









## Morphophysiological and productive responses of AG-1050 hybrid maize inoculated with mycorrhiza and phosphate fertilisation

## Respostas morfofisiológicas e produtivas de milho híbrido AG-1050 inoculado com micorriza e adubação fosfatada

PEREIRA, Ana Maria dos Santos<sup>(1)</sup>; SILVESTRE, Nathalia Ferraz<sup>(2)</sup>; SILVA, Matheus Sávio<sup>(3)</sup>; SANTOS, Rafaelly Clemente dos<sup>(4)</sup>; SILVA, Lucas Henrique Sales da<sup>(5)</sup>; SILVA, Lucas Santos da<sup>(6)</sup>; ESPÍDOLA, Natália Lima da<sup>(7)</sup>; OLIVEIRA, João Tiago Correia<sup>(8)</sup>

- <sup>(1)</sup>  0009-0001-0269-4064; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, discente do curso de Zootecnia, Brasil. [anaamariasantos.pe@gmail.com](mailto:anaamariasantos.pe@gmail.com)
- <sup>(2)</sup>  0009-0002-7797-1414; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, discente do curso de Zootecnia, Brasil. [natsilvestre68@gmail.com](mailto:natsilvestre68@gmail.com)
- <sup>(3)</sup>  0009-0001-8422-5068; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, discente do curso de Zootecnia, Brasil. [matheus.savio@ufape.edu.br](mailto:matheus.savio@ufape.edu.br)
- <sup>(4)</sup>  0009-0009-7883-472X; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, discente do curso de Zootecnia, Brasil. [rafaellycsantos@gmail.com](mailto:rafaellycsantos@gmail.com)
- <sup>(5)</sup>  0009-0005-2697-8298; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, discente do curso de Zootecnia, Brasil. [lucas.salessilva@ufape.edu.br](mailto:lucas.salessilva@ufape.edu.br)
- <sup>(6)</sup>  0000-0002-2752-1506; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, mestre do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagem, Brasil. [lucas44pinheiro@gmail.com](mailto:lucas44pinheiro@gmail.com)
- <sup>(7)</sup>  0000-0002-9548-118X; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, mestra do Programa de Pós-graduação em Produção Agrícola, Brasil. [agronataliaespindola@outlook.com](mailto:agronataliaespindola@outlook.com)
- <sup>(8)</sup>  0000-0001-7469-5106; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, docente do curso de zootecnia e Agronomia, Brasil. [ijoao.oliveira@ufape.edu.br](mailto:ijoao.oliveira@ufape.edu.br)

O conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos/as seus/as autores/as.

### ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of an FMA-based biofertiliser in combination with different levels of phosphate fertilisation on the physiological, morphological, and productive characteristics of AG-1050 hybrid maize plants. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Agreste de Pernambuco, using commercial AG-1050 hybrid maize seeds and the Rooting Agent – ANS AGRO® mycorrhizae for inoculation. Seven treatments were tested: five mycorrhizal inocula (MIC) combined with different levels of chemical phosphate fertilisation (0, 25, 50, 75, and 100%), one treatment with chemical fertilisation only, and a control without inoculum or chemical fertilisation. Morphophysiological evaluations of the plants were carried out, and statistical analyses were performed using mean comparison tests. The results indicated that the biofertiliser, chemical fertilisation, or the combination of both promoted greater plant growth, with MIC + 75% and 100% phosphate fertilisation treatments standing out. It was concluded that the combination of foundation chemical fertilisation and mycorrhizal inoculation enhanced the development of AG-1050 hybrid maize.

### RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a ação do biofertilizante à base de FMA em associação com diferentes níveis de adubação fosfatada nas características fisiológicas, morfológicas e produtivas de plantas de milho híbrido AG-1050. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, utilizando sementes comerciais de milho híbrido AG-1050 e o Enraizador – micorrizas ANS AGRO® para a inoculação. Foram testados sete tratamentos: cinco inóculos com micorriza (MIC) associados a diferentes níveis de adubação química fosfatada (0, 25, 50, 75 e 100%), um tratamento apenas com adubação química e uma testemunha sem inóculo e sem adubação química. A avaliação morfofisiológica das plantas foi realizada e, para análise estatística, aplicaram-se testes de médias. Os resultados indicaram que o biofertilizante, a adubação química ou a combinação de ambos proporcionou maior crescimento das plantas, destacando-se os tratamentos MIC + 75% e 100% de adubação química fosfatada. Concluiu-se que a combinação de adubação química de fundação e inoculação com micorrizas incrementou o desenvolvimento do milho híbrido AG-1050.

### INFORMAÇÕES DO ARTIGO

**Histórico do Artigo:**  
Submetido: 27/11/2025  
Aprovado: 06/03/2026  
Publicação: 30/04/2026



### Keywords:

Bioproduct, Plant-microorganism interaction, Plant production

### Palavras-Chave:

Bioproduto, interação microorganismos planta, produção vegetal

## Introdução

A micorriza é uma associação entre fungos do solo, entre estes os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), e raízes de plantas, na qual a interação promove benefícios significativos para o desenvolvimento vegetal, sobretudo na absorção de nutrientes, com destaque para o fósforo (P) e na defesa contra patógenos, em contrapartida o fungo recebe nutrientes (fotoassimilados, vitaminas e outros) por parte do vegetal (Falcão, Wu e Silva, 2024; Dagher et al., 2025). Como consequência, essa relação mutualística resulta em respostas morfofisiológicas positivas nos hospedeiros vegetais, sendo considerada uma forma natural de biofertilização (Dagher et al., 2025).

