa | 242,5 Ab | 157,5 Aa | 130,0 Bb |
| AG8088PRO2 | 10,1 Aa | 8,1 Ab | 17,0 Aa | 15,1 Bb | 60 Aa | 63 Aa | 61 Aa | 64 Ab | 37 Aa | 37 Aa | 1 Ab | 1 Ac | 230,0 Aa | 220,0 Ab | 127,5 Ab | 117,5 Ab |
| 3R2575 | 9,0 Aa | 8,3 Ab | 16,7 Aa | 17,2 Aa | 64 Aa | 66 Aa | 65 Aa | 66 Aa | 30 Aa | 29 Aa | 4 Ab | 2 Ac | 272,5 Aa | 275,0 Aa | 165,0 Aa | 165,0 Aa |
| 1R2628 | 8,5 Aa | 8,6 Ab | 17,2 Aa | 17,5 Aa | 64 Aa | 64 Aa | 65 Aa | 64 Ab | 32 Aa | 33 Aa | 1 Ab | 1 Ac | 260,0 Aa | 270,0 Aa | 162,5 Aa | 160,0 Aa |
| 1Q2423 | 8,6 Aa | 8,2 Ab | 14,9 Ab | 14,3 Ab | 63 Aa | 65 Aa | 64 Aa | 66 Aa | 36 Aa | 37 Aa | 8 Aa | 5 Ab | 247,5 Aa | 247,5 Ab | 145,0 Aa | 132,5 Ab |
| 1Q2359 | 9,9 Aa | 8,9 Ab | 17,3 Aa | 18,1 Aa | 62 Aa | 59 Ab | 64 Aa | 63 Ab | 38 Aa | 36 Aa | 0 Ab | 1 Ac | 262,5 Aa | 270,0 Aa | 152,5 Aa | 157,5 Aa |
| 1R2629 | 7,6 Ab | 9,1 Ab | 17,4 Aa | 16,2 Aa | 65 Aa | 64 Ab | 66 Aa | 64 Ab | 36 Aa | 34 Aa | 2 Ab | 0 Ac | 270,0 Aa | 277,5 Aa | 160,0 Aa | 155,0 Aa |
| 1Q2425 | 10,6 Ba | 13,5 Aa | 16,5 Aa | 14,7 Bb | 64 Aa | 64 Aa | 65 Aa | 63 Ab | 38 Aa | 39 Aa | 0 Ab | 0 Ac | 258,5 Aa | 247,5 Ab | 152,5 Aa | 137,5 Ab |
| 1Q2363 | 10,0 Aa | 10,3 Aa | 15,0 Ab | 15,3 Ab | 63 Aa | 57 Bb | 64 Aa | 61 Ab | 35 Aa | 36 Aa | 1 Ab | 4 Ab | 260,0 Aa | 260,0 Aa | 140,0 Ab | 135,0 Ab |
| BRS1055 | 3,7 Ab | 4,6 Ac | 15,7 Ab | 15,3 Ab | 66 Aa | 66 Aa | 66 Aa | 67 Aa | 35 Aa | 34 Aa | 8 Aa | 11 Aa | 247,5 Aa | 265,0 Aa | 132,5 Ab | 140,0 Ab |
| 1R2540 | 6,8 Ab | 8,0 Ab | 16,4 Aa | 16,5 Aa | 63 Aa | 63 Aa | 63 Aa | 64 Ab | 34 Aa | 33 Aa | 2 Ab | 2 Ac | 250,0 Aa | 250,0 Ab | 132,5 Ab | 122,5 Ab |
| 1R2620 | 8,8 Aa | 9,8 Aa | 15,6 Ab | 15,4 Ab | 62 Aa | 62 Ab | 64 Aa | 62 Ab | 36 Aa | 38 Aa | 2 Bb | 6 Ab | 257,5 Aa | 270,0 Aa | 152,5 Aa | 145,0 Ab |
| 1R2539 | 9,1 Aa | 8,7 Ab | 17,1 Aa | 16,3 Aa | 62 Aa | 62 Ab | 65 Aa | 65 Aa | 36 Aa | 34 Aa | 7 Aa | 5 Ab | 277,5 Aa | 285,0 Aa | 162,5 Aa | 175,0 Aa |
| 1N1958 | 9,5 Aa | 7,8 Ab | 14,5 Ab | 14,4 Ab | 63 Aa | 66 Aa | 63 Aa | 66 Aa | 34 Aa | 32 Aa | 0 Ab | 0 Ac | 267,5 Aa | 245,0 Ab | 145,0 Aa | 120,0 Bb |
| 1R2622 | 7,7 Ab | 7,5 Ab | 16,2 Aa | 15,8 Aa | 65 Aa | 65 Aa | 65 Aa | 66 Aa | 37 Aa | 34 Aa | 1 Ab | 3 Ac | 255,0 Aa | 235,0 Ab | 120,0 Ab | 127,5 Ab |
| 1R2521 | 9,2 Aa | 6,1 Bc | 15,4 Ab | 14,9 Ab | 66 Aa | 69 Aa | 66 Aa | 69 Aa | 34 Aa | 32 Aa | 1 Ab | 0 Ac | 270,0 Aa | 242,5 Bb | 155,0 Aa | 130,0 Bb |
| 1Q2427 | 11,9 Aa | 10,6 Aa | 17,3 Aa | 17,3 Aa | 62 Aa | 62 Ab | 62 Aa | 64 Aa | 37 Aa | 35 Aa | 1 Ab | 1 Ac | 267,5 Aa | 260,0 Aa | 140,0 Ab | 125,0 Ab |
| 1R2529 | 7,4 Ab | 8,7 Ab | 16,8 Aa | 17,1 Aa | 62 Aa | 62 Ab | 64 Aa | 64 Aa | 38 Aa | 40 Aa | 1 Ab | 1 Ac | 252,5 Aa | 257,5 Aa | 145,0 Aa | 140,0 Ab |
| 3R2593 | 8,9 Aa | 7,0 Ac | 17,4 Aa | 17,4 Aa | 63 Aa | 66 Aa | 64 Aa | 66 Aa | 30 Aa | 25 Aa | 1 Ab | 2 Ac | 265,0 Aa | 257,5 Aa | 135,0 Ab | 135,0 Ab |
| 1R2526 | 7,1 Ab | 6,4 Ac | 14,7 Ab | 15,5 Ab | 64 Aa | 66 Aa | 64 Aa | 66 Aa | 38 Aa | 34 Aa | 9 Aa | 2 Bc | 260,0 Aa | 252,5 Ab | 152,5 Aa | 135,0 Ab |
| 1R2546 | 5,5 Ab | 6,6 Ac | 15,4 Ab | 15,6 Ab | 66 Aa | 63 Aa | 66 Aa | 62 Bb | 34 Aa | 32 Aa | 1 Ab | 4 Ab | 232,5 Aa | 232,5 Ab | 127,5 Ab | 142,5 Ab |
| 1R2631 | 7,6 Ab | 6,4 Ac | 15,1 Ab | 15,5 Ab | 63 Aa | 64 Aa | 64 Aa | 64 Aa | 32 Aa | 37 Aa | 6 Aa | 2 Bc | 250,0 Aa | 245,0 Ab | 135,0 Ab | 137,5 Ab |
| 1R2530 | 7,1 Ab | 8,4 Ab | 15,9 Aa | 15,7 Ab | 61 Aa | 64 Aa | 63 Aa | 65 Aa | 34 Aa | 39 Aa | 4 Ab | 4 Ab | 255,0 Aa | 247,5 Ab | 137,5 Ab | 137,5 Ab |
| 2R2642 | 7,6 Bb | 10,9 Aa | 15,3 Ab | 15,1 Ab | 65 Aa | 62 Ab | 66 Aa | 63 Ab | 35 Aa | 36 Aa | 0 Ab | 1 Ac | 267,5 Aa | 270,0 Aa | 140,0 Ab | 140,0 Ab |
| 1F640PRO2 | 5,9 Ab | 6,4 Ac | 14,4 Ab | 15,0 Ab | 60 Aa | 60 Ab | 61 Aa | 62 Ab | 32 Aa | 32 Aa | 8 Aa | 6 Ab | 232,5 Aa | 235,0 Ab | 132,5 Ab | 135,0 Ab |
| 1P2181 | 7,8 Ab | 8,6 Ab | 14,3 Ab | 14,6 Ab | 61 Aa | 61 Ab | 63 Aa | 63 Ab | 38 Aa | 33 Aa | 8 Aa | 5 Ab | 242,5 Aa | 257,5 Aa | 132,5 Ab | 137,5 Ab |
| 1Q2400 | 9,3 Aa | 8,6 Ab | 14,5 Ab | 14,2 Ab | 65 Aa | 66 Aa | 66 Aa | 65 Aa | 36 Aa | 34 Aa | 2 Ab | 3 Ac | 255,0 Aa | 275,0 Aa | 150,0 Aa | 160,0 Aa |
| 2R2643 | 9,5 Aa | 9,8 Aa | 14,8 Ab | 14,6 Ab | 63 Aa | 62 Ab | 63 Aa | 63 Ab | 35 Aa | 38 Aa | 0 Ab | 1 Ac | 260,0 Aa | 262,5 Aa | 145,0 Aa | 155,0 Aa |

