UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JÔNATHAS EUGÊNIO SILVA

EFEITO DA INOCULAÇÃO COM SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO NA MORFOFISIOLOGIA, FENOLOGIA E BIOMASSA MICROBIANA EM PLANTAS DE ALGODÃO HERBÁCEO

FORTALEZA
2025

JÔNATHAS EUGÊNIO SILVA

EFEITO DA INOCULAÇÃO COM SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO NA MORFOFISIOLOGIA, FENOLOGIA E BIOMASSA MICROBIANA EM PLANTAS DE ALGODÃO HERBÁCEO

Monografia apresentada a Coordenação do Curso de Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.
Coorientador: Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araújo Pereira.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S58e Silva, Jônathas Eugênio.
Efeito da inoculação com solubilizador de fósforo na morfofisiologia, fenologia e biomassa microbiana em plantas de algodão herbáceo / Jônathas Eugênio Silva. – 2025.
67 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2025.
Orientação: Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.
Coorientação: Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araújo Pereira.

1. Gossypium sp. 2. Solubilizador. 3. Inoculante. 4. Estimulante de crescimento. I. Título.

CDD 630

JÔNATHAS EUGÊNIO SILVA

EFEITO DA INOCULAÇÃO COM SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO NA MORFOFISIOLOGIA, FENOLOGIA E BIOMASSA MICROBIANA EM PLANTAS DE ALGODÃO HERBÁCEO

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 21/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof. Dr. Rosilene Oliveira Mesquita (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____
Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araújo Pereira (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____
Dr. Johny de Souza Silva (Avaliador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____
Me. José Thomas Machado de Sousa (Avaliador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter dado a graça e a honra por todas as experiências boas e bênçãos que recebi ao longo de toda a minha graduação. Assim como a Santíssima Virgem e os santos e anjos do Senhor que tanto me ajudaram com o exemplo, intercessão e com todo o apoio para que eu conseguisse ir até o fim.

A minha família, especialmente meus avós, Júlia (*In Memorian*) e Sebastião (*In Memorian*) que tanto sonharam em ver um Agrônomo na família.

Aos meus pais, Juscelino e Jucileide e minha irmã Júlia, que sempre estiveram presente dando apoio ao longo da minha graduação.

Ao meu grande amigo do peito e irmão, Ryan Felipe, que não só me ajudou na execução deste TCC, assim como tem me acompanhado, auxiliado e convivido bastante comigo ao longo de toda a minha graduação.

Ao grupo de oração universitário (GOU), por todos os momentos espirituais e fraternos. Agradeço de forma especial ao Caio Victor, um grande amigo que conheci graças ao grupo, que tenho grande consideração e que tem me ajudado com o companheirismo e suporte.

Aos meus amigos que conheci ao longo da graduação, o grupo da "pizza", Daniel, Auryno, Jairo, Ryan. Agradeço por todo auxílio, companheirismo e suporte.

Ao grupo PET Agronomia UFC, que tem me acompanhado desde o 2° semestre, que tem me possibilitado experiências incríveis no mundo Agro. Fico feliz por ter feito parte do programa, assim como por ter conhecido e aprendido com os petianos que tive a graça de conviver.

Agradeço de forma especial à minha orientadora e tutora, professora Rosilene Oliveira Mesquita, por todo suporte, conselhos e orientações que recebi durante o PET e que me estimulou na pesquisa e desenvolvimento do TCC.

Ao professor Arthur Prudêncio de Araújo Pereira, meu coorientador, a quem tive a oportunidade nessa reta final de ter o contato e aprender bastante sobre a microbiologia do solo. Assim como agradeço ao Kaio, técnico do laboratório por todo conhecimento e experiência assim como, ao doutorando Murilo.

À professora Érica, por todo apoio e suporte durante a condução do experimento, principalmente quanto ao controle de pragas.

A todos que contribuíram diretamente ou indiretamente na execução deste TCC, Paulo Marcelo, Matheus Medeiros, Brena, Johny, Letícia, Jairo, Ryan Felipe, Daniel, Rodrigo, Thifany, Daphne e Camile.

Por fim, a todos os professores que compartilharam seus saberes, contribuindo para o meu desenvolvimento e formação como um profissional mais preparado.

“É justo que muito custe o que muito vale.”
Teresa de Ávila

RESUMO

O algodão, é uma das principais *commodity* agrícolas que tem ganhado destaque nos últimos anos, havendo uma crescente demanda no mercado interno e externo não só pela pluma, mas também pelos produtos derivados, devido a sua grande multiplicidade. Ademais, dentre os insumos que mais encarecem o sistema de produção, é a adubação mineral, sendo o fósforo um dos macronutrientes que tem demandado pesquisas sobre o assunto, uma vez que este é indispensável para o metabolismo das plantas e no algodão é indispensável para o crescimento e desempenho de processos fisiológicos como a fotossíntese. Dessa forma, estudos utilizando microrganismos solubilizadores de fósforo têm ganhado destaque nos últimos anos, sendo uma forma orgânica de garantir fósforo disponível para a cultura. Assim sendo, objetivou-se com o presente trabalho avaliar as respostas fisiológicas do algodão herbáceo submetido às diferentes dosagens do inoculante BiomaPhos®, composto pelas cepas BRM 119 *(Priestia megaterium)* e BRM 2084 *(Bacillus subtilis)*, assim como sua influência no carbono da biomassa microbiana do solo. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, tendo 4 tratamentos variando quanto a dosagens do BiomaPhos® (controle 0 mL, 0,3 mL, 0,6 mL; 0,9 mL) com 8 repetições. Foram avaliados parâmetros biométricos (altura, número de folhas, diâmetro do caule e biomassas secas), fisiológicos (trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*) e o carbono da biomassa microbiana. O período de coleta dos dados biométricos ocorreu em dois períodos, 35 DAS e 98 DAS, os dados fisiológicos foram coletados em três períodos, 35 DAS, 51 DAS e 90 DAS, enquanto que a coleta de dados para análise do carbono da biomassa microbiana ocorreu 98 DAS. A presença dos microrganismos afetou diretamente a cultura, quanto aos dados biométricos de crescimento. As plantas inoculadas, apresentaram época de desenvolvimento fenológico precoce nos estádios iniciais. Nos dados fisiológicos, em variáveis como fotossíntese e eficiência instantânea de carboxilação, as doses apresentaram influências positivas, dando maior destaque a dose de 0,6mL e a dose 0,9mL, cujo primeiro apresentou melhores resultados ao longo do experimento, enquanto que o último apresentou os piores resultados a partir do início da fase reprodutiva. Pode-se concluir que os microrganismos influenciaram o desenvolvimento da cultura, sendo a melhor dosagem e, portanto, recomendada a de 0,6 mL.

Palavras-chave: *Gossypium* sp; solubilizador; inoculante; estimulante de crescimento.

ABSTRACT

Cotton is one of the main agricultural commodities that has gained prominence in recent years, with increasing demand in both domestic and international markets not only for its fiber but also for its various derived products. Additionally, one of the most expensive inputs in the production system is mineral fertilization, with phosphorus being one of the macronutrients that has driven research on the subject, as it is essential for plant metabolism and crucial for the growth and physiological processes of cotton, such as photosynthesis. Thus, studies utilizing phosphorus-solubilizing microorganisms have gained attention in recent years as an organic approach to ensuring phosphorus availability for crops. This study aimed to evaluate the physiological responses of herbaceous cotton subjected to different dosages of the BiomaPhos® inoculant, composed of the strains BRM 119 (*Priestia megaterium*) and BRM 2084 (*Bacillus subtilis*), as well as its influence on soil microbial biomass carbon. The experimental design adopted was completely randomized, with four treatments varying in BiomaPhos® dosage (control 0 mL, 0.3 mL, 0.6 mL, and 0.9 mL), each with eight replications. Biometric parameters (plant height, leaf number, stem diameter, and dry biomass), physiological parameters (gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence), and microbial biomass carbon were evaluated. Biometric data were collected at two time points, 35 DAS and 98 DAS, while physiological data were collected at three time points, 35 DAS, 51 DAS, and 90 DAS. Microbial biomass carbon was analyzed at 98 DAS. The presence of microorganisms directly affected crop growth in terms of biometric parameters. Inoculated plants exhibited an earlier phenological development stage during the initial growth phases. Regarding physiological data, variables such as photosynthesis and instantaneous carboxylation efficiency showed positive responses to inoculation, with the 0.6 mL and 0.9 mL doses standing out. The 0.6 mL dose yielded the best results throughout the experiment, while the 0.9 mL dose exhibited the worst results starting from the reproductive phase. It can be concluded that the microorganisms influenced crop development, with the 0.6 mL dose being the most effective and therefore recommended.

Keywords: *Gossypium* sp; solubilizer; inoculant; growth stimulant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração dos mecanismos de solubilização de fósforo..... 28

Figura 2 – Casa de vegetação..... 29

Figura 3 – Diferentes estágios de desenvolvimento do algodão, (A) Fase inicial, vegetativa, (B) Fase reprodutiva, florescimento, (C) Fase reprodutiva, formação da maçã, (D) Abertura dos capulhos..... 31

Figura 4 – Leitura de trocas gasosas e fluorescência da clorofila a..... 34

Figura 5 – Diferentes etapas para obtenção do C microbiano em laboratório, (A) Pesagem das 20 g de solo tanto para amostras fumigadas e não fumigadas, (B) Etapa de centrifugação, para decantação do material, após adição de sulfato de potássio, (C) Filtração do sobrenadante com o auxílio de papel filtro, (D) Pipetagem do extrato para tubo digestor, seguido da adição de dicromato de potássio, mistura ácido sulfúrico/ fosfórica. Após esse procedimento a digestão ocorreu em banho maria, posteriormente foi transferido para erlenmeyer, foi-se adicionado 50ml de água destilada e após a adição do indicador foi realizada a titulação..... 36

Figura 6 – (A) Respostas da variável altura, (B) diâmetro do caule e (C) número de folhas na primeira coleta de dados (35 DAS), em plantas de algodão herbáceo submetidos a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 38

Figura 7 – Respostas da variável (A) taxa de crescimento absoluto e (B) taxa de crescimento relativo, ao final do experimento, em plantas de algodão herbáceo submetidos a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 41

Figura 8 – Respostas fisiológicas da variável (A) fotossíntese líquida e (B) eficiência instantânea de carboxilação, na época de formação dos botões florais, em plantas de algodão herbáceo submetidos a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 42

Figura 9 – Respostas fisiológicas da variável (A) quenching não-fotoquímico (qN), (B) rendimento quântico efetivo no fotossistema II (ϕPSII) e (C) taxa de transporte de elétrons na época de formação dos botões florais, em plantas

de algodão herbáceo submetidos a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 44

Figura 10 – Respostas fisiológicas da variável (A) fotossíntese líquida, (B) condutância estomática, (C) taxa de transpiração, (D) razão concentração interna e externa de CO2 e (E) eficiência instantânea de carboxilação, na época de floração, em plantas de algodão herbáceo submetidos a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 46

Figura 11 – Respostas fisiológicas da variável quenching fotoquímico (qP) na época de floração, em plantas de algodão herbáceo submetidos a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 48

Figura 12 – Respostas fisiológicas da variável (A) fotossíntese líquida, (B) concentração interna e externa de CO2, (C) eficiência instantânea do uso da água, (D) eficiência intrínseca do uso da água e (E) eficiência instantânea de carboxilação na época de formação de capulho, em plantas de algodão herbáceo submetidos a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 49

Figura 13 – Resposta referente ao carbono microbiano do solo submetido a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas entre si não apresentam diferença estatística..... 53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição de mecanismos de solubilização de fósforo inorgânico (Pi)..... 26
Quadro 2 – Descrição de mecanismos de solubilização de fósforo orgânico (Po)..... 27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atributos físicos e químicos do solo utilizado no experimento antes dos tratamentos culturais (profundidade 0-20cm)..... 30

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para as variáveis referente a primeira coleta de altura (ALT01), diâmetro do caule (DC01), número de folhas (NF01), assim como as variáveis referente a segunda coleta de dados, altura (ALT02), diâmetro do caule (DC02), número de folhas (NF02)..... 38

Tabela 3 – Resumo da análise de variância dos dados biométricos de biomassa, sendo as variáveis a de massa seca foliar (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca de raiz (MSR), massa do capulho (MSCAP), massa dos caroços (MSCAR), peso de 100 sementes (P100S) e massa seca total (MST)..... 39

Tabela 4 – Resumo análise de variância, taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), razão massa foliar (RMF), razão massa do caule (RMC), razão massa da raiz (RMR), razão massa do capulho (RMCAP) e razão raiz em relação a part e aérea (Razão R/PA)..... 40