De modo geral, biofertilizantes são substâncias compostas por compostos biodegradáveis, organismos vivos ou seus produtos enzimáticos que, quando aplicados às sementes, ao solo ou às plantas, colonizam a rizosfera, a epiderme ou o interior do vegetal, promovendo seu crescimento e/ou desenvolvimento, e produtividade (Santos et al., 2024). Especificamente, no caso dos FMA, sua contribuição vai além do fornecimento de nutrientes, uma vez que esses microrganismos também são reconhecidos por promoverem o sequestro de carbono, a agregação de partículas do solo e a modulação da comunidade microbiana edáfica, consequentemente contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Li, Chen e Leung, 2024).

O mecanismo simbiótico dos FMA envolve a troca de carbono, fotoassimilados fornecidos pelas plantas, por nutriente mineral, o P, anteriormente encontrado na forma não lábil no solo, tornando lábil pelos FMA graças à produção e excreção de diversas enzimas, fosfatases. Dessa forma, a interação não apenas potencializa a eficiência nutricional das plantas, como também incrementa sua tolerância a estresses bióticos e abióticos, aumento da área de contato do sistema radicular, o fungo funcionando com uma ampliação do sistema radicular (Dagher et al., 2025). Por esse motivo, os FMA têm sido amplamente investigados em diferentes escalas e ambientes, variando de condições controladas e semi controladas, laboratório e estufas, a campos agrícolas em distintas regiões e contextos edafoclimáticos (Nascimento et al., 2024).

Dentro desse cenário, pesquisas são fundamentais para compreender a compatibilidade entre fungos micorrízicos e espécies vegetais específicas (Bueno et al., 2021). Entre essas espécies o milho (*Zea mays* L.) destaca-se, planta altamente micotrófica, com reconhecida capacidade de estabelecer relações simbióticas com os FMA (Fu et al., 2025). Além disso, diversos estudos têm demonstrado que a associação do milho ao FMA resultou em melhorias significativas na absorção de nutrientes, no crescimento radicular e na eficiência fisiológica geral da cultura (Cervantes-Gámez, 2021).

Os inoculantes micorrízicos representam uma alternativa economicamente viável e ambientalmente segura à fertilização química convencional. Neste sentido, parte-se da hipótese de que a inoculação com FMA associada a doses reduzidas de fertilizante químico

fosfatados, melhoraria as características morfofisiológicas do milho híbrido AG-1050, sendo capaz de substituir total ou parcialmente a adubação fosfatada tradicional, sem comprometer o desempenho produtivo da planta.

O milho, por sua vez, representa uma cultura estratégica para o agronegócio brasileiro, visto que o país ocupa a terceira posição entre os maiores produtores mundiais do grão e figura entre os principais exportadores globais (Rosa, Brisola e Reis, 2023). Conforme Brasil (2024) a área cultivada com milho no Brasil cresceu 74,6%, passando de 12,8 para 22,3 milhões de hectares, havendo projeções significativas até o ano de 2034. Portanto, torna-se evidente a necessidade da adoção de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis, como o uso de microrganismos benéficos, capazes de otimizar o desempenho das lavouras e contribuir com a conservação ambiental. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a ação do biofertilizante à base de FMA em associação com diferentes níveis de adubação fosfatada, nas características fisiológicas, morfológicas e produtivas de plantas de milho híbrido AG-1050.

### **Materiais e métodos**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Garanhuns, Pernambuco, Brasil (8°54'23.7" S 36°29'39.7" W). Foram utilizadas sementes comerciais de milho híbrido AG-1050. As sementes foram avaliadas previamente quanto a sua integridade física, descartando qualquer unidade danificada e visivelmente inviável. Avaliou-se previamente o percentual de germinação das sementes, onde as mesmas foram submetidas à análise em papel germitest umedecido, conforme as recomendações de Brasil (2009), obtendo-se taxa germinativa de 95%.

O experimento foi implantado em delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos, sendo cinco inóculos com micorriza (MIC), associado a diferentes níveis de adubação química fosfatada, 0; 25; 50; 75 e 100% da necessidade da cultura, com base na análise de solo. Um tratamento apenas com adubação química, e uma testemunha sem inóculo e sem adubação química.

O solo utilizado foi classificado como Latossolo Amarelo (Embrapa, 2006), tendo a análise química indicado: pH 5,22; 5,22 mg dm<sup>3</sup> de P; 0,24 cmolc dm<sup>3</sup> de K; 4,70 cmolc dm<sup>3</sup> de Ca; 2,80 cmolc dm<sup>3</sup> de Mg; 0,30 cmolc dm<sup>3</sup> de Al<sup>3+</sup>; 0,65 cmolc dm<sup>3</sup> de H+Al. Inicialmente o solo foi destorroado, peneirado a 6 mm e corrigido pelo método de saturação de base, dois meses antes da implantação do experimento. O microcosmo foi montado em vasos de 8,0 L, contendo 8,0 Kg de solo, cada tratamento contendo 3 vasos e uma planta por vaso.

Dez dias antes do semeio, cada vaso recebeu água, 80% capacidade de pote. A reposição da água foi realizada por pesagem diária dos vasos, repondo-se a água evaporada, com início após o semeio e durante todo o período de cultivo. Em cada vaso foram adicionadas três sementes, a profundidade de 3 cm. Nos tratamentos que receberam MIC, todas as sementes foram desinfectadas superficialmente, adaptação de Oliveira et al. (2022), as sementes foram

submersas em solução de NaOCl 1%, por 5 min, posteriormente submersas em uma bateria de três lavagens, 3 min cada, em água destilada autoclavada. Nos tratamentos apenas com adubação e na testemunha, as sementes apenas passaram pelas baterias de lavagem.

Após a desinfecção das sementes, a inoculação com MIC foi feita com 1 g do produto (Enraizador – micorrizas ANS AGRO®) diluído em 200 mL de água, deixando-se as sementes de molho por 4 h para garantir a colonização em toda superfície do grão, conforme a recomendação do fabricante. Posteriormente, as sementes foram direcionadas para o plantio. Cabe ressaltar que o produto comercial utilizado é composto por um conjunto FMA, segundo a descrição do fabricante formado por endomicorrizas (ou arbusculares), ectomicorrizas, ectendomicorrizas, micorrizas arbutóides, monotrópoides, ericóides e orquidóides.