| Genótipos | PEP (g) | | PES (g) | | NF | | DE (mm) | | DS (mm) | | CE (cm) | | P100 (g) | | - | - |
|------------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---|---|
| | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | | |
| 1Q2366 | 193,4 Aa | 225,4 Aa | 178,3 Aa | 207,0 Aa | 18 Aa | 16 Aa | 48,2 Aa | 50,3 Aa | 25,9 Aa | 24,8 Ac | 16,2 Aa | 16,2 Ab | 27,8 Aa | 32,3 Ab | - | - |
| 1Q2403 | 171,6 Aa | 188,1 Aa | 162,6 Aa | 174,5 Aa | 16 Ab | 15 Ab | 44,5 Ab | 33,4 Bc | 23,8 Ba | 34,5 Aa | 16,4 Aa | 16,0 Ab | 24,3 Aa | 28,2 Ab | - | - |
| 1P2215 | 186,1 Aa | 220,2 Aa | 173,4 Aa | 209,5 Aa | 18 Aa | 17 Aa | 45,1 Ab | 47,4 Aa | 24,4 Aa | 24,4 Ac | 17,0 Aa | 17,2 Aa | 25,3 Aa | 29,8 Ab | - | - |
| 3P2200 | 209,0 Aa | 184,2 Aa | 193,1 Aa | 170,9 Aa | 14 Ac | 14 Ab | 47,7 Aa | 45,8 Aa | 24,3 Aa | 23,6 Ac | 17,1 Aa | 16,3 Ab | 34,4 Aa | 28,1 Ab | - | - |
| 1Q2370 | 250,0 Aa | 234,4 Aa | 234,3 Aa | 223,4 Aa | 20 Aa | 19 Aa | 55,1 Aa | 53,0 Aa | 30,5 Aa | 28,7 Ab | 16,5 Aa | 16,2 Ab | 30,9 Aa | 30,9 Ab | - | - |
| 1Q2473 | 183,7 Aa | 185,3 Aa | 175,0 Aa | 176,4 Aa | 17 Ab | 16 Ab | 44,7 Ab | 44,6 Aa | 23,2 Aa | 23,5 Ac | 16,7 Aa | 16,4 Ab | 28,1 Aa | 29,4 Ab | - | - |
| 1P2206 | 198,6 Aa | 201,7 Aa | 188,0 Aa | 188,4 Aa | 18 Aa | 17 Aa | 47,2 Aa | 46,7 Aa | 25,2 Aa | 24,6 Ac | 16,6 Aa | 16,1 Ab | 25,7 Aa | 29,3 Ab | - | - |
| 1Q2461 | 174,2 Aa | 172,5 Aa | 162,2 Aa | 162,2 Aa | 16 Ab | 15 Ab | 45,2 Ab | 43,3 Ab | 24,7 Aa | 23,7 Ac | 15,6 Aa | 15,6 Ab | 23,1 Aa | 25,2 Ab | - | - |
| 1R2536 | 192,2 Aa | 201,3 Aa | 180,5 Aa | 188,2 Aa | 17 Ab | 16 Aa | 48,4 Aa | 48,3 Aa | 25,9 Aa | 26,1 Ac | 15,5 Aa | 15,5 Ab | 30,2 Aa | 30,3 Ab | - | - |
| AG8088PRO2 | 216,5 Aa | 197,2 Aa | 182,1 Aa | 185,3 Aa | 18 Aa | 17 Aa | 49,4 Aa | 48,4 Aa | 29,2 Aa | 28,2 Ab | 17,6 Aa | 17,7 Aa | 29,5 Aa | 27,9 Ab | - | - |
| 3R2575 | 199,1 Aa | 186,4 Aa | 183,3 Aa | 169,2 Aa | 14 Ac | 13 Ab | 46,5 Ab | 45,6 Aa | 26,4 Aa | 26,4 Ac | 17,4 Aa | 17,2 Aa | 32,4 Aa | 32,4 Ab | - | - |
| 1R2628 | 207,6 Aa | 215,5 Aa | 189,0 Aa | 197,6 Aa | 16 Ac | 15 Ab | 46,5 Ab | 46,6 Aa | 25,2 Aa | 24,4 Ac | 16,8 Aa | 17,1 Aa | 31,4 Aa | 31,6 Ab | - | - |
| 1Q2423 | 180,8 Aa | 185,6 Aa | 170,1 Aa | 176,7 Aa | 16 Ac | 14 Ab | 45,1 Ab | 45,4 Aa | 22,9 Aa | 23,7 Ac | 17,9 Aa | 17,8 Aa | 27,9 Aa | 28,3 Ab | - | - |
| 1Q2359 | 233,1 Aa | 196,8 Aa | 218,8 Aa | 184,3 Aa | 17 Ab | 16 Ab | 52,2 Aa | 48,1 Aa | 26,2 Aa | 25,2 Ac | 15,9 Aa | 15,1 Ab | 33,6 Aa | 33,1 Ab | - | - |
| 1R2629 | 161,4 Aa | 198,7 Aa | 147,8 Aa | 184,2 Aa | 15 Ac | 14 Ab | 42,2 Ab | 44,4 Aa | 22,4 Aa | 23,4 Ac | 16,0 Aa | 16,9 Aa | 27,8 Aa | 32,3 Ab | - | - |
| 1Q2425 | 230,5 Aa | 220,3 Aa | 212,7 Aa | 202,5 Aa | 15 Ac | 15 Ab | 49,8 Aa | 49,3 Aa | 23,2 Aa | 24,8 Ac | 17,5 Aa | 17,2 Aa | 33,6 Aa | 29,7 Ab | - | - |
| 1Q2363 | 184,5 Aa | 217,2 Aa | 173,1 Aa | 199,0 Aa | 17 Ab | 17 Aa | 46,6 Ab | 48,2 Aa | 23,0 Aa | 24,4 Ac | 15,7 Aa | 16,9 Aa | 24,9 Aa | 28,1 Ab | - | - |