Tabela 5 – Resumo da análise de variância das avaliações fisiológicas, fotossíntese líquida (A - μmol CO2 $m^{-2}s^{-1}$), condutância estomática (gs - mol H2O $m^{-2}s^{-1}$), taxa de transpiração (E - mmol $m^{-2}s^{-1}$), razão concentração interna e externa de CO2 (Ci/Ca), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), eficiência de carboxilação (EiC)..... 41

Tabela 6 – Resumo análise de variância fluorescência da clorofila a, quenching fotoquímico (qP), quenching não-fotoquímico (qN), rendimento quântico efetivo do PSII (ϕFSII), taxa de transporte de elétrons (ETR)..... 43

Tabela 7 – Resumo análise de variância avaliações fisiológicas, fotossíntese líquida (A - μmol CO2 $m^{-2}s^{-1}$), condutância estomática (gs - mol H2O $m^{-2}s^{-1}$), taxa de transpiração (E - mmol $m^{-2}s^{-1}$), razão concentração interna e externa de CO2 (Ci/Ca), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), eficiência de carboxilação (EiC)..... 45

Tabela 8 – Resumo análise de variância fluorescência da clorofila a, quenching fotoquímico (qP), quenching não-fotoquímico (qN), rendimento quântico efetivo do PSII (ϕFSII), taxa de transporte de elétrons (ETR)... 47

Tabela 9 – Resumo análise de variância avaliações fisiológicas, fotossíntese líquida (A - μmol CO2 $m^{-2}s^{-1}$), condutância estomática (gs - mol H2O $m^{-2}s^{-1}$), taxa de transpiração (E - mmol $m^{-2}s^{-1}$), razão concentração interna e externa de CO2 (Ci/Ca), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), eficiência de carboxilação (EiC)..... 48

Tabela 10 – Resumo análise de variância fluorescência da clorofila a, quenching fotoquímico (qP), quenching não-fotoquímico (qN), rendimento quântico efetivo do PSII (ϕFSII), taxa de transporte de elétrons (ETR)... 51

Tabela 11 – Estádios fenológicos do algodão herbáceo em dias após a emergência, sob diferentes doses do inoculante BiomaPhos..... 51

Tabela 12 – Resumo análise de variância carbono da biomassa microbiana (C-MIC (μg g^{-1}))..... 52

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	18
2	**HIPÓTESE**	20
3	**OBJETIVOS**	20
3.1	**Objetivo geral**	20
3.1.1	***Objetivos específicos***	20
4	**REFERENCIAL TEÓRICO**	21
4.1	**Botânica e importância econômica do algodão**	21
4.2	**Fósforo nas plantas e no solo**	23
4.3	**Ciclo do fósforo**	24
4.4	**Os microrganismos solubilizadores de fosfato**	25
5	**MATERIAL E MÉTODOS**	29
5.1	**Localização do experimento**	29
5.2	**Delineamento experimental e tratamentos**	29
5.3	**Características físico-químicas do solo**	30
5.4	**Montagem do experimento e tratos culturais**	31
5.5	**Análises biométricas e fisiológicas**	32
5.5.1	***Análises de crescimento***	32
5.5.2	***Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a***	33
5.6	**Estádios fenológicos de desenvolvimento**	34
5.7	**Variáveis microbiológicas analisadas**	34
5.8	**Teores de carbono da biomassa microbiana do solo**	35
5.9	**Análise estatística**	37
6	**RESULTADOS**	37
6.1	**Avaliação de crescimento e desenvolvimento**	37
6.2	**Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a**	41
6.2.1	***Estádio de botões florais***	41
6.2.2	***Estádio de florescimento***	45
6.2.3	***Estádio de abertura do capulho***	48
6.3	**Estádios fenológicos**	51
6.4	**Carbono da biomassa microbiana do solo**	52
7	**DISCUSSÃO**	54

8 CONCLUSÃO 60
REFERÊNCIAS 61
ANEXO A – RESULTADOS OBTIDOS DO CARBONO MICROBIANO REFERENTE A CADA UMA DAS AMOSTRAS 68

1. INTRODUÇÃO

O algodão herbáceo (*Gossypium* sp.) é uma das principais culturas domesticadas pelo homem, cujo principal produto é a fibra, responsável pela vestimenta de mais da metade da população mundial. E, dentre os produtos derivados do algodão tem-se o óleo, que é amplamente utilizado na alimentação humana, especialmente na produção de margarina e a torta de semente de algodão, subproduto da extração do óleo que pode ser utilizada para a alimentação de ruminantes como concentrado protéico (Paim, 2010).

O agronegócio do algodoeiro é uma das principais fontes geradoras de renda não só do Brasil, mas do mundo, em que mais de 150 países dos 207 oficiais produzem ou se utilizam do algodão em pluma (Beltrão & azevedo, 2008). Além disso, segundo dados da Conab (2023), o Brasil atualmente possui 1.600,4 mil hectares voltados para o cultivo dessa grande cultura, com expectativa de crescimento de 2,3% já no ano de 2023, sendo o nordeste responsável por 22,2% da área total voltada para a produção.

Entretanto, um dos principais fatores limitantes para a produção algodoeira e consequente melhor retorno econômico para o produtor, são os gastos referente a adubação mineral, essencial não só para que a cultura complete o seu ciclo, assim como que ela também atinja o seu máximo potencial produtivo (Carvalho, 2006). A atual conjuntura global mostra a dependência do mercado brasileiro na importação de adubos minerais como N, P e K (nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente), especialmente o P e o K, derivados diretamente de rochas específicas (Oliveira, 2019). Além disso, a maior parte dos solos brasileiros são de caráter ácido, sendo necessária uma correção antes da aplicação mineral e seja sob constituição ácida ou básica, ambos são fatores que limitam a disponibilidade de fósforo para a planta, podendo este ficar adsorvido ao solo, ou precipitar, a depender do pH (Oliveira, 2018).

Outrossim, a maioria dos solos brasileiros apresenta baixa disponibilidade de fósforo, o que pode limitar o crescimento e desenvolvimento das culturas. Nesse contexto, o uso de micro-organismos solubilizadores de fósforo contribui para um melhor aproveitamento dos recursos minerais aplicados, tornando esse nutriente mais acessível às plantas.(Chaves, 2004).

Dessa forma, tendo em vista o problema nutricional natural envolvendo o fósforo e este ficar adsorvido no solo ou se perder de forma natural no solo e a sua maior disponibilização para as plantas envolvendo o uso de microrganismos solubilizadores, diante desse contexto,

este estudo teve como objetivo avaliar as respostas morfofisiológicas do algodão herbáceo e o carbono microbiano sob doses de solubilizadoras de fósforo.

2. HIPÓTESE

O uso do solubilizador de fósforo melhora o aproveitamento do fósforo, favorecendo os parâmetros morfofisiológicos do algodão herbáceo, além de promover melhorias nos atributos biológicos do solo.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar as respostas morfofisiológicas do algodão herbáceo e o carbono microbiano do solo, submetido às diferentes dosagens do inoculante BiomaPhos®, composto pelas cepas BRM 119 *(Priestia megaterium)* e BRM 2084 *(Bacillus subtilis*).

3.1.1 Objetivos específicos

- Avaliar respostas fisiológicas de trocas gasosas e fluorescência da clorofila e os parâmetros de crescimento do algodoeiro herbáceo sob a aplicação de doses do BiomaPhos®;
- Determinar qual a melhor dose do solubilizador fósforo que contribui para as características agronômicas do algodão herbáceo.
- Avaliar os teores de carbono da biomassa microbiana do solo em função de doses do BiomaPhos®.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Botânica e importância econômica do algodão

O algodão pertence à ordem Malvales, família Malvaceae, gênero *Gossypium* e espécie *Gossypium sp,* é uma planta pertencente às angiospermas de caráter arbóreo ou herbáceo, anual e perene com o ciclo variando entre 165 a 180 dias de porte médio, ereto, com um crescimento indeterminado, podendo chegar até 6 metros nos trópicos, mas que sob o cultivo e manejo estes podem variar de 1 a 2 metros de altura. (Weigmann, 2024).

O *Gossypium* sp é uma dicotiledônea de metabolismo pouco eficiente C3, o que implica em uma maior fotorrespiração. Além disso, o algodoeiro apresenta dois tipos de crescimento, a do tipo monopodial, ou seja, que se desenvolve a partir de gemas situadas no plano axial das folhas, responsável pelo desenvolvimento do ramo vegetativo e da haste principal e o crescimento simpodial, que se desenvolve via hipnoblastos nas axilas foliares, responsável pelo desenvolvimento do ramo reprodutivo (Beltrão, 2008).

Ademais, o sistema radicular do algodoeiro é do tipo axial ou pivotante, apresentando uma raiz principal e várias outras secundárias e terciárias, de crescimento mais rápido e intenso do que a parte aérea, que a depender das condições do solo a raiz principal pode chegar a 2 metros de profundidade, entretanto cerca de 80% da massa das raízes se encontram na camada entre 0 - 20cm (Beltrão *et al.*, 2011; Beltrão & Azevedo, 2008). Além de que, o desenvolvimento radicular é condicionado ao crescimento do caule e este se dá até a época de florescimento (Nayakekorala & Taylor, 1990).

No desenvolvimento da parte aérea, o caule é caracterizado morfologicamente como ereto cilíndrico, mas ocasionalmente pode apresentar um formato quadrangular ou pentangular. Podendo o caule, ramos ou os pecíolos serem revestidos ou não por tricomas, usualmente os ramos frutíferos começam a aparecer a partir do quinto ou sétimo nó a partir do cotiledonar (Beltrão *et al.*, 2011). Embora já tenha sido constatada a presença do ramo frutífero a partir do quarto nó, sendo que a precocidade da cultura se dar de acordo com o menor números de nós para inserção do primeiro ramo frutífero (Mauney, 2015; Gilio, 2014).

Além do mais as folhas são pecioladas, de disposição espiraladas, alternadas, na maioria das vezes cordiforme com a presença de 3 a 5 lóbulos, de limbo regular palminervado, sem bainha e de consistência herbácea ou coriácea, sendo as folhas cotiledonares de caráter simples. (Beltrão & Azevedo, 2008).

As flores são completas e isoladas, possuindo 4 verticilos florais, pétalas, sépalas, androceu e gineceu, além de 3 brácteas de proteção. A flor passa para a coloração róseo e purpúreo após a fecundação (De Sousa, 2010). Os frutos recebem a denominação de maçãs antes da deiscência e após com a exposição das fibras, de capulhos. O fruto é formado por uma cápsula deiscente de abertura longitudinal com 3 a 5 locos, contendo de 6 a 10 sementes. Além disso, as sementes são ovaladas e escuras e possuem um peso variável de 0,10 a 0,13g, elas são revestidas por fibras longas de coloração variável e de uma fibra curta aderidas a elas denominada línter (Abrahão, 1982; Corrêa, 2017).

O algodão é uma das grandes culturas exploradas pelo homem há séculos, especialmente pelo seu produto principal, a pluma, que para a indústria têxtil tem bastante importância para a produção de fios, tecidos, confecção e linhas. Entretanto, a cultura apresenta uma grande multiplicidade, apresentando outros subprodutos de interesse econômico, como por exemplo o óleo de semente de algodão usado para a alimentação humana, a exemplo da produção da margarina ou para a produção de biodiesel e a torta de semente de algodão, usada para alimentação animal ou como adubo. Além de que, o línter também possui uma grande importância econômica especialmente para a produção de fibras mais longas usadas para produtos de enfermagem e fibras médias e curtas usadas na produção de celulose (Sczostak, 2009; Vieira *et al.*, 2008; Cassales *et al.*, 2011).

Sendo acrescido a tudo isso a seguinte informação por (Costa *et al*., 2005, Circular técnica, 87, Embrapa).

> O algodoeiro produz a mais importante das fibras têxteis, naturais ou artificiais, por oferecer variados produtos de utilidade, com grande relevância na economia brasileira e mundial, razão por que é considerado uma das plantas de aproveitamento mais completo.

Estima-se que em média 35 milhões de hectares são utilizados para plantar *Gossypium sp* em todo o mundo e que a demanda mundial tem aumentado cerca de 2% desde o ano de 1950 (ABRAPA, 2022). Segundo a CONAB (2022), o Brasil atualmente utiliza 1600,4 mil hectares de área para o cultivo dessa cultura e o Nordeste juntamente com a região Norte utiliza 368,3 mil hectares. A cotonicultura no Brasil tem posicionado o país como segundo maior exportador mundial dessa *commodity*, além do que, segundo Beltrão & Azevedo (2008) o Brasil é o único país que pode crescer não só em produtividade, mas também em área plantada. O clima tropical a nível nacional e semiárido a nível Nordeste, possibilita uma maior exploração de área e aumento na produtividade, uma vez que se torna possível explorar a terra ao longo de todo o ano.