Nos tratamentos com associação de MIC e adubação fosfatada, a mesma foi realizada com superfosfato triplo nos níveis de 0; 25; 50; 75 e 100% da necessidade da cultura e análise de solo. No tratamento apenas com adubação química, a adubação de fundação foi realizada com 100% da necessidade da cultura e análise de solo. Cabe ressaltar que em todos os tratamentos, exceto a testemunha, a adubação de fundação foi complementada com cloreto de potássio, e a adubação de cobertura foi realizada com sulfato de amônio, aplicado após 30 dias do semeio. Todas as adubações foram realizadas com base nas recomendações de adubação para o estado de Pernambuco (Cavalcanti, 2008).

No 10º dia após a semeadura, ocorreu o desbaste, deixando uma plântula por vaso, iniciando o período experimental, que teve duração de 55 dias. Cabe ressaltar que ocorreu três ciclos de cultivos com intervalo entre os ciclos de 10 dias. Ao fim deste período, foram realizadas avaliações relativas ao efeito da promoção do crescimento e produtividade vegetal em todas as plantas cultivadas. O teor de clorofila A e B (CA e CB), foi mensurado com auxílio de um medidor portátil SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development), clorofilômetro, na porção intermediária da primeira folha totalmente expandida do dossel forrageiro.

A altura de planta (ALT) foi mensurada com auxílio de uma régua, considerando na base do solo até ao ápice da última folha não estendida. O comprimento foliar (CF) e largura foliar (LF) foi obtido pela mensuração de três folhas totalmente expandidas por planta, de acordo com Bianco et al. (2000). Cabe ressaltar que considerou folha totalmente expandida, a folha que apresentava a lígula exposta. Também foram avaliados o diâmetro do colmo (DC), medido com paquímetro a 5 cm de distância do solo, o número de folhas totais (NFT), quantificado pelo somatório de folhas em expansão (FJ), não apresentam lígula exposta; folhas expandidas (FE), com presença de lígula exposta, e folhas senescentes (FS) quando parte do limbo foliar apresentava indícios de perda de clorofila (amarelamento).

Para a obtenção da massa verde aérea (MVPA) e da massa verde da raiz (MVR), essas partes foram separadas, com o corte realizado no colo do caule e posteriormente as partes vegetais seguiram para pesagem. O material vegetal foi levado a estufa de circulação de ar forçado a 55 °C, por 72 h, e pesado para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA) e raiz

(MSR). Cabe ressaltar, que após a separação da parte aérea da planta, o solo foi retirado do vaso, e as raízes lavadas em água corrente e posteriormente secas ao ar, retirada do excesso de água, para posterior pesagem.

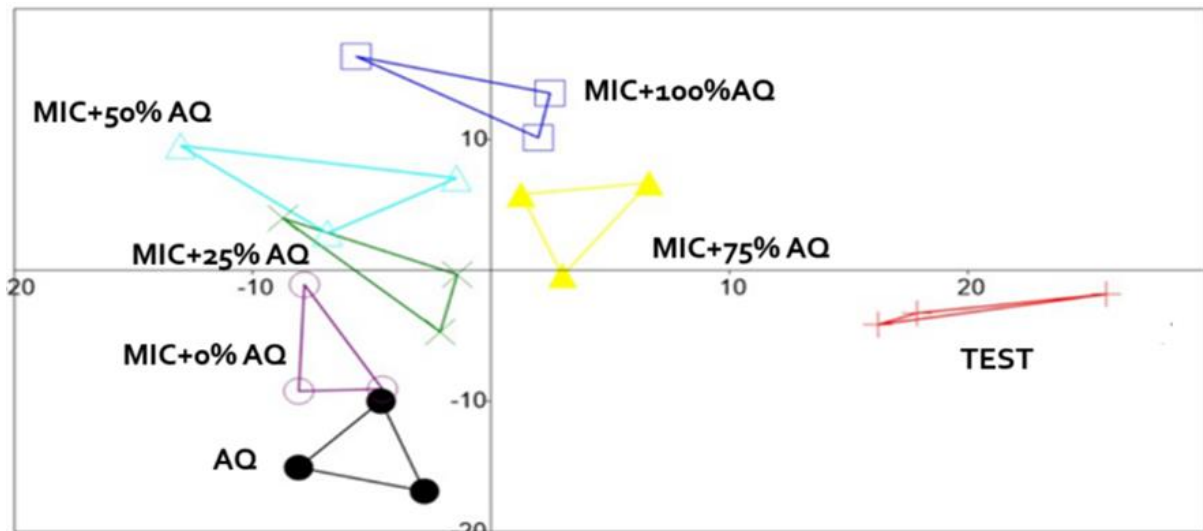
Na análise estatística, as diferenças entre os grupos foram comparadas por contraste ortogonal usando o teste t a 5% de probabilidade. Em seguida, as médias de todos os tratamentos foram comparadas com o controle pelo teste de Dunnett a 5%. Os tratamentos que se destacaram foram comparados pelo teste de Scott-Knott a 5%, usando o software estatístico Sisvar®, versão 5.6. Os tratamentos individuais foram avaliados por análise de componente principal (CP), utilizando o software estatístico Past®, versão 4.0.

## Resultado e discussão

Avaliando o grupo de adubos, verificou-se que a utilização de biofertilizante (FMA), adubação química ou a combinação de ambos proporcionou o maior crescimento das plantas de milho híbrido AG-1050, abrangendo tanto as características fisiológicas quanto as morfológicas e produtivas (Tabela 1), com resultados significativamente superior à testemunha ( $p \leq 0,05$ ). Esse desempenho refletiu-se no distanciamento espacial dos demais tratamentos frente o tratamento testemunha (Figura 1).