| BRS1055 | 143,4 Aa | 148,6 Aa | 130,4 Aa | 142,0 Aa | 14 Ac | 14 Ab | 39,7 Ab | 37,3 Ac | 22,3 Aa | 21,6 Ac | 16,4 Aa | 17,6 Aa | 21,5 Aa | 26,1 Ab | - | - |
| 1R2540 | 216,7 Aa | 204,8 Aa | 200,3 Aa | 183,1 Aa | 16 Ab | 14 Bb | 49,2 Aa | 46,7 Aa | 26,9 Aa | 25,8 Ac | 16,2 Aa | 16,0 Ab | 32,8 Aa | 34,2 Ab | - | - |
| 1R2620 | 195,1 Aa | 189,3 Aa | 184,8 Aa | 179,7 Aa | 18 Aa | 17 Aa | 47,7 Aa | 46,9 Aa | 24,6 Aa | 24,5 Ac | 17,2 Aa | 16,4 Ab | 26,7 Aa | 27,4 Ab | - | - |
| 1R2539 | 203,6 Aa | 201,8 Aa | 190,4 Aa | 187,7 Aa | 15 Ac | 15 Ab | 46,4 Ab | 46,1 Aa | 23,0 Aa | 23,6 Ac | 16,5 Aa | 17,0 Aa | 30,4 Aa | 29,4 Ab | - | - |
| 1N1958 | 210,8 Aa | 193,0 Aa | 201,9 Aa | 182,5 Aa | 17 Ab | 16 Aa | 47,5 Aa | 47,0 Aa | 24,4 Aa | 24,1 Ac | 16,7 Aa | 16,5 Ab | 28,4 Aa | 28,8 Ab | - | - |
| 1R2622 | 206,0 Aa | 185,0 Aa | 187,7 Aa | 167,6 Aa | 16 Ab | 16 Aa | 47,4 Aa | 46,3 Aa | 25,2 Aa | 25,8 Ac | 17,0 Aa | 16,7 Ab | 26,0 Aa | 27,0 Ab | - | - |
| 1R2521 | 186,3 Aa | 157,4 Aa | 170,1 Aa | 144,5 Aa | 16 Ab | 16 Ab | 44,2 Ab | 40,9 Ab | 22,8 Aa | 23,0 Ac | 16,4 Aa | 17,2 Aa | 28,7 Aa | 22,2 Ab | - | - |
| 1Q2427 | 252,6 Aa | 262,9 Aa | 236,3 Aa | 244,7 Aa | 18 Aa | 18 Aa | 53,2 Aa | 53,1 Aa | 30,4 Aa | 30,7 Ab | 17,3 Aa | 18,0 Aa | 31,1 Aa | 32,2 Ab | - | - |
| 1R2529 | 198,7 Aa | 201,5 Aa | 184,5 Aa | 188,8 Aa | 16 Ab | 16 Aa | 47,8 Aa | 48,4 Aa | 25,3 Aa | 26,0 Ac | 16,0 Aa | 16,1 Ab | 27,7 Aa | 28,9 Ab | - | - |
| 3R2593 | 202,1 Aa | 190,2 Aa | 189,1 Aa | 175,8 Aa | 14 Ac | 14 Ab | 46,8 Ab | 45,6 Aa | 25,4 Aa | 25,8 Ac | 16,5 Aa | 16,6 Ab | 34,8 Aa | 32,1 Ab | - | - |
| 1R2526 | 180,2 Aa | 171,2 Aa | 166,4 Aa | 164,0 Aa | 14 Ac | 14 Ab | 43,5 Ab | 43,0 Ab | 23,1 Aa | 22,3 Ac | 17,0 Aa | 17,8 Aa | 29,4 Ba | 60,9 Aa | - | - |
| 1R2546 | 159,0 Aa | 187,1 Aa | 148,3 Aa | 175,8 Aa | 14 Ac | 15 Ab | 42,4 Ab | 45,8 Aa | 23,8 Aa | 26,6 Ac | 16,1 Aa | 16,1 Ab | 29,4 Aa | 29,5 Ab | - | - |
| 1R2631 | 179,7 Aa | 144,8 Aa | 165,1 Aa | 134,3 Aa | 16 Ab | 15 Ab | 44,2 Ab | 42,0 Ab | 24,3 Aa | 22,9 Ac | 16,2 Aa | 15,4 Ab | 26,2 Aa | 23,4 Ab | - | - |
| 1R2530 | 204,3 Aa | 196,1 Aa | 188,9 Aa | 182,2 Aa | 14 Ac | 14 Ab | 45,7 Ab | 45,0 Aa | 23,0 Aa | 22,7 Ac | 16,7 Aa | 16,6 Ab | 32,3 Aa | 30,4 Ab | - | - |
| 2R2642 | 232,6 Aa | 243,2 Aa | 216,4 Aa | 229,2 Aa | 18 Aa | 17 Aa | 50,8 Aa | 49,2 Aa | 27,6 Aa | 27,1 Ac | 16,9 Ba | 18,3 Aa | 32,1 Aa | 31,8 Ab | - | - |
| 1F640PRO2 | 187,5 Aa | 176,7 Aa | 174,0 Aa | 166,3 Aa | 17 Ab | 16 Aa | 46,2 Ab | 45,2 Aa | 23,9 Aa | 22,9 Ac | 16,6 Aa | 16,0 Ab | 26,4 Aa | 25,8 Ab | - | - |
| 1P2181 | 196,8 Aa | 196,9 Aa | 182,7 Aa | 182,1 Aa | 16 Ab | 16 Aa | 48,2 Aa | 48,1 Aa | 24,0 Aa | 24,7 Ac | 16,1 Aa | 16,3 Ab | 29,3 Aa | 29,5 Ab | - | - |
| 1Q2400 | 176,2 Aa | 159,9 Aa | 164,8 Aa | 148,2 Aa | 14 Ac | 14 Ab | 43,0 Ab | 42,2 Ab | 22,7 Aa | 23,0 Ac | 16,9 Aa | 17,2 Aa | 25,6 Aa | 26,3 Ab | - | - |
| 2R2643 | 217,0 Aa | 223,0 Aa | 201,1 Aa | 205,3 Aa | 18 Aa | 18 Aa | 50,6 Aa | 50,9 Aa | 27,0 Aa | 25,8 Ac | 17,9 Aa | 16,4 Bb | 27,7 Aa | 30,4 Ab | - | - |