Entretanto, os fertilizantes representam um dos principais custos operacionais para os produtores agrícolas brasileiros. Segundo dados da CNA (Confederação Nacional da Agricultura) de janeiro de 2020 a março de 2022 os preços dos principais fertilizantes tiveram alta de 288%. De acordo com Ramos (2022), na produção do algodão, os fertilizantes apresentam uma participação de 17% de custo operacional.

Além disso, conforme Osaki (2022) no início de 2022 a tonelada da ureia (fertilizante nitrogenado) estava sendo negociada em média por 5.844,70 R$/t, O MAP (fosfato monoamônico) 7.032,10 R$/t e o KCl (cloreto de potássio) 6.171,50 R$/t, sendo o fertilizante a base de P apresentando os maiores preços. Ademais, o Brasil é um dos principais importadores de fertilizante mineral, principalmente de P e K, uma vez que estes provêm de exploração mineral, além disso, devido a defasagem da oferta de matéria prima, atrelada a guerra da Ucrânia com a Rússia, cujo principal exportador do adubo mineral mundial é a Rússia, isso mostra a real necessidade de meios alternativos para transpor essa dependência do Brasil com o mercado de adubo no exterior, além de meios alternativos para que o recurso mineral investido venha a atingir o seu real potencial de total aproveitamento no sistema produtivo agrícola.

4.2 Fósforo nas plantas e no solo

O fósforo (P) está presente em todas as células vivas, seja de animais ou plantas e é insubstituível, ou seja, nenhum outro elemento químico pode assumir as funções metabólicas desencadeadas por meio do P presente nas células. O P é um dos 17 nutrientes essenciais necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Sousa, 2004) e a falta desse nutriente pode afetar diretamente na produção. Além de que, juntamente com o nitrogênio (N) e o potássio (K), o fósforo é denominado macronutriente primário, isso deve-se às quantidades elevadas exigidas pelas culturas.

Nas plantas o P é essencial devido a participação desse elemento nos processos que conferem o armazenamento de energia na forma de ATP (*Adenosine TriPhosphate*) ou ADP (*Adenosine DiPhosphate*), sendo o ATP essencial para os processos vitais do organismo (Fernandéz, 2007). Além disso, o fósforo influencia diretamente na utilização dos açúcares e do amido, participa do processo de fotossíntese, fosforilação e é constituinte de nucleotídeos trifosfatos envolvidos diretamente na síntese dos ácidos nucleicos DNA e RNA, ácido ribonucleico e desoxirribonucleico respectivamente. Ademais, uma vez que o algodão investe primariamente no desenvolvimento radicular até o início do estágio reprodutivo, o fósforo é

imprescindível, pois ele é o elemento responsável diretamente por estimular o crescimento e a formação do sistema radicular (Sousa, 2004).

Em condição de deficiência, o P por ser considerado móvel dentro do algodão, ocorre aqui uma translocação do P de tecido mais velho para os mais novos, apresentando dessa forma os primeiros sinais de deficiência em tecidos velhos. Dessa forma, as folhas mais velhas tornam-se amarelas e apresentam uma costura larga de tecido cinza esverdeado fosco, ademais a planta pode apresentar um crescimento retardado (Borin *et al.*, 2013). Segundo dados de Vance et al., (2003), a deficiência desse elemento pode afetar reduzindo a produção da cultura em até 10% - 15%, uma vez que o P é também imprescindível para a formação das cápsulas. Tal fato, implica diretamente no produto comercial, sendo esse um dos estágios fenológicos com alta demanda do nutriente (Ali & Ahmad, 2021).

No solo, o fósforo é caracterizado por sua baixa mobilidade e pode ser encontrado tanto na forma orgânica (fósforo orgânico) quanto na forma inorgânica (fósforo inorgânico). A principal forma disponível na solução do solo é o íon fosfato ($H_2PO_4^-$), que é preferencialmente absorvido pelas plantas e microrganismos. Além disso, devido à grande tendência de adsorção em óxidos de Fe e Al, sendo esses elementos influenciados diretamente pelo pH do solo, isso faz com que o P seja considerado deficiente na maior parte dos solos brasileiros (Cardoso, 2016).

4.3 Ciclo do fósforo

A maioria dos solos contém níveis altos de P, especialmente comparado com outros nutrientes como K e N, entretanto mais de 80% do P é imóvel, portanto, encontra-se indisponível para as plantas (Xu *et al.*, 2020). Os maiores reservatórios de P no solo e nos ambientes marinhos são as rochas fosfáticas e as rochas sedimentares respectivamente, entretanto essas reservas, assim como o equilíbrio do fósforo é afetada diretamente pela atividade humana por meio da produção e uso de produtos organofosforados, extração de reservas geológicas e descarte de excrementos animais no meio ambiente (Tian *et al.*, 2021).

Ademais, fatores ambientais tais quais a precipitação e a temperatura do solo, são outros fatores que influenciam diretamente no ciclo do solo, embora muito pouco se saiba sobre a interferência do ciclo do P em detrimento a atividades biológica ou climáticas (Hou *et al.*, 2018; Tian *et al.*, 2021).

O ciclo biogeoquímico do fósforo difere do ciclo do carbono e do nitrogênio, uma vez que este tem característica de ser estritamente sedimentar, não apresentando componentes

gasosos na ciclagem (Stevenson, 1994). Ocorre no processo de ciclagem um fluxo unidirecional no sentido do continente para o leito do mar, na forma de sedimentos, tal processo é concluído em escala de centenas de milhões de anos. A quase totalidade de P se dá por processos de intemperismo com possível liberação de PO_4^{3-} , podendo esse processo ser facilitado por substâncias liberadas pelas raízes de plantas ou microrganismos. Uma vez que o íon PO_4^{3-} é encontrado disponível em solução, esse elemento pode ser absorvido pelos vegetais ou microrganismos a qual utiliza desse composto para a formação de compostos orgânicos (Aduan *et al.*, 2004; Cardoso, 2016).

O fósforo orgânico presente nos vegetais é decomposto pela microbiota do solo após a morte da planta, resultando na liberação de fósforo inorgânico esse fósforo inorgânico pode mais uma vez ser absorvido pela biomassa microbiana assimilado ou fixado no solo (Mendes, 2003). Tal reciclagem biogeoquímica é responsável por reter temporariamente o natural fluxo de P para o oceano, sendo que no oceano aproximadamente 90% do elemento em questão é absorvido e reciclado no oceano superficial, mas o restante é mineralizado no oceano profundo (Aduan *et al.*, 2004).

4.4 Os microrganismos solubilizadores de fosfato

As bactérias e os fungos são microrganismos responsáveis diretamente pela solubilização e mineralização do P no solo, tornando-o disponível para as plantas. Além disso, os microrganismos estabelecem relações simbióticas benéficas com as plantas, influenciando diretamente na forma com que os vegetais absorvem o P.

Inúmeros são os benefícios proporcionados por esses microrganismos, desde a liberação de hormônios que influenciam diretamente no crescimento radicular e consequentemente aumentando a área de exploração nutricional radicular, ou de excreção de ácidos orgânicos, produção de sideróforos e de enzimas como a fosfatases. Entretanto, fatores como o tipo de solo, espécie e idade da planta afetam a interação microrganismo-planta e consequentemente interferem diretamente no processo de solubilização (Cardoso, 2016; Odunfa & Oso, 1978).

Dentro do grupo de microrganismo solubilizador de P, destaca-se bacterias do gênero *Acinetobacter, Alcaligenes, Arthrobacter, Bacillus, Burkholderia, Clostridium, Enterobacter, Erwinia, Exiguobacterium, Natrinema, Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Serratia* (Garcia *et al.*, 2015). Além de fungos do gênero *Aspergillus, Penicillium, Acremonium, Hymenella e Neosartorya* (Ichriani, 2017). Além disso, segundo Rawat *et al.,* (2020) essa interação simbiótica não age apenas solubilizando o fosfato, como também pode propiciar o crescimento

e rendimento da cultura, por meio de hormônios promotores de crescimento, além de possibilitar a antibiose contra patógenos. Ademais, de acordo com a disponibilidade de P no solo, seja em sua forma orgânica ou inorgânica tem-se as diferentes formas utilizadas para a liberação de fósforo, que segundo Rawat *et al.,* (2020), podem ser descritas conforme a Quadro (1), (02) e imagem (1):

Quadro 1 – Descrição de mecanismos de solubilização de fósforo inorgânico (Pi).

	Mecanismos de Solubilização Pi
Produção de ácidos orgânicos	Fermentação, respiração de compostos orgânicos de carbono, oxidação direta produz ácido cítrico, ácido glucônico, ácido oxálico, ácido tartárico que excretado, acidifica o meio liberando fosfatos de complexos por substituição.
Produção de ácido inorgânico e H2S	produção de ácido clorídrico, ácido sulfúrico, ácido nítrico e ácido carbônico como subproduto da decomposição da matéria orgânica reagindo com o fosfato,liberando-o de ligações
Liberação de prótons do NH4+	Amônio é assimilado por microrganismos, para a síntese de aminoácidos, este é convertido em amônia e o excesso de H+ da reação é liberado acidificando o meio auxiliando na dissolução de fosfatos insolúveis
Mecanismos indiretos	Lise microbiana liberando fósforo no solo
Via de Oxidação direta	Por meio da glicose desidrogenase, a glicose é convertida em ácido glucônico e posteriormente oxidado a ácido 2-ceto glucônico pela gluconato desidrogenase, tais ácidos atuam de forma quelantes de minerais e suas formas ligadas ao fosfato.

Produção de exopolissacarídeo (EPS)	Homo ou hetero polímeros de carboidratos com um componente orgânico ou inorgânico, exsudado em resposta ao estresse fora da parede celular de microrganismos, responsável por formar complexos com íons metálicos do solo.
Produção de sideróforos	Agentes complexantes de íons férricos, que em resposta ao estresse de ferro no ambiente são excretados por microrganismos.

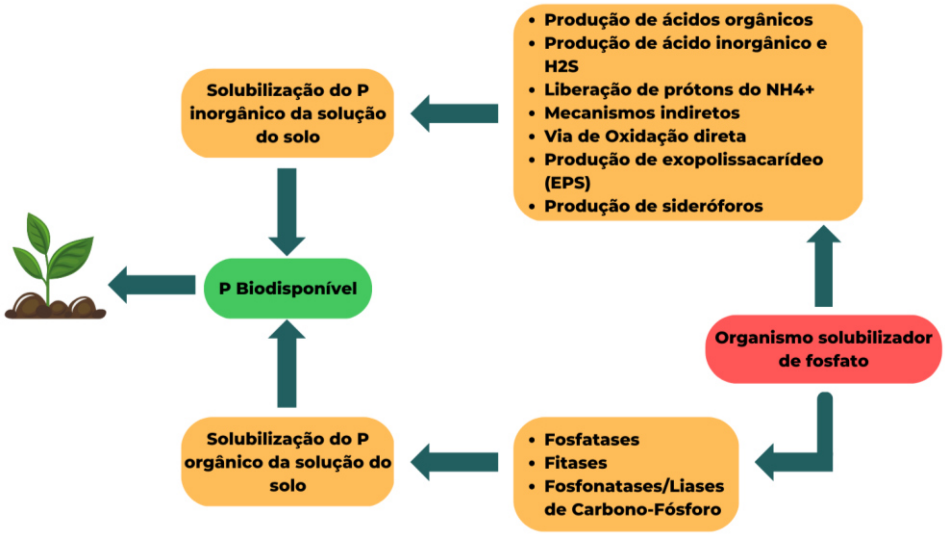
Fonte: Adaptado de Rawat *et al.,* (2020)

Quadro 2 – Descrição de mecanismos de solubilização de fósforo orgânico (Po).

	Mecanismos de Solubilização Po
Fosfatases ácidas não específicas	Podendo ser fosfatase ácida ou básica a depender do pH, estas são responsáveis por catalisar a desfosforilação de fosfoésteres ou ligações fosfoanidrido de compostos orgânicos.
Fitases	Responsáveis por catalisar a remoção de fósforo do composto fitato que é o fósforo orgânico mais abundante no solo.
Fosfatases/Liases de Carbono-Fósforo	Essas enzimas catalisam a quebra da ligação C-P de organofosforados, favorecendo a disponibilidade de fósforo às plantas.

Fonte: Adaptado de Rawat *et al.,* (2020)

Figura 1 – Ilustração dos mecanismos de solubilização de fósforo.



Fonte: Adaptado de Rawat *et al.,* (2020).