**Figura 1.**

*Análise de componente principal (PC) das características morfofisiológicas e produtivas (planta-1) de milho híbrido AG-1050 cultivado por 65 dias em casa de vegetação após inoculação de sementes com micorriza em associação com diferentes níveis de adubação fosfatada. Os tratamentos foram constituídos de micorrizas (MIC) associados a níveis de 0, 25, 50, 75 e 100% de adubação química (AQ), um tratamento com 100% de AQ e um tratamento testemunha (TEST).*



Entre os adubos avaliados, o conjunto de tratamentos que associou o FMA à adubação química favoreceu os maiores incrementos vegetais, fisiológicos, morfológicos e produtivo (Tabela 1), com destaque para as características produtivas de massa vegetal da parte aérea e das raízes, o que estabelece a base para compreender o comportamento das plantas nos tratamentos. Tais resultados corroboram com estudos recentes que demonstram o papel das

micorrizas na otimização da absorção de nutrientes e no crescimento vegetal, como observado por Deepika, Muthuraja e Muthuku (2025) e Severo et al. (2025) com plantas de milho e milho.

**Tabela 1.**

*Comparação entre grupos de médias por contrastes ortogonais para as características morfofisiológicas e produtivas (planta-1) de milho (Zea mays L.) híbrido AG-1050 cultivado por 65 dias em casa de vegetação após inoculação de sementes com micorriza em associação com diferentes níveis de adubação fosfatada.*

TRAT	CA	CB	ALT	CF	LF	DC	NFT	FE	FJ	FS	MV	MS	MV	MS
			cm								mm	PA	PA	R
g														
MIC	23,5	5,38	57,0	53,4	3,16	0,96	9,33	0,66	4,00	4,66	38,3	5,05	26,3	4,11
	79	9	00	67	7	7	3	7	0	7	20	0	17	3
AQ	25,8	6,811	55,6	53,2	2,83	1,133	9,66	2,00	4,00	3,66	26,6	3,94	50,0	8,96
	68		67	67	3		7	0	0	7	83	0	97	3
MIC+	25,4	6,32	61,16	49,1	2,29	1,167	9,16	2,16	4,00	2,91	44,4	5,319	35,9	8,00
	82	2	6	08	1		7	7	0	7	67		45	6
TEST	24,1	4,53	50,3	55,7	2,56	0,93	9,33	2,00	3,66	3,66	34,0	4,19	25,1	3,30
	60	3	33	33	7	3	3	0	7	7	60	0	00	0

**Test t**

MIC+														
AQ	0,82	1,46	0,26	-	-	1,67	-	0,23	1,05	-	0,75	0,74	1,24	4,65
vs.	9*	0*	5 <sup>ns</sup>	1,57	0,72	3*	0,35	7	8*	1,06	8*	2*	6*	7*
TEST				5 <sup>ns</sup>	9*		7 <sup>ns</sup>			5*				
MIC	-	0,92	2,36	-	1,25	0,18	-	-	0,83	1,12	1,141	1,33	0,38	0,69
vs.	0,38	0*	2*	0,76	2*	9 <sup>ns</sup>	-	1,49	7*	2*	*	4*	6 <sup>ns</sup>	2*
TEST	8 <sup>ns</sup>			2*				7*						
AQvs.	1,138	2,44	1,88	-	0,55	1,134	0,56	-	0,83	-	-	-	7,93	4,81
TEST	*	4*	9*	0,82	6 <sup>ns</sup>	*	4 <sup>ns</sup>		7*		1,975	0,38	6*	6*
				9*							*	8 <sup>ns</sup>		
MIC+														
AD	1,60	1,26	1,86	-	-	-	0,35	2,13	-	-	2,08	0,52	3,86	4,18
vs.	4*	5*	7*	1,85	2,30	1,43	7 <sup>ns</sup>	0*	-	2,48	2 <sup>ns</sup>	8 <sup>ns</sup>	7*	7*
MIC				4*	9*	4*				5*				
MIC+														
AD	-	0,66	2,46	-	-	0,23	-	0,23	-	-	6,02	2,70	-	-
vs.	0,32	3 <sup>ns</sup>	5*	1,76	1,42	9 <sup>ns</sup>	1,07	7 <sup>ns</sup>	-	1,06	3*	6*	5,68	1,03
AD	5 <sup>ns</sup>			9*	9*		0			5*			3*	0 <sup>ns</sup>

TRAT: Tratamento; CA: Clorofila A; CB: Clorofila B; ALT: Altura de planta; CF: Comprimento foliar; LF: Largura foliar; DC: Diâmetro do colmo; NFT: Número de folhas totais; FE: Folhas expandidas; FJ: Folhas jovens; FS: Folhas senescentes; MVPA: Matéria verde da parte aérea; MSPA: Matéria seca da parte aérea; MVR: Matéria verde de raiz; MSR: Matéria seca de raiz; cm: Centímetro; mm: Milímetro; g: Grama; MIC: Média do tratamentos com micorrizas; AQ: Média do tratamento com adubação química; MIC+AQ: Média de todos os tratamentos que receberam micorrizas e adubação química; TEST: Testemunha; <sup>ns</sup>: Valores não significativo; \*: valores significância a 5% de probabilidade pelo teste t.

No tratamento testemunha foi observado os menores valores ( $p \leq 0,05$ ) de crescimento vegetal, características morfofisiológicas e produtivas das plantas (Tabela 1), resultado esperado por se tratar de um solo convencional, sem a aplicação de compostos capazes de favorecer o incremento no desenvolvimento/crescimento vegetal. Esse baixo desempenho pode ser atribuído a diversos fatores inter-relacionados, especialmente a deficiências nutricionais e a estresses ambientais, que comprometem tanto a eficiência fotossintética quanto a vitalidade geral das plantas (Pandao et al., 2024).