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na horizontal ou letras minúsculas na vertical não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância de 5%, A1 = sem inoculação de sementes; A2 = com inoculação de sementes, PROD = produção, U = umidade, FF = florescimento feminino, FM = florescimento masculino, EST = estande,

AC+QB = acamamento + quebramento, AP = altura de planta, AE = altura de espiga, PEP = peso de espiga com palha, PES = peso de espiga sem palha, NF = número de fileiras de grãos, DE = diâmetro de espiga, DS = diâmetro de sabugo, CE = comprimento de espiga e P100 = peso de 100 grãos.

Com relação as variáveis PEP e PES, não houve diferenças significativas entre as médias em nenhum dos experimentos. Porém, as demais características ligadas a espigas apresentaram grande variabilidade. No experimento sem inoculação, para a variável NF houve a formação de três grupos, sendo os genótipos 1Q2366, 1P2215, 1Q2370, 1P2206, AG8088PRO2, 1R2620, 1Q2427, 2R2642 e 2R2643 os de maior número de fileiras de grãos (igual ou acima de 18 fileiras). Para o ensaio com inoculação de solubilizadores de P, os genótipos 1Q2370, 1Q2427 e 2R2643 foram de maior destaque, apresentaram médias de NF superiores a 18 fileiras.

As variáveis DE, DS e CE são indicativos da dimensão dos grãos e produtividade como um todo. Para a variável DE, 17 genótipos apresentaram médias superiores (entre 47,2 e 55,1 mm) na ausência de inoculação, em destaque os genótipos: 1Q2370, 1Q2359 e 1Q2427, respectivamente, valores de 55,1, 52,2 e 53,2 mm. No experimento com inoculação de solubilizadores de P, os genótipos 1Q2403 e BRS1055 tiveram médias inferiores, respectivamente 33,4 e 37,3 mm. Não foram encontradas diferenças significativas entre genótipos pelo teste de Scott-Knott no experimento sem inoculação para a variável DS. No entanto, no experimento com inoculação de P, o genótipo 1Q2403 apresentou média superior aos demais, com valor de 34,5 mm. Quanto a característica CE, na ausência de inoculação, não houve diferença significativas entre as médias dos genótipos, enquanto que no ensaio com inoculação, se formaram dois grupos, sendo destaque os genótipos AG8088PRO2, 1Q2423, 1R2526 e 2R2642 de maior comprimento de espiga, com valores entre 17,7 e 18,3 cm.

Para a variável P100 não foram encontradas diferenças significativas entre as médias apresentadas pelo teste de Scott-Knott, para o ensaio sem inoculação, indicando pouca variação quanto ao tamanho de grãos para os genótipos em estudo. No entanto, o ensaio com inoculação, o genótipo 1R2526 apresentou maior média de peso de 100 grãos, com valor de 60,9 g.

Os coeficientes de correlação de Pearson indicam a relação entre as variáveis analisadas, sendo classificadas, segundo Cohen (1988), como moderadas ($0,29 < r < 0,50$) e fortes ($r > 0,50$). A tabela 4 apresenta as correlações entre as variáveis no ensaio sem inoculação de microrganismos solubilizadores de P. Observou alta e positiva correlação entre PES e PEP, DE e PEP, e DE e PES, com valores de 0,99, 0,96 e 0,95, respectivamente, o que indica que essas variáveis estão diretamente relacionadas, ou seja, à medida que uma aumenta a outra também aumenta. As análises de correlação indicam que a produtividade foi desfavorecida (-0,46) pelo acamamento e quebramento das plantas, no que implica em perdas de planta por parcela

diminuindo o estante. Entretanto, a PROD apresentou correlação positiva e moderada com as variáveis AP (0,47), AE (0,41), PES (0,50), DS (0,43) e P100 (0,39), indicando que as mesmas contribuem para a magnitude da produtividade. Além disso, apresentou correlação positiva e forte com as variáveis PEP (0,51) e DE (0,60), ou seja, através dessas características a produtividade pode ser favorecida.

A tabela 5 apresenta as correlações entre as variáveis no ensaio com inoculação de microrganismos solubilizadores de P. Observou que as correlações entre FM e FF, PES e PEP, e DE e PEP foram significativas e altas, respectivamente, valores de 0,85, 0,99 e 0,78. As variáveis FF (-0,42) e FM (-0,40) tiveram correlação negativa e moderada com a produtividade, indicando que a maior precocidade implica em redução de produtividade, decorrente possivelmente do menor período vegetativo. Entretanto, PROD teve correlação positiva e moderada com as variáveis EST (0,36), NF (0,47) e DS (0,38) e correlação positiva e forte com as variáveis PEP (0,75), PES (0,72) e DE (0,60). Desta forma, uma maior população de plantas e espigas maiores são preponderantes para a composição da produtividade. Por outro lado, apresentou correlação negativa e forte com a variável AC+QB (-0,52), ou seja, quanto maior o número de plantas acamadas e quebradas mais desfavorecida será a produtividade para os genótipos avaliados.

A fim de uma melhor compreensão do efeito da interação com microrganismos na expressão das características avaliadas, procedeu-se a decomposição dos efeitos de correlação via análise de trilha, em que a produtividade foi considerada a característica principal, sendo as demais características as variáveis explicativas do efeito. Na tabela 6, são apresentados os coeficientes de análise de trilha no ensaio sem inoculação de microrganismos solubilizadores de P. Observa-se que o coeficiente de determinação foi de 82,3%, indicando boa precisão na construção das matrizes de correlação.