Dessa forma, embora muitos trabalhos atualmente estejam sendo produzidos visando o uso de microrganismos com a finalidade de disponibilizar o fósforo para as plantas. A fim de propiciar o melhor aproveitamento da adubação mineral investida, assim como possibilitar em estudos futuros a redução do gasto envolvendo a adubação mineral, pois o P além de não ser um recurso renovável, em solo brasileiro este em sua maioria, não se encontra disponível, mas adsorvido às partículas do solo (Cardoso, 2016).

Assim sendo, pesquisas relacionadas às atividades biológicas em solos cultivados com algodão em sistemas agroflorestais, assim como a relação da presença do *Bacillus* como promotor de crescimento e atenuador de efeitos salinos presente no solo, tem acrescido na comunidade científica (Da Silva, 2024; Viana, 2024). Outrossim, pesquisas relacionadas à interação entre microrganismos solubilizadores de P e o algodão, assim como as respostas fisiológicas a essa interação, são escassas, sendo, portanto, necessária essa análise visando o melhor potencial da cultura.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido no segundo semestre, de agosto a novembro de 2023, em vasos com capacidade para 18 L, em casa de vegetação (Figura 2), na área experimental do Setor de Agricultura do Departamento de Fitotecnia, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (CCA/UFC), localizada no Campus Pici (3°43’02” S, 38° 32’35” W, 12 m do nível do mar) em Fortaleza - Ceará, Brasil, com temperatura variando de 30 a 34ºC.

Figura 2 – Casa de vegetação.

Fonte: Autor (2025)

5.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo 4 tratamentos com diferentes dosagens do inoculante solubilizador de P (T1-Controle, 0,0 mL; T2 - 0,3 mL; T3 - 0,6 mL; T4 - 0,9 mL vaso^{-1}), com 8 repetições, totalizando 32 unidades amostrais. O inoculante utilizado foi o BiomaPhos®, composto pelas cepas BRM 119 (*Priestia megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*). Até a data de realização do experimento, não havia recomendações estabelecidas para a aplicação do inoculante na cultura do algodão.

Dessa forma, as doses utilizadas tiveram caráter exploratório, visando identificar, mesmo em condições de vaso, possíveis indicações que possam subsidiar experimentos de

campo futuros com a cultura e o uso do inoculante. Devido às sementes já apresentarem tratamento, a inoculação foi realizada no solo no mesmo dia da semeadura e respeitando o calendário de adubação, 25 dias após a semeadura (DAS), foi realizada dose de reforço, com a mesma dosagem por tratamento. Ademais, a linhagem do algodão adotada para esse experimento foi a linhagem Bx 2205 GLTP.

5.3 Características físico-químicas do solo

O solo utilizado no experimento foi classificado como Neossolo Flúvico, sendo obtido em área não cultivada na Fazenda Experimental da do Vale do Curu em Pentecoste - CE, pertencente a UFC, sendo a coleta realizada na profundidade de 0-20 cm e posteriormente foi encaminhada ao Laboratório de Solos/Água do Departamento de Solos da UFC, para a determinação dos atributos físico e químicos do mesmo (Tabela 1).

Tabela 1 – Atributos físicos e químicos do solo utilizado no experimento antes dos tratamentos culturais (profundidade 0-20cm).

Atributos Químicos											
C	MO	P Ass	K	Mg	Ca	Na	H+Al	SB	T	V	PST
(g Kg^{-1})		(Mg Kg^{-1})	.....(Cmolc dm^{-3}).....							.....(%).....	
3,28	5,65	57	0,2	1,2	2,7	0,2	0,7	4,3	4,9	87	4

Atributos Químicos						**Atributos Físico**				
pH	CE	Fe	Cu	Zn	Mn	Granulometria (g Kg^{-1})				Classificação textural
H2O	(DS m^{-1})	.....(Mg Kg^{-1}).....				Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Areia Franca
7	0,3	57,1	0,6	1,8	33,2	448	416	96	40	

C - Carbono; M.O – Matéria Orgânica; P Ass - Fósforo disponível; K- Potássio; Mg - Magnésio; Ca - Cálcio; H + Al - Acidez potencial a pH 7,0; SB – Soma de bases; T – Capacidade de Troca de Cátions; V - Saturação por base; PST – Porcentagem de Sódio Trocável; pH - Potencial hidrogeniônico; CE - Condutividade elétrica; Fe - Ferro; Cu - Cobre; Zn - Zinco; Mn - Manganês.

Fonte: Laboratório de Solos/ Água, UFC - FUNCEME.

5.4 Montagem do experimento e tratos culturais

O experimento foi conduzido em vasos de 18 L com capacidade para 20kg. A composição do substrato utilizado no experimento foi composto por uma mistura de 1:1 combinando solo coletado em Pentecoste, Ceará e areia lavada (material inerte). Além disso, foi realizada a adubação de fundação para garantir condições adequadas ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Antes da mistura, ambos os materiais foram pesados, 10 kg de solo e 10 kg de areia, para cada vaso.

A capacidade de retenção de água (CRA) do solo foi determinada de acordo com Souza *et al.* (2000) sendo também utilizada a diferença entre o peso do solo úmido após a saturação e o peso do solo seco ao ar, assim como de drenagem livre. Tal procedimento foi realizado um dia antes do semeio e ao longo de todo o experimento o solo foi mantido a 75% da CRA, sendo o procedimento da irrigação, de forma manual em respostas a CRA de 75% do solo.

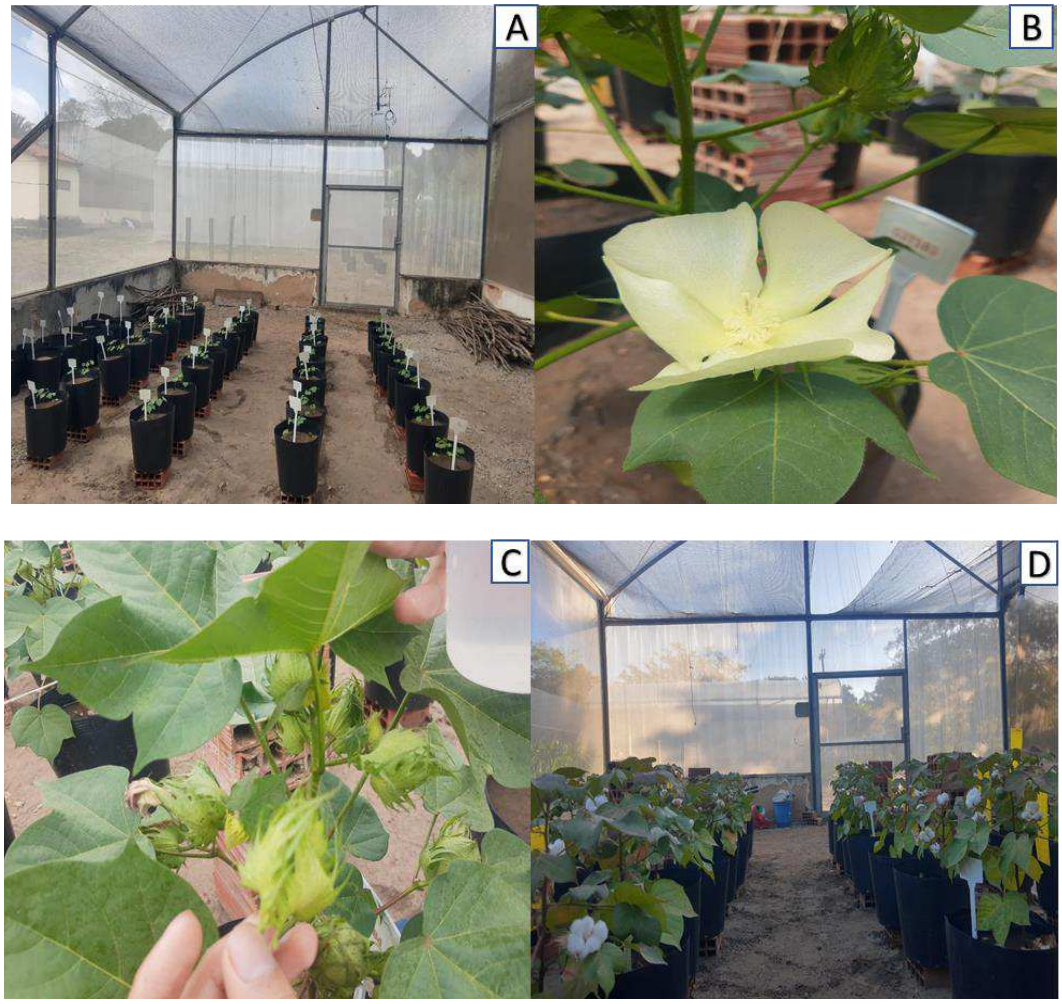
O semeio foi realizado na profundidade de 3 cm, sendo semeadas 3 sementes em cada vaso, sendo realizado posteriormente o processo de desbaste, com um corte em bisel um pouco acima da região do colo das respectivas plantas 25 DAS, sendo deixado 2 plantas em cada vaso.

Obedecendo às exigências da cultura e a análise de solo, foram feitas as adubações tanto em fundação como em cobertura, segundo Borin *et al.* (2014). Sendo aplicado em fundação, 0,25 g de Uréia, 0,65 g de KCl e 2,10 de P2O5, para cada vaso. A adubação de cobertura ocorreu em dois momentos, sendo o primeiro com 0,66g de Uréia e 0,65 g de KCl, para cada vaso e 150ml/vaso de Boráx, sendo diluído 1,32g em 6L de água destilada, tal momento ocorreu 17 DAS. A segunda adubação de cobertura, ocorreu 39 DAS, sendo aplicado nesse dia 0,66g de Uréia, na devida ocasião as plantas já estavam adentrando a fase reprodutiva.

A aplicação do inoculante diretamente no solo se sucedeu em dois momentos, sendo o primeiro realizado no dia do semeio e posteriormente, obedecendo os tratamentos e evitando o choque com o calendário de adubação se sucedeu com a dose de reforço 25 DAS.

Figura 3 – Diferentes estágios de desenvolvimento do algodão, (A) Fase inicial, vegetativa, (B) Fase reprodutiva, florescimento, (C) Fase reprodutiva, formação da maçã, (D) Abertura dos

capulhos.



Fonte: Autor (2025)

5.5 Análises biométricas e fisiológicas

5.5.1 Análises de crescimento

Os parâmetros coletados referentes ao crescimento se dividem em análise biométrica não destrutiva, cujo dados coletados foram altura (ALT), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC) e destrutiva a qual os dados coletados foram, massas secas da folha (MSF), do caule (MSC) da raiz (MSR) e do Capulho (CAP).

A altura das plantas foi mensurada utilizando uma régua graduada em centímetros, enquanto o diâmetro caule foi avaliado na região do colo da planta com um paquímetro digital, sendo os valores expressos em milímetro. O número de folhas considerou apenas aquelas completamente expandidas. As mensurações foram realizadas em dois momentos: na fase de

formação do botão, aos 35 dias após a semeadura (DAS), e ao final do experimento, aos 98 DAS.

Ao final do experimento, as plantas foram segmentadas em parte aérea (folhas e caule) e raiz para obtenção das massas secas, os materiais segmentados e identificados foram colocados em sacos de papel referente às folhas, caule e raiz. Posteriormente foram submetidos à secagem em estufa de circulação forçada a 65º C, por 72 horas até à obtenção de massas constantes com o auxílio de uma balança de precisão analítica (0,0001 gramas de precisão).

Com a obtenção dos dados de matéria seca foi possível determinar a massa seca total (MST), massa seca da parte aérea (MSPA) além de ser possível aferir a razão raiz/parte aérea (R/PA) e as razões expressas em porcentagem de massa foliar (RMF), razão de massa caulinar (RMC), razão de massa radicular (RMR), razão de massa capulho (RCAP). Com a obtenção dos valores de altura da primeira coleta e da segunda e última coleta foi possível determinar a taxa de crescimento absoluto (TCA) e a taxa de crescimento relativo (TCR).

5.5.2 Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a

A coleta dos dados fisiológicos e fluorescência da clorofila *a* foi realizada em 4 repetições de cada tratamento, pela manhã no período de 09:00h às 10:00h, em três épocas diferentes, sendo o primeiro no aparecimento dos primeiros botões florais (35 DAS), o segundo no florescimento pleno (51 DAS), e a última na fase de abertura plena dos capulhos (90 DAS). Sendo a folha utilizada para análise a terceira plenamente expandida.