Por outro lado, ao avaliar os tratamentos individualmente, verifica-se que todos apresentaram resultados significativamente superior ( $p \leq 0,05$ ) à testemunha (Tabela 2), promovendo incrementos ao crescimento vegetal em no mínimo seis variáveis associadas às características fisiológicas, morfológicas e produtivas das plantas de milho híbrido AG-1050 (Tabela 3). Especialmente, os tratamentos que combinaram adubação química e micorriza (dosagens entre 25% a 100%) distribuíram-se de forma gradativa, sugerindo que a dose de fertilizantes exerce influência significativa sobre a eficácia da simbiose (Figura 1). Ferreira et al. (2024) demonstraram respostas positivas em plantas de milho nutridas com fertilizantes associados à micorriza, promovendo maior crescimento vegetal e incremento na produtividade ao longo do ciclo de cultivo.

**Tabela 2.**

*Comparação de média dos tratamentos frente ao tratamento testemunhas para as características morfofisiológicas e produtivas (planta-1) de milho (Zea mays L.) híbrido AG-1050 cultivado por 65 dias em casa de vegetação após inoculação de sementes com micorriza em associação com diferentes níveis de adubação fosfatada.*

TR AT	CA	CB	ALT	CF	LF	DC	NFT	FE	FJ	FS	MVP	MS	MV	MS
			cm								mm	A	PA	R
----- g -----														
<b>MIC+0</b>	23,57	5,38	57,0	53,46	3,16	0,96	9,33	0,66	4,00	4,66	38,3	5,05	26,31	4,113
<b>% AQ</b>	9 <sup>ns</sup>	9*	00*	7 <sup>ns</sup>	7*	7 <sup>ns</sup>	3 <sup>ns</sup>	7 <sup>ns</sup>	0*	7*	20*	0*	7 <sup>ns</sup>	ns
<b>MIC+25</b>	24,73	5,86	61,33	43,96	1,63	1,20	9,33	2,00	4,33	2,66	37,93	4,86	38,0	10,8
<b>% AQ</b>	3 <sup>ns</sup>	7*	3*	7 <sup>ns</sup>	3 <sup>ns</sup>	0*	3 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	3*	7 <sup>ns</sup>	3*	7*	90*	00*
<b>MIC+50</b>	25,45	5,67	63,6	43,90	2,03	1,23	9,00	2,33	3,66	3,00	45,6	5,75	31,75	4,02
<b>% AQ</b>	2*	8*	67*	0 <sup>ns</sup>	3 <sup>ns</sup>	3*	0 <sup>ns</sup>	3 <sup>ns</sup>	7 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	80*	0*	3*	3*
<b>MIC+75</b>	25,6	6,38	54,0	53,83	2,93	1,13	9,00	1,66	4,33	3,00	44,54	5,47	32,8	7,697
<b>% AQ</b>	89*	9*	00*	3 <sup>ns</sup>	3*	3*	0 <sup>ns</sup>	7 <sup>ns</sup>	3*	0 <sup>ns</sup>	7*	7*	53*	*
<b>MIC+100</b>	26,0	7,35	65,6	54,73	2,56	1,10	9,33	2,66	3,66	3,00	49,70	5,18	41,08	9,50
<b>0% AQ</b>	56*	6*	67*	3 <sup>ns</sup>	7 <sup>ns</sup>	0*	3 <sup>ns</sup>	7*	7 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	7*	3*	7*	3*
<b>AQ</b>	25,8	6,81	55,66	53,26	2,83	1,13	9,66	2,00	4,00	3,66	26,6	3,94	50,0	8,96
	68*	1*	7*	7 <sup>ns</sup>	3 <sup>ns</sup>	3*	7 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	0*	7 <sup>ns</sup>	83 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	97*	3*
<b>TEST</b>	24,16	4,53	50,3	55,73	2,56	0,93	9,33	2,00	3,66	3,66	34,0	4,19	25,10	3,30
	0	3	33	3	7	3	3	0	7	7	60	0	0	0

TRAT: Tratamento; CA: Clorofila A; CB: Clorofila B; ALT: Altura de planta; CF: Comprimento foliar; LF: Largura foliar; DC: Diâmetro do colmo; NFT: Número de folhas totais; FE: Folhas expandidas; FJ: Folhas jovens; FS: Folhas senescentes; MVPA: Matéria verde da parte aérea; MSPA: Matéria seca da parte aérea; MVR: Matéria verde de raiz; MSR: Matéria seca de raiz; cm: Centímetro; mm: Milímetro; g: Grama; MIC: Média do tratamentos com micorrizas; AQ: Média do tratamento com adubação química; MIC+x% AQ: Média de todos os tratamentos que receberam micorrizas e níveis de adubação química; ns: Médias não significativo; \* Médias significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

**Tabela 3.**

*Comparação de média dos tratamentos que se destacaram frente a testemunha para as características morfofisiológicas e produtivas (planta-1) de milho (Zea mays L.) híbrido AG-1050 cultivado por 65 dias em casa de vegetação após inoculação de sementes com micorriza em associação com diferentes níveis de adubação fosfatada.*

TRAT	CA	CB	ALT	C F	LF	DC	NFT	FE	FJ	FS	MVP	MSP	MVR	MSR
											A	A		
			cm		mm					g				
MIC+0%		5,389	57,000		3,167				4,000	4,667	38,32	5,050		
AQ	-	C	B	-	A	-	-	-	A	A	0C	A	-	-
MIC+25		5,867	61,333			1,200			4,333		37,933	4,867	38,09	10,80
% AQ		C	A			A			A		C	B	0B	0A
MIC+50	25,452	5,678	63,667			1,233					45,68	5,750	31,753	
% AQ	A	C	A			A					0B	A	C	
MIC+75	25,689	6,389	54,00		2,933	1,133			4,333		44,547	5,477	32,853	7,697B
% AQ	A	B	0B		A	A			A		B	A	C	
MIC+100	26,05	7,356	65,667			1,100		2,667			49,707	5,183	41,087	9,503
% AQ	6A	A	A			A		A			A	A	B	A
AQ	25,86	6,811	55,667			1,133			4,000				50,097	8,963
	8A	B	B			A			A				A	B