Dentre as variáveis avaliadas, verifica-se que a variável PEP foi a mais influente, com estimativa de efeito direto, negativo (-3,963) e maior do que o efeito residual, portanto, é a variável principal na determinação da PROD. O peso de espiga com palha é um referencial da possível produtividade esperada, uma vez que a produção de grãos se dá neste órgão da planta. Entretanto, a correlação total teve efeito positivo (0,514) e maior do que o efeito residual, assim pôde-se observar que tal variável sofreu influência positiva das demais variáveis explicativas, sendo que as variáveis PES e DE foram de valores mais elevados, respectivamente, 0,807 e 2,626.

Tabela 4: Correlações de Pearson entre quatorze características agronômicas avaliadas em plantas, espigas e grãos de 36 genótipos de milho sem interação a inoculante solubilizador de fosfato.

| Características | Características | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| | PROD | U | FF | FM | EST | AC+QB | AP | AE | PEP | PES | NF | DE | DS | CE | P100 |
| PROD | 1,00 | 0,30 | -0,26 | -0,12 | 0,24 | -0,46* | 0,47** | 0,41** | 0,51** | 0,50** | 0,32 | 0,60** | 0,43* | 0,14 | 0,39* |
| U | | 1,00 | 0,17 | 0,33 | 0,07 | -0,38* | 0,25 | 0,29 | 0,30* | 0,24 | -0,19 | 0,26 | 0,31 | 0,03 | 0,57** |
| FF | | | 1,00 | 0,88** | -0,22 | -0,09 | 0,10 | 0,22 | -0,28 | -0,30 | -0,41* | -0,41* | -0,20 | 0,06 | -0,11 |
| FM | | | | 1,00 | -0,18 | -0,21 | 0,20 | 0,37* | -0,25 | -0,26 | -0,43* | -0,35* | -0,27 | -0,06 | 0,02 |
| EST | | | | | 1,00 | -0,08 | 0,12 | -0,04 | 0,24 | 0,17 | 0,03 | 0,26 | 0,01 | 0,17 | 0,04 |
| AC+QB | | | | | | 1,00 | -0,26 | -0,10 | -0,44* | -0,44 | -0,30 | -0,42 | -0,36 | -0,10 | -0,35 |
| AP | | | | | | | 1,00 | 0,62** | 0,41* | 0,45** | -0,05 | 0,28 | 0,11 | 0,01 | 0,40* |
| AE | | | | | | | | 1,00 | 0,08 | 0,11 | -0,19 | 0,02 | -0,11 | 0,09 | 0,29 |
| PEP | | | | | | | | | 1,00 | 0,99** | 0,50** | 0,96** | 0,78** | 0,27 | 0,65** |
| PES | | | | | | | | | | 1,00 | 0,49** | 0,95** | 0,73** | 0,21 | 0,61** |
| NF | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,62** | 0,61** | -0,02 | -0,14 |
| DE | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,82** | 0,18 | 0,54** |
| DS | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,20 | 0,37* |
| CE | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,15 |
| P100 | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 |

PROD = produção, U = umidade, FF = florescimento feminino, FM = florescimento masculino, EST = estande, AC+QB = acamamento + quebramento, AP = altura de planta, AE = altura de espiga, PEP = peso de espiga com palha, PES = peso de espiga sem palha, NF = número de fileiras de grãos, DE = diâmetro de espiga, DS = diâmetro de sabugo, CE = comprimento de espiga e P100 = peso de 100 grãos, **, * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Tabela 5: Correlações de Pearson entre quatorze características agrônômicas avaliadas em 36 genótipos de milho com interação a inoculante solubilizador de fosfato.

| Características | Características | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|------|---------|--------|-------|---------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|
| | PROD | U | FF | FM | EST | AC+QB | AP | AE | PEP | PES | NF | DE | DS | CE | P100 |
| PROD | 1,00 | 0,03 | -0,42** | -0,40* | 0,36* | -0,52** | 0,14 | 0,12 | 0,75** | 0,72** | 0,47** | 0,60** | 0,38* | 0,03 | 0,01 |
| U | | 1,00 | -0,18 | -0,01 | -0,28 | -0,23 | 0,36 | 0,16 | 0,31 | 0,26 | -0,06 | 0,28 | 0,14 | -0,09 | 0,28 |
| FF | | | 1,00 | 0,85** | -0,19 | -0,01 | -0,12 | -0,08 | -0,53** | -0,54** | -0,57** | -0,49** | -0,16 | 0,31 | 0,01 |
| FM | | | | 1,00 | -0,21 | 0,05 | -0,02 | -0,04 | -0,48** | -0,49** | -0,51** | -0,47** | -0,10 | 0,30 | 0,01 |
| EST | | | | | 1,00 | -0,03 | -0,08 | -0,04 | 0,19 | 0,20 | 0,26 | 0,22 | -0,05 | 0,06 | -0,01 |
| AC+QB | | | | | | 1,00 | 0,00 | -0,02 | -0,48** | -0,43** | -0,25 | -0,42** | -0,29 | 0,06 | -0,20 |
| AP | | | | | | | 1,00 | 0,63** | 0,20 | 0,18 | -0,11 | 0,05 | -0,10 | 0,17 | 0,16 |
| AE | | | | | | | | 1,00 | -0,04 | -0,05 | -0,29 | -0,03 | -0,28 | -0,02 | 0,00 |
| PEP | | | | | | | | | 1,00 | 0,99** | 0,62** | 0,78** | 0,51** | 0,18 | 0,20 |
| PES | | | | | | | | | | 1,00 | 0,66** | 0,77** | 0,50** | 0,21 | 0,23 |
| NF | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,64** | 0,39* | -0,05 | -0,10 |
| DE | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,12 | 0,05 | 0,13 |
| DS | | | | | | | | | | | | | 1,00 | -0,02 | 0,03 |
| CE | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,27 |
| P100 | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 |

PROD = produção, U = umidade, FF = florescimento feminino, FM = florescimento masculino, EST = estande, AC+QB = acamamento + quebramento, AP = altura de planta, AE = altura de espiga, PEP = peso de espiga com palha, PES = peso de espiga sem palha, NF = número de fileiras de grãos, DE = diâmetro de espiga, DS = diâmetro de sabugo, CE = comprimento de espiga e P100 = peso de 100 grãos, **, * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Em seguida a variável DE também apresentou influência sobre PROD e estimativa maior do que o efeito residual com efeito direto e positivo (2,738). Além disso, foi observado que a variável DE sofreu influência de efeitos indiretos das variáveis PEP (-3,801) e PES (0,775) que foram maiores que o efeito residual, no entanto não sofreram com a correlação total (0,602). Por sua vez, o efeito direto das variáveis AP (0,547), PES (0,819) e P100 (0,603) foram positivos e maiores que o efeito residual, dessa forma, também são características que devem ser consideradas na escolha do genótipo para a variável PROD.