Foi utilizado analisador de gás no infravermelho (IRGA; modelo portátil LI-6400XT, Li-Cor® Biosciences Inc., Lincon, Nebraska, USA), com radiação fotossinteticamente ativa (PAR) constante (1500 μmol fótons m^{-2} s^{-1}), concentração constante de CO_{2_2} (400 ppm) e temperatura e umidade ambiente, foram coletados dados fisiológicos referente a taxa fotossintética líquida (*A* - μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), taxa de transpiração (*E* – mmol H_2O m^{-2} s^{-1}), condutância estomática (*g*s - mol m^{-2} s^{-1}) e razão entre concentração interna e externa de CO_2 (Ci/Ca) e com esses dados foi possível aferir a eficiência intrínseca do uso da água (EUA intr. - A/gs) e instantânea (EUA inst.– A/E) e a eficiência instantânea de carboxilação (EiC – A/Ci)(Castro, 2021).

Além disso, com um fluorômetro acoplado ao IRGA, foi realizada, no mesmo momento das análises de trocas gasosas, a coleta dos dados referentes a fluorescência da clorofila *a*. Com base nos dados obtidos, foi possível mensurar os dados referentes ao rendimento quântico

efetivo do PSII (ϕFSII), a taxa de transporte de elétrons (ETR), *quenching* fotoquímico (qP) e *quenching* não-fotoquímico (qN) (Castro, 2021).

Figura 4 – Leitura de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*.

Fonte: Autor (2025)

5.6 Estádios fenológicos de desenvolvimento

Durante a condução do experimento em casa de vegetação foi realizado o monitoramento e acompanhamento do desenvolvimento fenológico dos diferentes tratamentos a fim de constatar diferenças quanto a fenologia atrelada a aplicação das diferentes doses do inoculante. Os estádios fenológicos coletados foram o aparecimento da 1ª folha verdadeira (V0); aparecimento do 1° botão floral (B1); aparecimento da 1ª flor (F1) e o aparecimento do 1° capulho (C1). A referência utilizada nas anotações dos dados teve como referência a data de emergência das plantas com relação a cada estádio fenológico (De Araújo *et al*, 2013).

5.7 Variáveis microbiológicas analisadas

Ao final do experimento, 98 DAS, foi realizada a coleta de 400g de solo de todos os tratamentos e repetições na camada de 0-10cm. As amostras foram coletadas úmidas e encaminhadas posteriormente para o laboratório.

5.8 Teores de carbono da biomassa microbiana do solo

O C da biomassa microbiana foi obtido pelo método de fumigação com clorofórmio e extração com sulfato de potássio 0,5M. As 32 amostras ao chegarem no laboratório foram duplicadas, sendo 32 fumigadas e 32 não fumigadas, totalizando 64 amostras mais o branco. Das 400g coletadas de cada amostra pesou-se 20g para fumigada e 20g para não fumigada. As amostras que passaram pela fumigação, foram adicionadas nestas 1ml de clorofórmio isento de etanol, estes frascos foram armazenados e vedados em um local isento de iluminação por 24 h.

Posteriormente, foi adicionado em todas as amostras 80 mL de solução 0,5 M de sulfato de potássio (K2SO4), com o auxílio de um dispensador e todas as amostras foram postas para agitar por 30 min (200 rpm) em mesa agitadora SL 180/DT, colocadas para decantar e posteriormente o sobrenadante foi filtrado com o auxílio de um papel filtro.

A determinação de amostras fumigadas e não fumigadas se deu pipetando 8 ml do extrato para tubo digestor, foi-se adicionado 2 mL de dicromato de potássio 0,0667 M e 15 mL da mistura ácido sulfúrico/fosfórico e efetuado a digestão em banho maria por 30 minutos a 100°C. Por fim, as amostras foram transferidas para erlenmeyer de 125 mL, adicionado 50ml de água destilada, foram adicionadas 7 gotas do indicador ferroína e ocorreu a titulação com sulfato ferroso amoniacal padronizado, sendo o ponto final dessa titulação o vermelho-intenso.

O branco passou por todos os procedimentos, excetuando a parte de fumigação e centrifugação e devido a quantidade de amostras, as análises se deram em 5 momentos diferentes, sendo calculado respectivamente o branco para cada um (Vance *et al.*, 1987). Ademais, com base nos dados obtidos em titulação, com o auxílio da equação I e II, foi possível aferir o C microbiano em cada uma das amostras.

$$\text{Eq.1 CF, NF} = \frac{(VB - VAM)*(M)*3*1000*(Vol.extrator)}{(Vol.extrato')*(Massa\ SS105\ °C)}$$

Onde:

CF: Carbono da biomassa fumigada;

CNF: Carbono da biomassa não fumigada;

VB: Volume da titulação do “branco”;

VAM: Volume de titulação da amostra;

M: Molaridade do sulfato ferroso amoniacal usado na titulação.

3: Resultado da relação entre o número de moles Cr7O7 que reage com Fe+2 (1/6), multiplicado pelo número de moles de Cr7O7 que reage com C (3/2), multiplicado pela massa atômica do C0 (12)

1000: Fator de conversão de unidade

Vol. extrator: 8ml

Vol.extrato´: Volume final do extrato utilizado para determinação do C em mL

Massa SS105°C: massa da amostra do solo seco a 105°C (19,95g)

Eq.2 C microbiano μg g-1 = (CF - CNF) / Kc

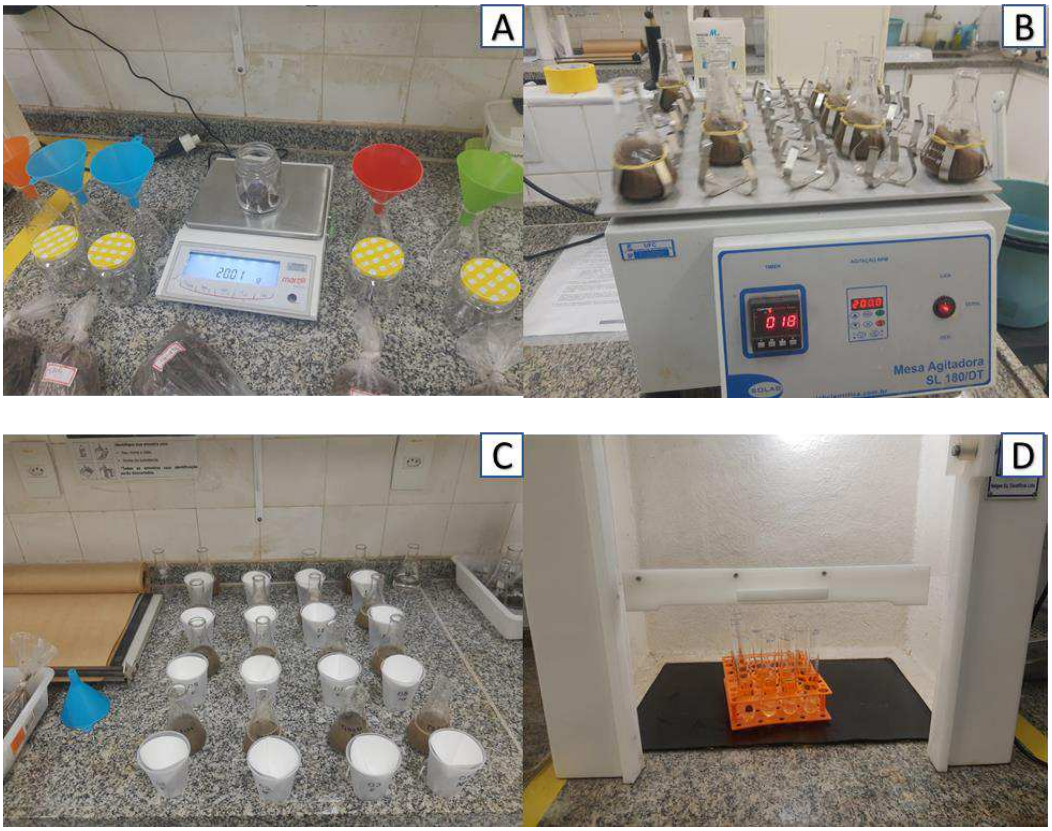
Onde:

CF: Carbono da amostra fumigada

CNF: Carbono da amostra não fumigada

Kc: 0,33 fator para conversão do C extraído em biomassa microbiana para solos minerais com pH ligeiramente ácidos e menos de 10% de C – orgânico

Figura 5 – Diferentes etapas para obtenção do C microbiano em laboratório, (A) Pesagem das 20 g de solo tanto para amostras fumigadas e não fumigadas, (B) Etapa de centrifugação, para decantação do material, após adição de sulfato de potássio, (C) Filtração do sobrenadante com o auxílio de papel filtro, (D) Pipetagem do extrato para tubo digestor, seguido da adição de dicromato de potássio, mistura ácido sulfúrico/ fosfórica. Após esse procedimento a digestão ocorreu em banho maria, posteriormente foram transferidos para erlenmeyer, foi-se adicionado 50 mL de água destilada e após a adição do indicador foi realizada a titulação.



Fonte: Autor (2025)

5.9 Análise estatística

Após a obtenção dos dados, estes foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para avaliar significância dos resultados. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey em 1% e 5% de probabilidade, ($p< 0.01$) e ($p< 0.05$), respectivamente. As análises estatísticas foram realizadas no programa Sisvar versão 5.8. Após isso foi possível a elaboração de gráficos que possibilitaram a observação dos resultados obtidos.

6. RESULTADOS

6.1 Avaliação de crescimento e desenvolvimento

Os dados na primeira coleta, referente a altura, diâmetro do caule e o número de folhas entre os tratamentos (Tabela 2), apresentaram significância a 1% ($p< 0,01$). Em contrapartida, as variáveis analisadas aos 98 DAS não mostraram efeito significativo.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para as variáveis referente a primeira coleta de altura (ALT01), diâmetro do caule (DC01), número de folhas (NF01), assim como as variáveis referente a segunda coleta de dados, altura (ALT02), diâmetro do caule (DC02), número de folhas (NF02).

Fontes de Variações	GL	Quadrado médio					
		ALT01	DC01	NF01	ALT02	DC02	NF02
Tratamento	3	47,52**	1,46**	27,19**	5,17^{ns}	0,050^{ns}	2,69^{ns}
Resíduo	28	7,16	0,20	4,24	4,27	0,11	7,42
Total	31	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	9,99	8,10	13,58	4,64	4,35	12,61

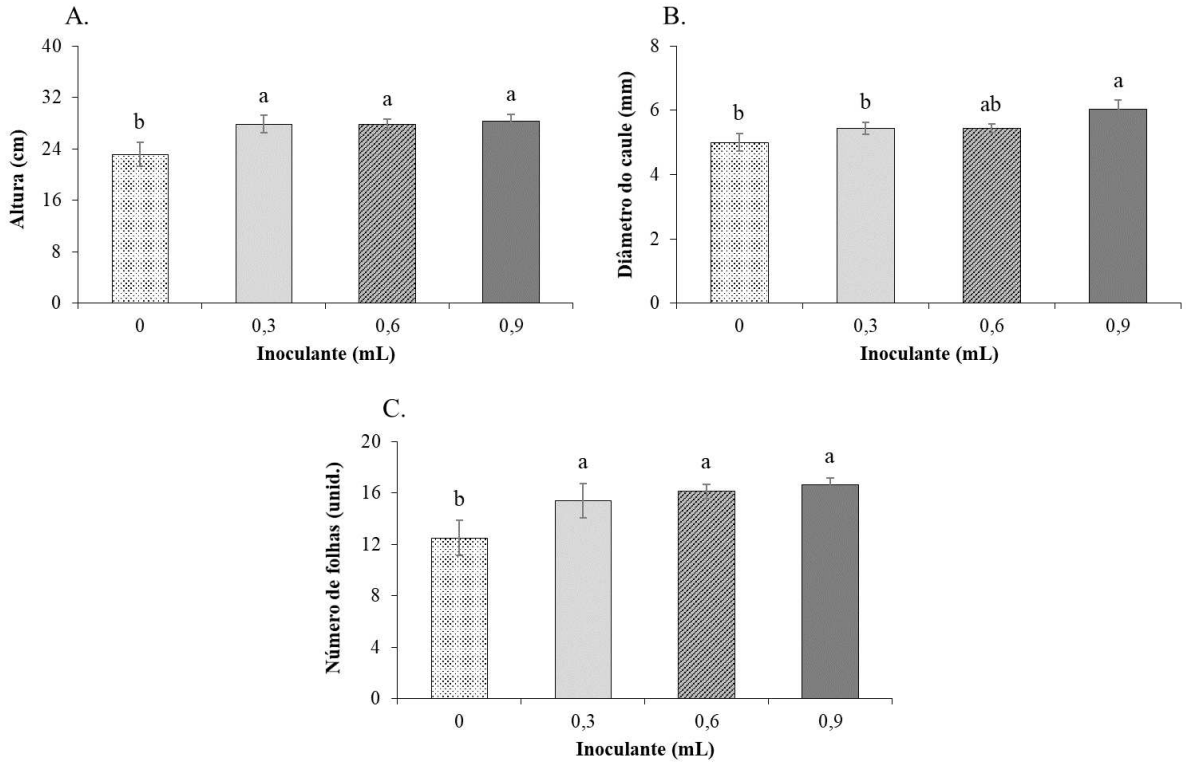
* = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; **ns** = não significativo; CV = coeficiente de variação

Fonte: Autor (2025)

No que se refere às variáveis coletadas na primeira coleta, as médias da altura da planta do algodoeiro (Figura 6A) apresentaram diferenças significativas. Os tratamentos que receberam o inoculante foram significativamente superiores ao controle. Com relação ao diâmetro do caule (6B), verificou-se que a variável de maior dose do inoculante apresentou maior média (6,04 mm), quando comparado ao controle, sendo 20,8% superior. Ademais, o controle não diferiu estatisticamente das dosagens 0,3 mL e 0,6 mL, enquanto a dose de 0,6 mL em comparação a 0,9 mL, também não diferiram estatisticamente entre si. Por fim, no que se refere ao número de folhas (Figura 6C), todos os tratamentos que receberam dose do inoculante apresentaram médias superiores ao do controle (12,50 folhas). Além disso, não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos que receberam o inoculante.