TRAT: Tratamento; CA: Clorofila A; CB: Clorofila B; ALT: Altura de planta; CF: Comprimento foliar; LF: Largura foliar; DC: Diâmetro do colmo; NFT: Número de folhas totais; FE: Folhas expandidas; FJ: Folhas jovens; FS: Folhas senescentes; MVPA: Matéria verde da parte aérea; MSPA: Matéria seca da parte aérea; MVR: Matéria verde de raiz; MSR: Matéria seca de raiz; cm: Centímetro; mm: Milímetro; g: Grama; MIC: Média do tratamentos com micorrizas; AQ: Média do tratamento com adubação química; MIC+x% AQ: Média de todos os tratamentos que receberam micorrizas e níveis de adubação química; -: Médias que estatisticamente foram semelhantes a testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-Knott.

Entre os tratamentos com melhor desempenho, destacaram-se aqueles que receberam MIC + 75% e 100% de adubação química fosfatada, os quais apresentaram resultados superiores ( $p \leq 0,05$ ) ao maior número de variáveis avaliadas (Tabela 3). Esse comportamento possivelmente indica que a presença da micorriza, combinada a um nível intermediário-alto de fertilização química, favoreceu a alocação de recursos para o desenvolvimento radicular, o que é crucial para a absorção eficiente de água e nutrientes, além de conferir maior estabilidade ao sistema planta-solo. De acordo com Boldic e Hijri (2011), a associação micorriza planta pode resultar em incremento da produtividade das culturas, especialmente em solos com deficiência de nutrientes, como o P, direcionando a compreensão dos mecanismos fisiológicos que sustentam as respostas positivas obtidas.

Tais resultados são corroborados por estudos que demonstram melhor desempenho produtivo em combinações de inoculação micorrízica com fertilizantes (Imran e Ibrahim

Ortas, 2025; Wu et al., 2024), e por uma meta-análise mostrou aumento na biomassa e melhorias significativas na absorção de nitrogênio e P com inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em vegetais. Logo, esses resultados indicam que a combinação de micorriza e fertilização química moderada promove maior produtividade com menor dependência de insumos minerais.

Em concordância com o exposto, o tratamento MIC+100% AQ apresentou a maior altura de planta (65,667 cm) e a maior matéria verde da parte aérea (49,707 g) entre os tratamentos com micorriza, indicando elevado crescimento vegetativo (Tabela 3). No entanto, observa-se que esse aumento não foi acompanhado de ganhos proporcionais na biomassa radicular, como observado no tratamento MIC+25% AQ, que apesar de serem estatisticamente semelhante (Tabela 3), promove um incremento de 227% superior a testemunha, superando o tratamento MIC+100% em 30% (Tabela 4). Sugerindo que a alta concentração de fertilizante químico pode ter induzido algum grau de supressão da atividade micorrízica, limitando o desenvolvimento equilibrado entre parte aérea e sistema radicular. Esse efeito é consistente com estudos anteriores que apontam que níveis excessivos de nutrientes inorgânicos podem reduzir a colonização micorrízica e, conseqüentemente, a eficiência da simbiose (Prettl et al., 2024).

**Tabela 4.**

*Percentual de incremento dos tratamentos frente a testemunha para as características morfofisiológicas e produtivas (planta-1) de milho (Zea mays L.) híbrido AG-1050 cultivado por 65 dias em casa de vegetação após inoculação de sementes com micorriza em associação com diferentes níveis de adubação fosfatada.*

TRAT	CA	CB	ALT	CF	LF	DC	NFT	FE	FJ	FS	MVPA	MSPA	MVR	MSR
	Percentual (%)													
MIC+0% AQ	-	18,88	13,25	-	23,37	-	-	-	9,08	27,27	12,51	20,53	-	-
MIC+25% AQ	-	29,43	21,85	-	-	28,62	-	-	18,16	-	11,37	16,16	51,75	227,27
MIC+50% AQ	5,35	25,26	26,49	-	-	32,15	-	-	-	-	34,12	37,23	26,51	-
MIC+75% AQ	6,33	40,94	7,29	-	14,26	21,44	-	-	18,16	-	30,79	30,72	30,89	133,24
MIC+100% AQ	7,85	62,28	30,47	-	-	17,90	-	33,35	-	-	45,94	23,70	63,69	187,97
AQ	7,07	50,25	10,60	-	-	21,44	-	-	9,08	-	-	-	99,59	171,61

TRAT: Tratamento; CA: Clorofila A; CB: Clorofila B; ALT: Altura de planta; CF: Comprimento foliar; LF: Largura foliar; DC: Diâmetro do colmo; NFT: Número de folhas totais; FE: Folhas expandidas; FJ: Folhas jovens; FS: Folhas senescentes; MVPA: Matéria verde da parte aérea; MSPA: Matéria seca da parte aérea; MVR: Matéria verde de raiz; MSR: Matéria seca de raiz; %: porcentagem; MIC: Média dos tratamentos com micorrizas; AQ: Média do tratamento com adubação química; MIC+x% AQ: Média de todos os tratamentos que receberam micorrizas e níveis de adubação química; -: Médias que estatisticamente foram semelhantes a testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Além disso, a disposição dos tratamentos na Figura 1, indica que a resposta das plantas não se limita apenas à presença ou ausência de micorriza, mas está fortemente associada à interação sinérgica entre o aporte nutricional e a colonização radicular pelos fungos. Observa-se que doses intermediárias de fertilizantes, combinadas à inoculação micorrízica, resultam em uma distribuição equilibrada no eixo de variabilidade, sugerindo que tais condições favorecem tanto o desenvolvimento do aparato radicular quanto a capacidade de absorção de

nutrientes. Esse padrão é consistente com a teoria de que a micorriza atua como extensora do sistema radicular, ampliando o volume de solo explorado e, conseqüentemente, a disponibilidade de P e outros elementos essenciais (Imran e Ibrahim Ortas, 2025). Tal efeito é particularmente relevante em solos com limitações químicas ou físicas, nos quais o equilíbrio entre adubação e colonização micorrízica pode maximizar a eficiência de uso dos nutrientes e, portanto, a produtividade final.