As variáveis FF (0,210), EST (0,252), AE (0,113), NF (0,175), DS (0,246) e CE (0,312) apresentaram efeitos diretos e positivos, mas com valores baixos, indicando uma baixa contribuição para a variável PROD. Assim, a correlação destas características com a produtividade apresentou valores abaixo do efeito residual devido a influências causadas pelos efeitos indiretos. As variáveis U, FM e AC+QB, apresentaram efeitos diretos, negativos e valores abaixo do efeito residual, respectivamente, valores de -,0063, -0,061 e -0,135. Conseqüentemente, sofreu influências dos efeitos indiretos que por coincidência foram as mesmas variáveis PEP e DE, que apresentaram valores maiores do que o efeito residual.

Na tabela 7, estão os coeficientes de trilha, efeitos diretos e efeitos indiretos das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos (PROD), para o ensaio com o uso de microrganismos solubilizadores de fosfato. Neste ensaio, o coeficiente de determinação foi de 77,4%. Da mesma forma que no ensaio sem inoculação, a variável PEP (2,884) apresentou efeito direto e positivo, assim foi a mais influente com valor maior do que o efeito residual e apresentou uma correlação total de 0,754. Assim, pode dizer que essa variável é a principal determinante para a variável PROD. Também foi observado o efeito indireto maior que o efeito residual entre PEP e PES com de valor -2,151.

Em seguida, a variável PES também apresentou efeito direto, negativo (-2,167) e maior que o efeito residual. No entanto, apresentou uma correlação total positiva (0,725), que sofreu influência do efeito indireto da variável PEP (2,862). As variáveis FM (0,145), EST (0,148), AE (0,201), NF (0,006), DE (0,026), DS (0,020) e P100 (0,033) apresentarem efeitos diretos e positivos, mas com valores inferiores indicando uma baixa contribuição para a variável PROD. Assim, possivelmente, a correlação total apresentou valores inferiores ao valor do efeito residual devido as influências dos efeitos indiretos.

Tabela 6: Estimativas dos efeitos diretos (diagonal em negrito) e indiretos (diagonal sem negrito) de treze características agrônômicas na produtividade (t/ha) de 36 genótipos de milho sem interação a inoculante solubilizador de fosfato, obtido por análise de trilha.

| Características | U | FF | FM | EST | AC+QB | AP | AE | PEP | PES | NF | DE | DS | CE | P100 |
|-----------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| U | -0,063 | -0,011 | -0,021 | -0,005 | 0,024 | -0,016 | -0,019 | -0,019 | -0,015 | 0,012 | -0,016 | -0,020 | -0,002 | -0,036 |
| FF | 0,035 | 0,210 | 0,185 | -0,045 | -0,020 | 0,021 | 0,045 | -0,058 | -0,064 | -0,085 | -0,086 | -0,041 | 0,013 | -0,024 |
| FM | -0,020 | -0,054 | -0,061 | 0,011 | 0,013 | -0,012 | -0,023 | 0,015 | 0,016 | 0,027 | 0,022 | 0,016 | 0,004 | -0,001 |
| EST | 0,019 | -0,054 | -0,044 | 0,252 | -0,019 | 0,030 | -0,009 | 0,061 | 0,042 | 0,008 | 0,064 | 0,003 | 0,043 | 0,010 |
| AC+QB | 0,051 | 0,013 | 0,029 | 0,010 | -0,135 | 0,035 | 0,013 | 0,059 | 0,059 | 0,041 | 0,057 | 0,049 | 0,013 | 0,047 |
| AP | 0,139 | 0,055 | 0,108 | 0,066 | -0,142 | 0,547 | 0,338 | 0,222 | 0,249 | -0,029 | 0,153 | 0,061 | 0,005 | 0,218 |
| AE | 0,033 | 0,024 | 0,042 | -0,004 | -0,011 | 0,070 | 0,113 | 0,009 | 0,012 | -0,021 | 0,002 | -0,012 | 0,010 | 0,033 |
| PEP | -1,208 | 1,092 | 0,972 | -0,967 | 1,728 | -1,610 | -0,329 | -3,963 | -3,906 | -1,973 | -3,801 | -3,102 | -1,066 | -2,562 |
| PES | 0,199 | -0,248 | -0,214 | 0,138 | -0,359 | 0,372 | 0,090 | 0,807 | 0,819 | 0,404 | 0,775 | 0,596 | 0,174 | 0,500 |
| NF | -0,034 | -0,071 | -0,076 | 0,006 | -0,053 | -0,009 | -0,033 | 0,087 | 0,086 | 0,175 | 0,109 | 0,107 | -0,003 | -0,024 |
| DE | 0,714 | -1,117 | -0,969 | 0,702 | -1,160 | 0,767 | 0,046 | 2,626 | 2,592 | 1,704 | 2,738 | 2,237 | 0,492 | 1,484 |
| DS | 0,077 | -0,049 | -0,065 | 0,003 | -0,089 | 0,028 | -0,026 | 0,193 | 0,179 | 0,150 | 0,201 | 0,246 | 0,048 | 0,092 |
| CE | 0,010 | 0,020 | -0,020 | 0,053 | -0,030 | 0,003 | 0,027 | 0,084 | 0,066 | -0,005 | 0,056 | 0,061 | 0,312 | 0,048 |
| P100 | 0,343 | -0,068 | 0,012 | 0,025 | -0,210 | 0,241 | 0,177 | 0,390 | 0,369 | -0,084 | 0,327 | 0,225 | 0,093 | 0,603 |
| Total | 0,297 | -0,258 | -0,123 | 0,245 | -0,464 | 0,466 | 0,410 | 0,514 | 0,504 | 0,322 | 0,602 | 0,426 | 0,137 | 0,388 |
| Coeficiente de determinação | | | | | | | | | | | | | | 0,823 |
| Efeito da variável residual | | | | | | | | | | | | | | 0,421 |

U = umidade, FF = florescimento feminino, FM = florescimento masculino, EST = estande, AC+QB = acamamento + quebraimento, AP = altura de planta, AE = altura de espiga, PEP = peso de espiga com palha, PES = peso de espiga sem palha, NF = número de fileiras de grãos, DE = diâmetro de espiga, DS = diâmetro de sabugo, CE = comprimento de espiga e P100 = peso de 100 grãos.