Figura 6 – (A) Respostas da variável altura, (B) diâmetro do caule e (C) número de folhas na primeira coleta de dados (35 DAS), em plantas de algodão herbáceo submetidos a diferentes

doses do BiomaPhos. Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



Fonte: Autor (2025)

No que se refere aos dados biomassa, coletados ao final do experimento (Tabela 3), as variáveis analisadas de massa das folhas, caule, raiz, capulho, caroço, massa seca total e peso de 100 sementes não mostraram efeito significativo para as doses de inoculantes.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância dos dados biométricos de biomassa, sendo as variáveis a de massa seca foliar (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca de raiz (MSR), massa do capulho (MSCAP), massa dos caroços (MSCAR), peso de 100 sementes (P100S) e massa seca total (MST).

Fontes de Variações	GL	Quadrado médio						
		MSF	MSC	MSR	MSCAP	MSCAR	P100S	MST
Tratamento	3	5,12^{ns}	0,27^{ns}	0,88^{ns}	5,32^{ns}	0,57^{ns}	0,20^{ns}	25,50^{ns}
Resíduo	28	2,71	0,17	1,19	14,75	2,19	0,27	18,06
Total	31	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	11,47	6,42	16,49	10,34	10,15	8,13	6,58

* = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; **ns** = não significativo; CV = coeficiente de variação
Fonte: Autor (2025)

Além disso, no que se refere às razões de massas e taxas de crescimento obtidas (Tabela 4), foi constatada a significância entre as médias tanto a 1% ($p< 0,01$), assim como a 5% ($p< 0,05$) para as variáveis referente a taxa de crescimento. No que se refere a variável da taxa de crescimento absoluto, essa variável apresentou significância a 5%, enquanto a taxa de crescimento relativo apresentou significância a 1%. As razões de massas (foliar, caulinar, radicular, capulho e a razão raíz/parte aérea), não apresentaram efeito significativo para aplicação das doses de inoculante.

Tabela 4 – Resumo análise de variância, taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), razão massa foliar (RMF), razão massa do caule (RMC), razão massa da raiz (RMR), razão massa do capulho (RMCAP) e razão raiz em relação à parte e aérea (R R/PA).

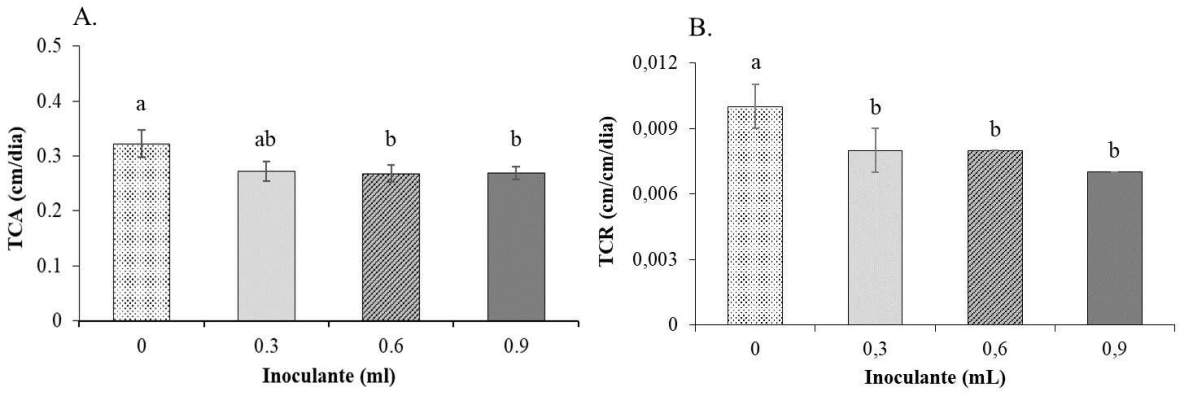
Fontes de Variações	GL	Quadrado médio						
		TCA	TCR	RMF	RMC	RMR	RMCAP	R R/PA
Tratamento	3	0,0055*	0,000012**	0,000455^{ns}	0,000103^{ns}	0,000079^{ns}	0,000422^{ns}	0,000124^{ns}
Resíduo	28	0,0013	0,000002	0,000463	0,000045	0,000365	0,001264	0,000599
Total	31	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	13,08	18,43	9,70	6,61	18,50	6,19	21,22

* = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; **ns** = não significativo; CV = coeficiente de variação
Fonte: Autor (2025)

Em relação a taxa de crescimento absoluto (Figura 7A), o tratamento controle foi superior estatisticamente em comparação aos demais tratamentos com dosagem, apresentando uma taxa de crescimento 0,32cm/dia. Da variável referente a dose 0,3 mL até o valor referente a maior dosagem, estatisticamente não diferiram das médias, enquanto que a dose de 0,3 mL em comparação ao controle não diferiram estatisticamente. Dessa forma, pode-se afirmar que, em relação à taxa de crescimento absoluto, as plantas que não receberam inoculante apresentaram maior crescimento em comparação àquelas que receberam inoculante. Além

disso, na taxa de crescimento relativo (Figura 7B), o controle foi superior a todas as médias dos tratamentos, estatisticamente (0,010cm/cm/dia), sendo esse valor superior em 33% quando comparado a maior dosagem. Os tratamentos que receberam a dose do inoculante estatisticamente não diferiram entre si.

Figura 7 – Respostas da variável (A) taxa de crescimento absoluto e (B) taxa de crescimento relativo, ao final do experimento, em plantas de algodão herbáceo submetidos a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



Fonte: Autor (2025)

6.2 Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a

6.2.1 Estádio de botões florais

Na primeira coleta dos dados de trocas gasosas (Tabela 5), foi constatado a presença de significância a 1% ($p < 0,01$), na variável fotossíntese líquida (*A*) e na eficiência instantânea de carboxilação (EiC). Enquanto que nas variáveis, taxa de transpiração (E), condutância estomática (g_s), razão da concentração interna e externa do CO_2 (Ci/Ca), eficiência instantânea do uso da água (EUA) e eficiência intrínseca do uso da água (EUAint), não apresentaram diferença significativa.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância das avaliações fisiológicas, fotossíntese líquida (*A*), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E), razão concentração interna e externa de CO_2 (Ci/Ca), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água

(EiUA), eficiência de carboxilação (EiC).

Fontes de Variações	GL	Quadrado médio						
		A	Gs	E	Ci/Ca	EUA	EiUA	EiC
Tratamento	3	40,87**	0,011^{ns}	0,35^{ns}	0,00031^{ns}	0,22^{ns}	7,67^{ns}	0,0006**
Resíduo	12	2,57	0,0036	0,49	0,00069	0,07	43,19	0,000047
Total	15	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	5,53	11,10	6,46	3,82	10,06	12,11	6,49

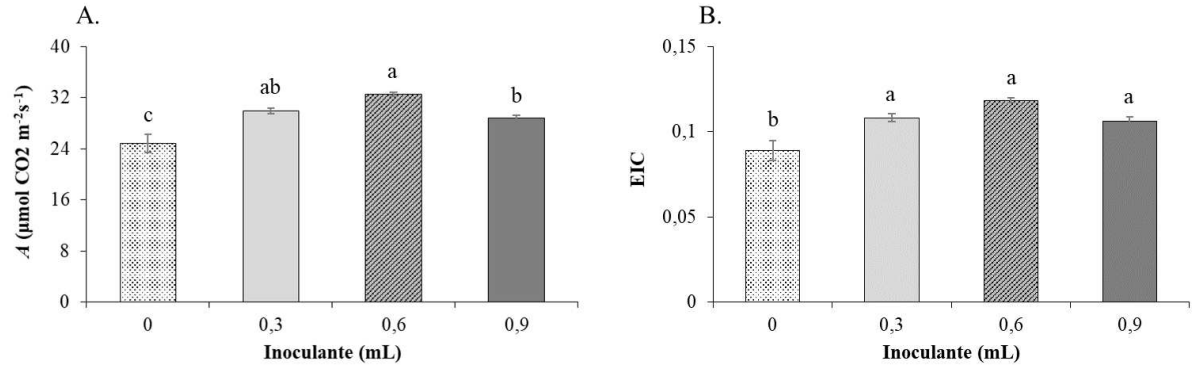
* = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; **ns** = não significativo; CV = coeficiente de variação

Fonte: Autor (2025)

No que se refere a fotossíntese líquida (Figura 8A), os tratamentos que receberam dose do inoculante apresentaram médias superior ao do controle, apresentando dessa forma diferença estatística, havendo um destaque para a variável referente a 0,6 mL (32,53 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$), sendo esse valor superior à média do controle em 31,01%. Os valores referentes a dose 0,3 mL e 0,9mL não diferiram estatisticamente, enquanto os valores de 0,3 mL e 0,6 mL apresentaram médias que da mesma forma não diferiram estatisticamente. Ademais, é possível observar na figura (8B) que a eficiência instantânea de carboxilação (EiC), apresentou resultados significativos, todos os tratamentos com dose de inoculante apresentaram médias superiores ao do controle. Além disso, todos os tratamentos com dose do inoculante apresentaram médias que não diferiram significativamente entre si.

Figura 8 – Respostas fisiológicas da variável (A) fotossíntese líquida e (B) eficiência instantânea de carboxilação, na época de formação dos botões florais, em plantas de algodão herbáceo submetidos a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas diferem entre si

estatisticamente.



Fonte: Autor (2025)

Para os dados obtidos de fluorescência da clorofila *a* (Tabela 6), a maioria das variáveis apresentaram dados significativos a 1% (p< 0,01), sendo a única variável que não apresentou nível de significância a variável a do *quenching* fotoquímico (qP).

Tabela 6 – Resumo análise de variância fluorescência da clorofila a, quenching fotoquímico (qP), quenching não-fotoquímico (qN), rendimento quântico efetivo do PSII (ϕFSII), taxa de transporte de elétrons (ETR).