Para as variáveis analisadas, apenas em três, os tratamentos com micorriza e adubação química não diferiram significativamente ( $p \leq 0,05$ ) da testemunha (Tabela 2 e 3). Assim evidenciando a relevância de tais fungos na melhoria da qualidade do sistema solo-planta. Os incrementos frente a testemunha (Tabela 4), para as clorofilas, os ganhos variaram de 5,35 a 7,07% com os tratamentos MIC+50% AQ e AQ, na CA, e de 18,88 a 62,28% nos tratamentos MIC+0% AQ e MIC+100% AQ, na CB, respectivamente. Para ALT variou de 7,29 a 30,47% com os tratamentos MIC+75% AQ e MIC+100% AQ, respectivamente (Tabela 4). Nas variáveis LF e FS, o tratamento MIC+0% AQ observou destaque, com incrementos superiores a 23% (Tabela 4). Para o DC foi de 17,90 a 32,15% com os tratamentos MIC+100% AQ e MIC+50% AQ, respectivamente.

Para FE destaque foi o tratamento MIC+100% AQ, com 33,35% de incremento, e na variável FJ os tratamentos MIC+25 e 50% AQ promovem 18,16% de incremento frente a testemunha (Tabela 4). Esses ganhos compensatórios tornam-se ainda mais evidentes quando se observa as variáveis MVPA, MSPA, MVR e MSR em todos os tratamentos consorciados (Tabela 4). Com variação de 11,37 a 45,94% e de 16,16 a 37,23%, nas variáveis MVPA e MSPA, com os tratamentos MIC+25% AQ e MIC+100% AQ, e MIC+25% AQ e MIC+50% AQ, respectivamente. Para MVR e MSR, a variação de incremento foi de 26,51 a 99,59 e de 133,24 a 227,27, com os tratamentos MIC+50% AQ e AQ, e MIC+75% AQ e MIC+25% AQ, respectivamente.

Segundo Bortolot *et al.* (2024), os fungos micorrízicos arbusculares constituem uma classe de microrganismos benéficos amplamente distribuídos nos ecossistemas edáficos, formando associações simbióticas com mais de 90% das plantas superiores terrestres. Os autores ressaltam que nessa interação, tais fungos desempenham um papel fundamental na promoção do crescimento vegetal, no aumento da resistência a doenças e estresses abióticos, contribuindo para a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas.

Assim, realçando a importância da utilização de microrganismos capazes de promover o incremento de características fisiológicas e morfológicas de plantas forrageiras Boldic e Hijri (2011), De forma geral, esses conceitos suportam a hipótese deste trabalho de uso de consórcios micorrízicos juntamente com adubação química para melhoria da qualidade e produtividade da cultura do milho, desta forma, garantindo uma menor proporção de insumos sintéticos aplicados em áreas de plantio em gramíneas, entre elas o milho, e uma maior produtividade e sustentabilidade ambiental.

## Considerações Finais

Os resultados demonstram que a associação entre fungos micorrízicos arbusculares e a adubação fosfatada promoveu melhorias significativas no desenvolvimento morfofisiológico do milho AG-1050. Observou-se que tratamentos com inoculação micorrízica combinados a 75% da adubação química apresentaram desempenho semelhante ou até superior ao uso isolado de 100% do fertilizante mineral.

Sob a perspectiva agrônômica, a combinação entre micorriza e 75% da adubação recomendada destacou-se como a estratégia mais equilibrada. Essa associação favoreceu simultaneamente o crescimento vegetal e a eficiência nutricional das plantas. O resultado sugere uma interação sinérgica entre a maior disponibilidade de nutrientes e a colonização radicular promovida pelos fungos.

Diante dessas limitações, novos estudos são necessários para validar a eficiência dessa associação em condições edafoclimáticas distintas. Recomenda-se investigar a resposta produtiva em campo sob níveis reduzidos de adubação fosfatada associados à micorrização. Também se destaca a necessidade de avaliar impactos sobre a microbiota do solo e a estabilidade da simbiose ao longo do ciclo da cultura.

## REFERÊNCIAS

- Bianco, S., Brendolan, R. A., Alves, P. I. C. A., & Pitelli, R. A. (2000). Estimativa da área foliar de plantas daninhas: *Brachiaria decumbens* Stapf. e *Brachiaria Brizantha* (Hochst.) Stapf. *Planta Daminha*, 18(1), 79-83. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582000000100008>.
- Bortolot, M., Buffoni, B., Mazzarino, S., Hoff, G., Martino, E., Fiorilli, V., & Di Fossalunga, A. S. (2024). The importance of mycorrhizal fungi and their associated bacteria in promoting crops' performance: An applicative perspective. *Horticulturae*, 10(12), 1326. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10121326>
- Bueno, C. G., Gerz, M., Moora, M., León, D., Gomez-García, D., García de León, D., Fonte, X., Al-Quraishy, S., Hozzein, W. N., & Zobel, M. (2021). The distribution of mycorrhizal traits of plants along an elevational gradient does not fully reflect the latitudinal gradient. *Mycorrhiza*, 31(2), 141–159. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-01012-3>
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). *Regras para análise de sementes* (1ª ed.). MAPA/ACS. [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946\\_regras\\_analise\\_sementes.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf)
- Cervantes-Gámez, R. G., Peñuelas-Rubio, O., Araujo-Benard, N., Fierro-Coronado, R. A., Trejo-Aguilar, D., Maldonado-Mendoza, I. E., & Cordeiro-Ramirez, J. D. (2021). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados a plantas voluntarias de maíz en suelos de transición: ecosistema natural - uso agrícola. *Scientia Fungorum*, 51, e1330. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1330>
- Cavalcanti, F. J. A., Santos, J. C. P., Pereira, J. R., Leite, J. P., Silva, M. C. L., Freire, F. J., Silva, D. J., Sousa, A. R., Messias, A. S., Faria, C. M. B., Burgos, N., Lima Júnior, M. A., Gomes, R. V., Cavalcanti, A. C., & Lima, J. F. W. F. (2008). Recomendação de adubação para o Estado de