Tabela 7: Estimativas dos efeitos diretos (diagonal em negrito) e indiretos (diagonal sem negrito) de treze características agrônômicas na produtividade (t/ha) de 36 genótipos de milho com interação a inoculante solubilizador de fosfato, obtido por análise de trilha.

| Características | U | FF | FM | EST | AC+QB | AP | AE | PEP | PES | NF | DE | DS | CE | P100 |
|-----------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| U | -0,341 | 0,060 | 0,005 | 0,095 | 0,077 | -0,122 | -0,056 | -0,105 | -0,090 | 0,022 | -0,097 | -0,048 | 0,030 | -0,096 |
| FF | 0,031 | -0,175 | -0,148 | 0,033 | 0,001 | 0,021 | 0,014 | 0,092 | 0,094 | 0,100 | 0,086 | 0,027 | -0,053 | -0,002 |
| FM | -0,002 | 0,123 | 0,145 | -0,031 | 0,008 | -0,003 | -0,006 | -0,070 | -0,071 | -0,075 | -0,068 | -0,015 | 0,043 | 0,002 |
| EST | -0,041 | -0,028 | -0,032 | 0,148 | -0,004 | -0,012 | -0,006 | 0,028 | 0,029 | 0,038 | 0,033 | -0,008 | 0,009 | -0,002 |
| AC+QB | 0,031 | 0,001 | -0,007 | 0,004 | -0,135 | 0,000 | 0,003 | 0,064 | 0,058 | 0,033 | 0,056 | 0,039 | -0,008 | 0,027 |
| AP | -0,022 | 0,007 | 0,001 | 0,005 | 0,000 | -0,062 | -0,039 | -0,012 | -0,011 | 0,007 | -0,003 | 0,006 | -0,011 | -0,010 |
| AE | 0,033 | -0,016 | -0,008 | -0,008 | -0,005 | 0,126 | 0,201 | -0,007 | -0,011 | -0,057 | -0,005 | -0,057 | -0,004 | 0,001 |
| PEP | 0,887 | -1,525 | -1,388 | 0,540 | -1,373 | 0,585 | -0,107 | 2,884 | 2,862 | 1,797 | 2,245 | 1,480 | 0,521 | 0,571 |
| PES | -0,570 | 1,163 | 1,065 | -0,428 | 0,940 | -0,386 | 0,117 | -2,151 | -2,167 | -1,423 | -1,677 | -1,076 | -0,456 | -0,508 |
| NF | 0,000 | -0,003 | -0,003 | 0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,002 | 0,004 | 0,004 | 0,006 | 0,004 | 0,002 | 0,000 | -0,001 |
| DE | 0,007 | -0,013 | -0,012 | 0,006 | -0,011 | 0,001 | -0,001 | 0,020 | 0,020 | 0,017 | 0,026 | 0,003 | 0,001 | 0,003 |
| DS | 0,003 | -0,003 | -0,002 | -0,001 | -0,006 | -0,002 | -0,006 | 0,010 | 0,010 | 0,008 | 0,002 | 0,020 | 0,000 | 0,001 |
| CE | 0,005 | -0,016 | -0,015 | -0,003 | -0,003 | -0,009 | 0,001 | -0,009 | -0,011 | 0,003 | -0,002 | 0,001 | -0,051 | -0,014 |
| P100 | 0,009 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -0,007 | 0,005 | 0,000 | 0,007 | 0,008 | -0,003 | 0,004 | 0,001 | 0,009 | 0,033 |
| Total | 0,029 | -0,425 | -0,399 | 0,361 | -0,519 | 0,142 | 0,116 | 0,754 | 0,725 | 0,471 | 0,604 | 0,376 | 0,029 | 0,006 |
| Coeficiente de determinação | | | | | | | | | | | | | | 0,774 |
| Efeito da variável residual | | | | | | | | | | | | | | 0,475 |

U = umidade, FF = florescimento feminino, FM = florescimento masculino, EST = estande, AC+QB = acamamento + quebraimento, AP = altura de planta, AE = altura de espiga, PEP = peso de espiga com palha, PES = peso de espiga sem palha, NF = número de fileiras de grãos, DE = diâmetro de espiga, DS = diâmetro de sabugo, CE = comprimento de espiga e P100 = peso de 100 grãos.

As variáveis U, FF, AC+QB, AP e CE apresentaram efeitos diretos, negativos e valores abaixo do efeito residual, respectivamente, valores de -0,341, -0,175, -0,135, -0,062 e -0,051. Dessa forma, pode-se dizer que sofreram influências dos efeitos indiretos, sendo as três primeiras pelas variáveis PEP e PES, e as últimas pela variável PEP.

5. CONCLUSÃO

1 – Os genótipos 1Q2366 e 1R2536 foram os mais responsivos nos ensaios quanto a inoculação com microrganismos solubilizadores de P, além de apresentarem melhor comportamento diante das variáveis estande, acamamento e quebramento.

2 - Diferentes estratégias devem ser levadas em conta na escolha do genótipo, dos quais podem interferir diretamente na produção de grãos, mesmo em condição de baixos níveis de P no solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, Z.; GILL, M.A.; QURESHI, R.H. **Genotypic variations of phosphorus utilization efficiency of crops**. *Journal of Plant Nutrition*, v. 24(8), p. 1149-1171, 2001.
- AHMAD, Z.; GILL, M.A.; QURESHI, R.H. **Genotypic variations of phosphorus utilization efficiency of crops**. *Journal of Plant Nutrition*, v. 24(8), p. 1149-1171, 2001.
- ANDRADE, A.G. de; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D.; SARRUGE, J.R. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.). I. Acumulação de macronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 32, p. 115-149, 1975.
- ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Eds). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 537-562.
- ARAÚJO, A. P; MACHADO, C.T.T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. p. 253-280.
- ARAÚJO, A.P. Eficiência vegetal de absorção e utilização de fósforo, com especial referência ao feijoeiro. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p.163-212.
- ARAÚJO, A.P. Eficiência vegetal de absorção e utilização de fósforo, com especial referência ao feijoeiro. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p.163-212.
- ARAÚJO, A.P.; MACHADO, C.T.T. Fósforo. In FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 253-281.
- BAHADIR, P. S.; LIAQAT, F.; ELTEM, R. **Plant growth promoting properties of phosphate solubilizing Bacillus species isolated from the Aegean Region of Turkey**. *Turkish Journal of Botany*, v. 42, n. 2, p. 183-196, 2018. DOI: [http:// dx.doi.org/10.3906/bot-1706-51](http://dx.doi.org/10.3906/bot-1706-51).
- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N. K. Plant nutrient efficiency: Towards the second paradigm. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J.G. (Ed). **Inter-relação fertilidade do solo, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: SBCS/UFLA, 1999. p. 183-204.
- BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach**. New York, Wiley-Interscience, 1984. 398 p.
- BIELESKI, R. L. **Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability** *Ann. Ver. Plant Physiol.*, 24:225-252, 1973.
- BINI, D.; LOPEZ, M. V. Transformações microbianas do fósforo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. (ed.). **Microbiologia do solo**. Piracicaba: ESALQ, 2016. p. 149-166.

CLARK, R.B.; DUNCAN, R.R. **Improvement of plant mineral nutrition through breeding.** Field Crops Research, v. 27, p. 219-240, 1991.

CLARKSON, D.T.; HANSON, J.B. **The mineral nutrition of higher plants.** Ann. Ver. Plant Physiol., 31:239-298, 1980.