Fontes de Variações	GL	Quadrado médio			
		qP	qN	ϕFSII	ETR
Tratamento	3	0,0009^{ns}	0,12**	0,0016**	706,12**
Resíduo	28	0,0011	0,007	0,0002	113,80
Total	31	-	-	-	-
CV (%)	-	5,58	3,58	4,62	4,61

***** = significativo a 5% de probabilidade; ****** = significativo a 1% de probabilidade; **ns** = não significativo; CV = coeficiente de variação

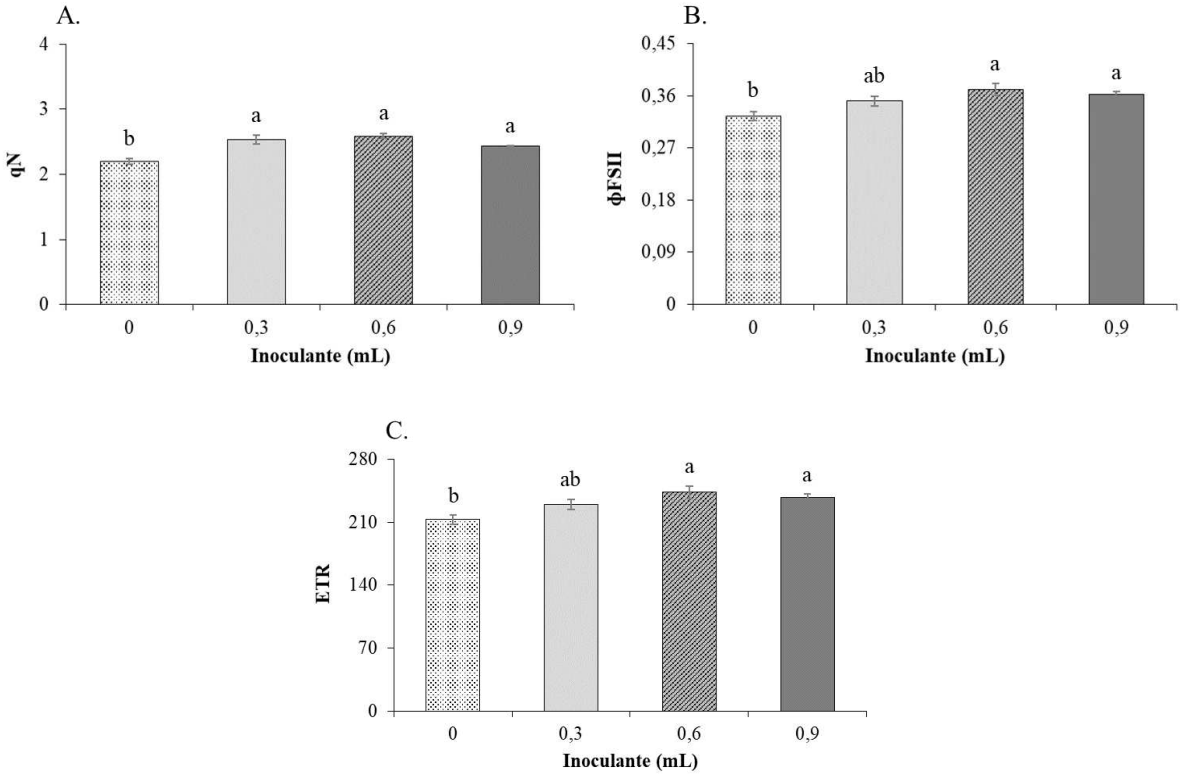
Fonte: Autor (2025)

Na variável *quenching* não-fotoquímico (qN, 9A), os tratamentos com dose de inoculante foram superiores significativamente ao controle. Além disso, todos os tratamentos com as diferentes doses do inoculante não apresentaram diferenças significativas entre si. No que se refere ao rendimento quântico efetivo no fotossistema II (ϕPSII, Figura 9B), a dose de

0,6 mL e 0,9 mL apresentaram médias significativamente superiores ao do controle, sendo (0,37) e (0,36) respectivamente, onde esses tratamentos não diferem estatisticamente e foram superiores ao valor obtido em relação plantas de algodão que não receberam inoculante.

Com relação a taxa de transporte de elétrons (Figura 9C), da mesma forma que nas demais variáveis de fluorescência, houve um maior destaque aos valores referente a 0,6 mL e 0,9 mL, que além das médias destes não diferiram estatisticamente entre si (243,52) e (238,05) respectivamente, tais médias são superiores à média obtida pelo controle (213,04). A média obtida pelo controle e a do valor referente a 0,3 mL não diferiram estatisticamente entre si, enquanto a média obtida na dose 0,3 mL em relação a 0,6 mL e 0,9 mL estes da mesma forma não diferiram estatisticamente entre si.

Figura 9 – Respostas fisiológicas da variável (A) quenching não-fotoquímico (qN), (B) rendimento quântico efetivo no fotossistema II (ϕPSII) e (C) taxa de transporte de elétrons na época de formação dos botões florais, em plantas de algodão herbáceo submetidos a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



Fonte: Autor (2025)

6.2.2 Estádio de florescimento

Na segunda coleta de dados fisiológicos de trocas gasosas (Tabela 7), verificou-se a presença da significância a 5% ($p < 0,05$), para a variável da razão Ci/Ca, enquanto para as variáveis de fotossíntese líquida, condutância estomática, taxa de transpiração e a eficiência instantânea de carboxilação, constatou-se efeito significativo nível de significância a 1% ($p < 0,01$). Entretanto, nas variáveis eficiência instantânea do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água não foi constatado significância para a inoculação analisada no presente estudo.

Tabela 7 – Resumo análise de variância avaliações fisiológicas, fotossíntese líquida (*A*), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E), razão concentração interna e externa de CO_2 (Ci/Ca), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), eficiência de carboxilação (EiC).

Fontes de Variações	GL	Quadrado médio						
		A	Gs	E	Ci/Ca	EUA	EiUA	EiC
Tratamento	3	77,42**	0,022**	3,70**	0,0027*	0,50^{ns}	754,13^{ns}	0,0015**
Resíduo	12	4,09	0,0025	0,55	0,00060	0,44	88,54	0,000096
Total	15	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	7,79	17,91	13,37	4,56	14,16	9,91	8,19

* = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; **ns** = não significativo; CV = coeficiente de variação

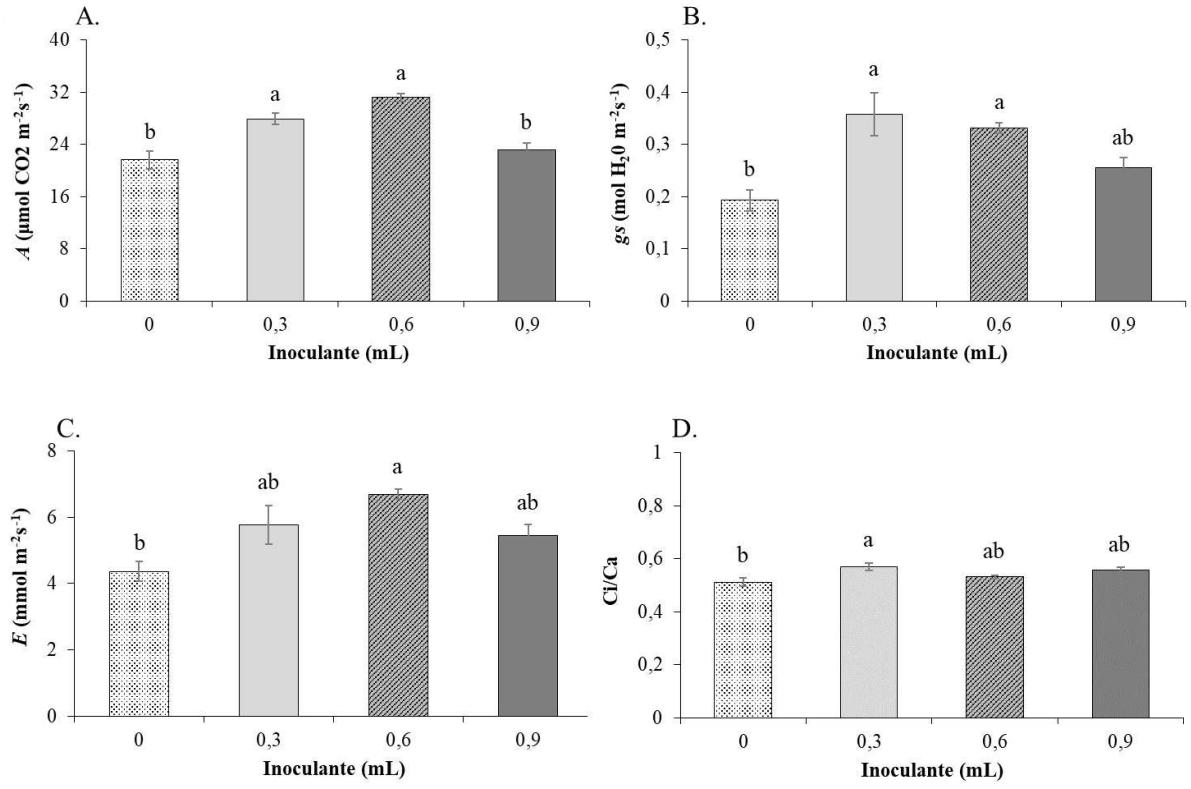
Fonte: Autor (2025)

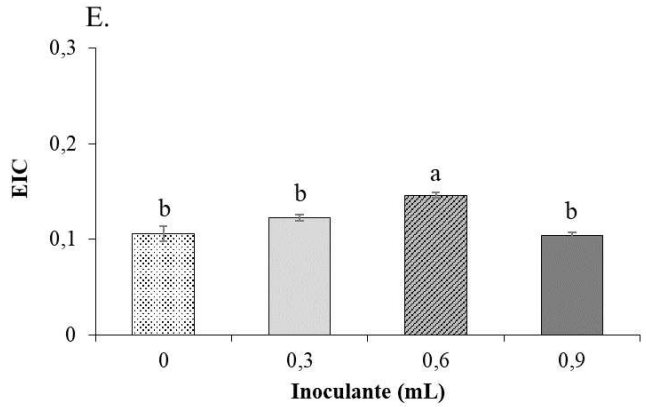
No que se refere a variável fotossíntese líquida (Figura 10A), as variáveis cuja dose foram 0,3 mL e 0,6 mL não diferiram estatisticamente entre si, entretanto estes foram superiores à média do controle, enquanto que a dose de 0,9 mL apresentou uma média que não diferiu estatisticamente do controle. Na condutância estomática (Figura 10B), as doses de 0,3 mL e 0,6 mL apresentaram médias superiores e significativa em relação à média do controle (0,19 mol H_2O $m^{-2}s^{-1)}$. Além disso, a média do controle e da dose de 0,9 mL não diferiram estatisticamente. Para a taxa de transpiração (Figura 10C), o valor referente a 0,6 mL apresentou maior média superior estatisticamente (6,70 mmol $m^{-2}s^{-1}$) em comparação a média do controle, sendo esse

valor 53,66% maior do que as plantas que não receberam inoculação. Os valores de 0,3 mL e 0,9 mL não diferiram estatisticamente nem do controle e nem do valor de 0,6 mL.

Na variável razão concentração interna e externa de CO_2 (Figura 10D), a variável de 0,3 mL apresentou média significativamente superior à média do controle, apresentando uma diferença de 11,76%. De forma conjunta o controle, a dose de 0,6 mL e 0,9 mL não diferiram estatisticamente entre si, enquanto todos os tratamentos com as diferentes doses do inoculante, 0,3 mL, 0,6 mL e 0,9 mL também não diferiram estatisticamente. Por fim, no fator eficiência instantânea de carboxilação (Figura 10E), o valor de 0,6 mL obteve melhor resposta em relação ao controle e aos demais tratamentos, sendo o valor obtido na dose de 0,6 mL, 40% superior estatisticamente em relação ao do controle. Ademais, as doses 0,3 mL e 0,9 mL e o controle não diferiram estatisticamente entre si.

Figura 10 – Respostas fisiológicas da variável (A) fotossíntese líquida, (B) condutância estomática, (C) taxa de transpiração, (D) razão concentração interna e externa de CO_2 e (E) eficiência instantânea de carboxilação, na época de floração, em plantas de algodão herbáceo submetidos a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas diferem entre si estatisticamente.





Fonte: Autor (2025)

Na segunda coleta de dados referente a fluorescência da clorofila *a* (Tabela 8), apenas o *quenching* fotoquímico apresentou nível de significância e a 5% ($p < 0,05$), enquanto as demais variáveis *quenching* não-fotoquímico, rendimento quântico efetivo do PSII e a taxa de transporte de elétrons não apresentaram efeito significativo para o tratamento analisado no presente estudo.

Tabela 8 – Resumo análise de variância fluorescência da clorofila a, quenching fotoquímico (qP), quenching não-fotoquímico (qN), rendimento quântico efetivo do PSII (ϕFSII), taxa de transporte de elétrons (ETR).

Fontes de Variações	GL	Quadrado médio			
		qP	qN	ϕFSII	ETR
Tratamento	3	0,0033*	$0,18^{ns}$	$0,00090^{ns}$	$385,50^{ns}$
Resíduo	28	0,0010	0,07	0,00063	182,59
Total	31	-	-	-	-
CV (%)	-	6,05	10,90	7,96	6,48

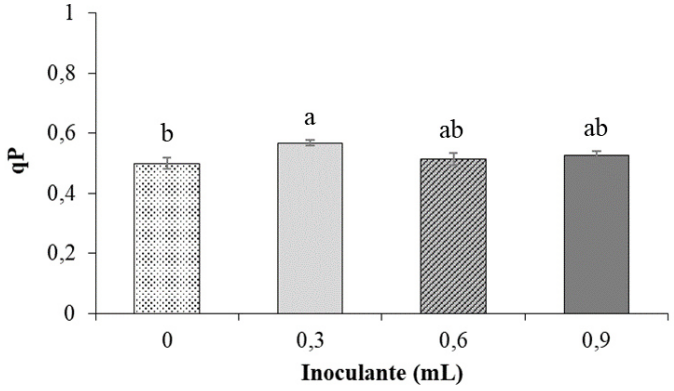
* = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; **ns** = não significativo; CV = coeficiente de variação

Fonte: Autor (2025)

No que se refere ao *quenching* fotoquímico (Figura 11) a dose de 0,3 mL foi superior significativamente em relação as plantas que não receberam inoculante, apresentando uma

diferença de 14,28%. Estatisticamente, as doses de 0,6 mL e 0,9 mL, juntamente com o controle apresentaram médias que não diferiram estatisticamente entre si, e, da mesma forma, estatisticamente as doses de 0,3 mL, 0,6 mL e 0,9 mL não diferiram estatisticamente entre si.