Pernambuco: 2ª aproximação (3ª ed.). Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA).

<https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/39333>

- Dagher, D., Taskos, D., Mourouzidou, S., & Monokrousos, N. (2025). Microbial-enhanced abiotic stress tolerance in grapevines: Molecular mechanisms and synergistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi, plant growth-promoting rhizobacteria, and endophytes. *Horticulturae*, 11(6), 592. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11060592>
- Deepika, S., Muthuraja, R., & Muthukumar, T. (2025). Synergistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake in proso, barnyard, and little millet genotypes under different soil types and conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 25(1), 603–617. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-02155-4>
- Falcão, E. L., Wu, Q., & Silva, F. S. B. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi-mediated rhizospheric changes: What is the impact on plant secondary metabolism? *Rhizosphere*, 30, 100887. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2024.100887>
- Ferreira, P. A. A., Marchezan, C., Scopel, G., Schwab, N. T., Silva, E. P., Soares, C. R. F. S., Brunetto, G., & Stümer, S. L. (2024). Field application of mycorrhizal inoculant influences growth, nutrition, and physiological parameters of corn plants and affects soil microbiological attributes. *Agronomy*, 14(12), 3006. <https://doi.org/10.3390/agronomy14123006>
- Fu, W., Niu, T., Wu, S., Hao, Z., Rilling, M. C., & Chen, B. (2025). Harnessing arbuscular mycorrhizal fungal communities for ecological restoration: A conceptual framework. *Soil Biology and Biochemistry*, 209, 109902. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2025.109902>
- Imran, A., & Ibrahim, O. (2025). Mechanism in soil health improvement with soil microbial actions and its role in potential agriculture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 56(13), 2066–2087. <https://doi.org/10.1080/00103624.2025.2486597>
- Li, M., Chen, X. W., & Leung, A. K. (2024). Grass species and mycorrhizal fungi improved aggregate stability of compacted and vegetated soils. *Plant and Soil*, 511(1–2), 1081–1099. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-07038-2>
- Nascimento, I. O., Silva, B. S., Almeida, B. S., Cunha, W. L., Sobrinho, N. A., Oliveira, J. D., Nobre, C. P., & Rodrigues, A. A. C. (2024). Eficiência simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares do cerrado maranhense associados à cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, 16(1), 1774–1791. <https://doi.org/10.55905/cuadv16n1-092>
- Oliveira, J. T. C., Pereira, A. P. A., Souza, A. J., Kuklinsky-Sobral, J., Freire, F. J., dos Santos, M. V. F., & Lira, M. de A. (2022). Inoculation with plant-growth promoting bacteria improves seed germination and initial development of *Brachiaria decumbens*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 94(1), e20200124. <https://doi.org/10.1590/0001-3765220220200124>
- Prettl, N., Biró, B., Nugroho, P. A., Kotroczo, Z., Kabalan, S., Kovács, F., Papdi, E., & Juhos, K. (2024). Limited effect of mycorrhizal inoculation depending on soil type and fertilization level in a central European field trial. *Plant Growth Regulation*, 104(3), 1669–1681. <https://doi.org/10.1007/s10725-024-01251-w>

- Pandao, M. R., Thakare, A. A., Choudhari, R. J., Navghare, N. R., Sirsat, D. D., & Rathod, S. R. (2024). Soil health and nutrient management. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(5), 873–883. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i54583>
- Rosa, D. F. M. e., Brisola, M. V., & Reis, S. A. (2024). Um estudo prospectivo da cadeia produtiva do milho no Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 40, e27368. <https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2023.v40.27368>
- Roy-Bolduc, A., & Hijri, M. (2011). The use of mycorrhizae to enhance phosphorus uptake: A way out the phosphorus crisis. *Journal of Biofertilizers & Biopesticides*, 2(1), 1000104. <https://doi.org/10.4172/2155-6202.1000104>
- Severo, H. C. A. R., Arauco, S. A. M., Nunes, R. W. F., Monteiro, G. N., Duarte, M. H. F., da Silva, A. P. M., Ferreira, A. C., Luz, M. R., Miranda, R. S., Araújo, A. S. F., & Costa, E. M. (2025). Co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bacillus subtilis* enhances morphological traits, growth, and nutrient uptake in maize under limited phosphorus availability. *Scientific Reports*, 15(1), 25448. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10038-6>
- Santos, F., Melkani, S., Oliveira-Paiva, C., Bini, D., Pavuluri, K., Gatiboni, L., Mahmud, A., Torres, M., McLamore, E., & Jehangir, H. B. (2024). Biofertilizer use in the United States: Definition, regulation, and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 108(1), 511. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13347-4>
- Wu, Y., Chen, C., & Wang, G. (2024). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves plant biomass and nitrogen and phosphorus nutrients: A meta-analysis. *BMC Plant Biology*, 24(1), 960. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05638-9>