COELHO, A.M, ALVES, V.M.C. Adubação fosfatada na cultura do milho In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Eds). **Fósforo na agricultura brasileira.** Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 243-284.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences.** 2 ed. Hillsdale. NJ: Lawrence Earlbaum Associates, 1988. 579p.

COIMBRA, R.R.; FRITSCHÉ-NETO, R.; COIMBRA, D.B.; NAOE, L.K.; CARDOSO, E.A.; RAONI, D.; MIRANDA, G.V. **Relação entre tolerância do milho a baixo teor de fósforo no solo e responsividade a adubação fosfatada.** Biosci. J., Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 332-339, Mar./Apr. 2014.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Segundo levantamento, novembro, 2022 – safra 2022/2023.** Brasília: 2022.

CRUZ, C.D. Genes - **A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics.** Acta Scientiarum. Agronomy, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

CRUZ, J. C.; MONTEIRO, J. de A.; SANTANA, D. P.; GARCIA, J. C.; BAHIA, F. G. F. T. de C.; SANS, L. M. A.; PEREIRA FILHO, I. A. P. (ed.). **Recomendações técnicas para o cultivo do milho.** 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI; Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1996. 204 p. Agricultura real: um prêmio à produtividade e qualidade.

ELLIOTT, G.C.; LÄUCHLI, A. **Phosphorus efficiency and phosphate-iron interaction in maize.** Agronomy Journal, v. 77, p. 399-403, 1985.

GLASS, A.D.M. Ion absorption and utilization: The cellular level. In: BALIGAR, V.C.; DUNCAN, R.R., eds. **Crops as enhancers of nutrient use.** San Diego, Academic Press, 1990. P. 37-64.

HIROCE, R.; FURLANI, A.M.C.; LIMA, M. **Extração de nutrientes na colheita por populações e híbridos de milho.** Campinas: Instituto Agrônômico, 1989. 24 p. (Boletim Científico, 17).

HOLFORD, I.C.R. **Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants.** Australian Journal of Soil Research, v. 35, p. 227-239, 1997.

KANNAN, S. Role of foliar fertilization on plant nutrition. In: BALIGAR, V.C.; DUNCAN, R.R. (Eds). **Crops as enhancers of nutrient use.** San Diego, Academic Press, 1990. p. 313-348.

KHAMIS, S.; CHAILLOU, S.; LAMAZE, T. **CO₂ assimilation and partitioning of carbon in maize plants deprived of orthophosphate.** J. Exper. Bot., 41:233, 1619-1625, 1990.

MALAVOLTA, E. O fósforo na planta e interações com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Eds). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 35-106.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London. Academic Press, 1995. 889 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London. Academic Press, 1995. 889 p.

MITRA, S.; NHARDWAJ, S.N.; SRIVASTAVA, G.C. Source and sink relationship. In: ABROL, Y.P.; MOHANTY, P.; GOVINDJEE. (Eds). **Photosyntheses: photoreactions and plant productivity**. Dordrecht, Kluwer Academic Press, 1993. p. 361-387.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLIVEIRA-PAIVA, C, A.; BINI, D.; MARRIEL, I.E.; GOMES, E.A.; SANTOS, F.C. dos; COTA, L.V.; SOUZA, S.M.; ALVES, V.M.C.; LANA, U.G.P.; SOUZA, F.F. **Inoculação à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja (Biomaphos®): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021a. 19 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 252).

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL. I. E.; GOMES, E. A., SOUSA, S. M. de; LANA, U.G.P.; SANTOS, F. C.; PINTO JÚNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (Bacillus subtilis CNPMS B2084 e Bacillus megaterium CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020b. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 210).

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; COTA, L. V.; SANTOS, F. C. dos; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; OLIVEIRA, M. C.; MATTOS, B. B.; ALVES, V. M. C.; RIBEIRO, V. P.; VASCO JÚNIOR, R. **Recomendação agrônômica de cepas de Bacillus subtilis (CNPMS B2084) e Bacillus megaterium (CNPMS B119) na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020c. 19 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 260).

OWEN, D.; WILLIAMS, A.; GRIFFITH, G.; WITHERS, P. **Use of comercial bioinoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition**. Applied Soil Ecology, v. 86, p. 41-54, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.09.012>.

PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; SOLTANGHEIS, A.; ROCHA, G. C.; CHADWICK, D. R.; JONES, D. L. **Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil**. Scientific Reports, v. 10, 15615, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72302-1>.

RAGOTHAMA, K.G. **Phosphate transport and signaling**. Curr. Opin. Plant Biol., 3:182-187, 2000.

RAGOTHAMA, K.G; KARTHIKEYAN, A.S. **Phosphate acquisition. Plant and Soil**, v. 274, p. 37-49, 2005.

RAIJ, B. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Eds). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 107-115.

RANUM, P.; PEÑA-ROSAS, J. P.; GARCIA-CASAL, M. N. **Global maize production, utilization, and consumption**. Annals of the New York Academy of Sciences, v. 1312, p. 105-112, 2014.

ROBERTS, T. L. **Role of phosphorus and potassium in crop establishment**. Lloydminster: Saskatchewan Soil Conservation Association Annual Workshop, 1995.

SCHWARTZ, S.; KAFKAFI, U. **Mg, Ca and K status of silage com and wheat at periodiz stages of growth in the field**. Agronomy Journal, Madison, v. 70, p.227-231, 1978.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of SIQUEIRA, J.O.; ANDRADE, A.T.; FAQUIN, V. O papel dos microrganismos na disponibilização e aquisição de fósforo pelas plantas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Eds). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 117-156.

SMITH, F.W. **The phosphate uptake mechanism**. Plant Soil, 245:105-114, 2002.

SOUSA, S. M. de; OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. de P.; GOMES, E. A. Tropical Bacillus strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 867-877, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>.

SOUZA, D.M.G, LOBATO, E. Abubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Eds). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 157-200.

STAUFFER, M.D; SULEWSKI, G. Fósforo – essencial para a vida. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Eds). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 1-12.

STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. 2. ed. New Work, Wiley & Sons, 1999. 427 p.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1985. 754 p.

USUDA, H; SHIMOGAWARA, K. Phosphate deficiency in maize. I. **Leaf phosphate status, growth, photosynthesis and carbon partitioning**. Plant Cell Physiol., 32:497-504, 1991a.

USUDA, H; SHIMOGAWARA, K. Phosphate deficiency in maize. II. **Enzyme activities**. Plant Cell Physiol., 32:1313-1317, 1991b.

VANCE, C.P. **Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition: plant nutrition in a world of declining renewable resources.** *Plant Physiology*, v. 127, p. 390-397, 2001.

VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D.L. **Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants securing a nonrenewable resource.** *New Phytology*, v. 157, p. 423-447, 2003.

VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D.L. **Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants securing a nonrenewable resource.** *New Phytology*, v. 157, p. 423-447, 2003.