Figura 11 – Respostas fisiológicas da variável quenching fotoquímico (qP) na época de floração, em plantas de algodão herbáceo submetidos a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



Fonte: Autor (2025)

6.2.3 Estádio de abertura do capulho

De acordo com a última coleta de dados para as trocas gasosas que ocorreu na época de abertura plena dos capulhos (Tabela 9), constatou-se que as variáveis referentes a fotossíntese líquida, razão concentração interna e externa de CO_2, eficiência instantânea do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água apresentaram significância a 1% ($p < 0,01$), enquanto a condutância estomática e a variável taxa de transpiração não apresentaram dados significativos.

Tabela 9 – Resumo da análise de variância das avaliações fisiológicas, fotossíntese líquida (*A*), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E), razão concentração interna e externa de CO_2 (Ci/Ca), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), eficiência de carboxilação (EiC).

Fontes de Variações	GL	Quadrado médio						
		A	Gs	E	Ci/Ca	EUA	EiUA	EiC
Tratamento	3	26,86**	0,0081^{ns}	9,77^{ns}	0,0086**	0,16**	310,71**	0,00035**

Resíduo	12	1,45	0,0025	3,18	0,0004	0,013	29,62	0,000019
Total	15	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	13.45	17,45	14,70	2,78	15,21	17,05	14,97

***** = significativo a 5% de probabilidade; ****** = significativo a 1% de probabilidade; **ns** = não significativo; CV = coeficiente de variação

Fonte: Autor (2025)

Na fotossíntese líquida (Figura 12A) o valor referente a 0,6 mL obteve maior média significativa quando comparada ao do controle e ao valor da dosagem de 0,3 mL, sendo essa média 50,18% superior ao valor do controle, enquanto a dosagem de 0,9 mL apresentou a menor média (6,21 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$). Entretanto, estatisticamente o valor obtido por 0,9 mL junto com o controle apresentaram médias que não diferiram entre si, da mesma forma, o controle junto com o valor referente a 0,3 mL não apresentou médias significativas estatisticamente.

Na variável razão Ci/Ca (Figura 12B), o valor de 0,9 mL obteve maior média significativa (0,85 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) quando comparado às demais dosagens, sendo essa média 10,38% maior que a média encontrada no controle. Além disso, os valores de 0,3 mL e 0,6 mL não diferiram estatisticamente do que não recebeu inoculação.

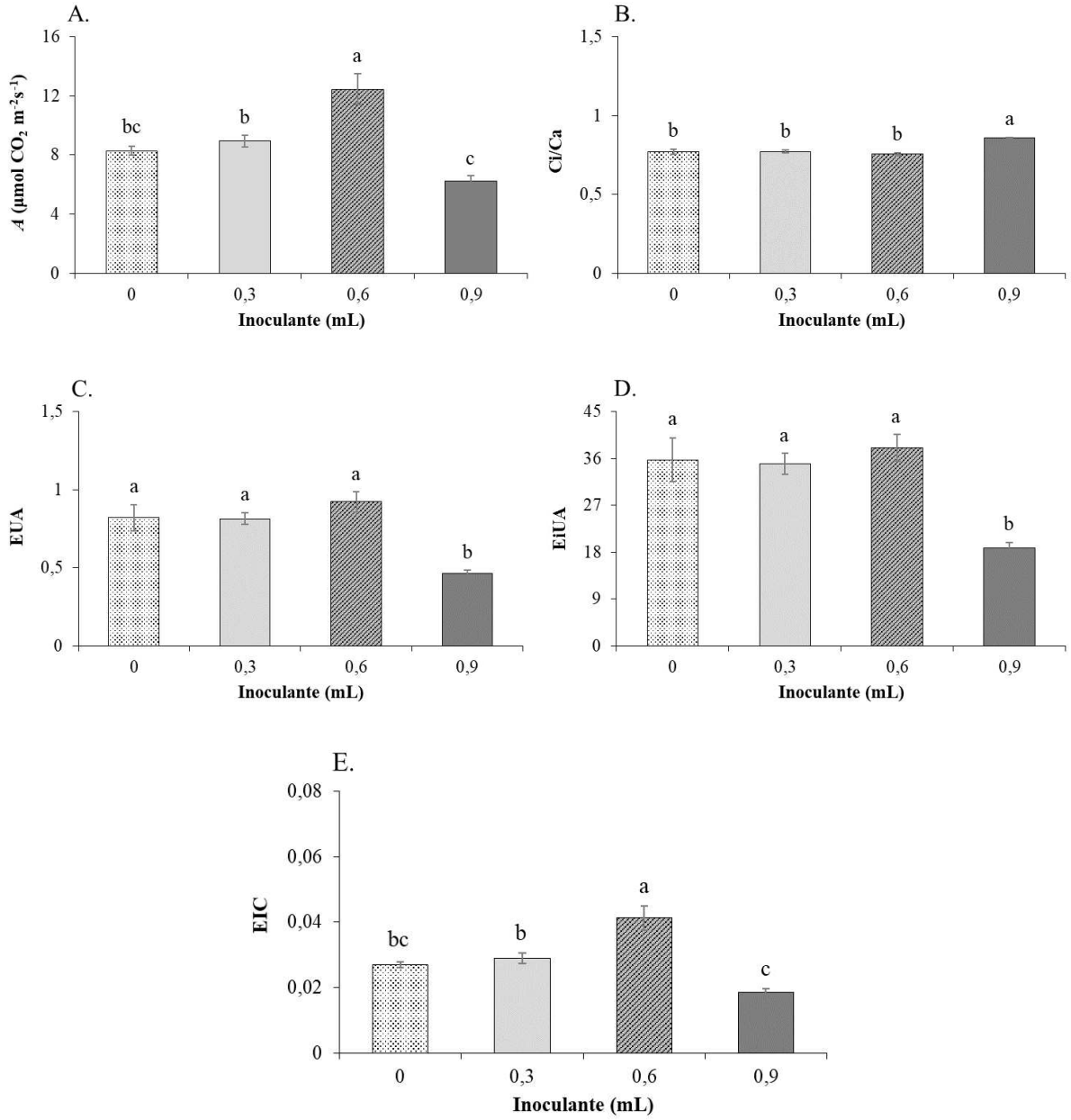
Quanto a eficiência instantânea do uso da água (Figura 12C), a maior dosagem apresentou a menor média (0,46), sendo esta significativamente inferior às demais dosagens. Pode-se afirmar que nessa variável a média do controle é 78,26% superior que ao valor referente a maior dosagem. Além disso, estatisticamente o controle juntamente com as doses 0,3 mL e 0,6 mL não diferiram as médias estatisticamente entre si.

No que se refere a eficiência intrínseca do uso da água (Figura 10D), a dose de 0,9 mL novamente obteve uma média significativamente inferior (18,85) em relação ao tratamento controle e demais tratamentos, sendo a média do controle 89,49% superior à observada na maior dosagem. Estatisticamente as médias do controle e das doses 0,3 mL e 0,6 mL não diferiram estatisticamente entre si.

Por fim, quanto à eficiência instantânea de carboxilação (Figura 10E), a dose de 0,6 mL obteve a maior média quando comparado aos demais tratamentos. Sendo o valor da média encontrado na dose 0,6 mL, 57,69% superior à média obtida pelo controle, além disso, a menor média obtida nessa variável proveio do valor referente a maior dosagem.

Figura 12 – Respostas fisiológicas da variável (A) fotossíntese líquida, (B) concentração interna

e externa de CO_2, (C) eficiência instantânea do uso da água, (D) eficiência intrínseca do uso da água e (E) eficiência instantânea de carboxilação na época de formação de capulho, em plantas de algodão herbáceo submetidos a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



Fonte: Autor (2025)

No que se refere aos dados obtidos na fluorescência da clorofila *a* (Tabela 10), as variáveis *quenching* fotoquímico, *quenching* não-fotoquímico, rendimento quântico efetivo do PSII, taxa de transporte de elétrons não foram significativas para o fator analisado no presente estudo.

Tabela 10 – Resumo análise de variância fluorescência da clorofila a, quenching fotoquímico (qP), quenching não-fotoquímico (qN), rendimento quântico efetivo do PSII (ϕFSII), taxa de transporte de elétrons (ETR).

Fontes de Variações	GL	Quadrado médio			
		qP	qN	ϕFSII	ETR
Tratamento	3	0,0034^{ns}	0,0096^{ns}	0,0012^{ns}	529,81^{ns}
Resíduo	28	0,0047	0,042	0,0005	229,30
Total	31	-	-	-	-
CV (%)	-	28,80	10,77	20,69	20,66

***** = significativo a 5% de probabilidade; ****** = significativo a 1% de probabilidade; **ns** = não significativo; CV = coeficiente de variação

Fonte: Autor (2025)

6.3 Estádios fenológicos

Após a observação em campo, tendo em vista o desenvolvimento fenológico de cada tratamento, tendo como referência o início da emergência, foi constatado os seguintes valores de dias após a emergência (DAE) entre cada tratamento, no decorrer do desenvolvimento fenológico (Tabela 12), tendo como referência o dia da emergência que ocorreu no dia 21/08/2024.

Tabela 11 – Estádios fenológicos do algodão herbáceo em dias após a emergência, sob

diferentes doses do inoculante BiomaPhos.

	Estádios fenológicos em dias após a emergência (DAE)			
Tratamentos	V0	B1	F1	C1
T1	7	31	49	88
T2	7	31	48	89
T3	7	29	48	88
T4	7	29	46	88

Fonte: Autor (2025)

Dessa forma, é constatável que o desenvolvimento inicial do algodão apresentou diferenças numéricas em dias após a emergência em relação ao controle. Na fase inicial todos obtiveram o mesmo valor, enquanto na fase de formação de botões florais, os tratamentos que obtiveram a maior dosagem, apresentaram o menor tempo para desenvolvimento. Na época de floração, maior dosagem, 0,9 mL, obteve a maior precocidade, enquanto que as doses 0,3 mL e 0,6 mL em relação ao controle, foram mais precoces. Ademais, na época de formação de capulho, todos exceto o valor referente a 0,3 mL apresentaram os mesmos valores de dias após a emergência.

6.4 Carbono da biomassa microbiana do solo

Os valores de carbono microbiano encontrados apresentaram nível de significância a 1% ($p<0,01$) (Tabela 13).

Tabela 12 – Resumo análise de variância carbono da biomassa microbiana (C-MIC (µg g-1)).

Fontes de Variações	GL	Quadrado médio

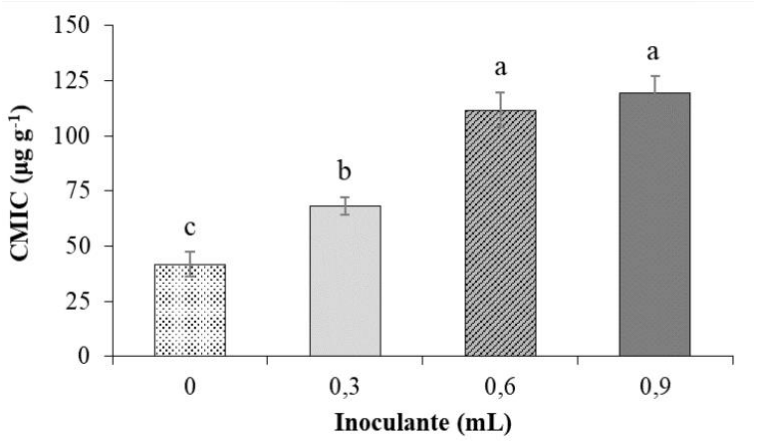
		Carbono Microbiano
Tratamento	3	10779.56**
Resíduo	28	163.85
Total	31	-
CV (%)	-	15,01

* = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; **ns** = não significativo; CV = coeficiente de variação

Fonte: Autor (2025)

Dessa forma, todas as médias dos tratamentos superaram a média encontrada no controle, quanto a variável de carbono microbiano (Figura 13). Sendo os maiores valores os da dosagem 0,6mL (111,61 μg g^{-1}) e 0,9 mL (119, 43 μg g^{-1})**,** sendo tais médias não diferiram estatisticamente entre si. A dosagem de 0,3 mL (68,18 μg g^{-1}), apresentou uma média significativa superior ao do controle e significativamente inferior à das doses de 0,6 mL e 0,9 mL. O controle em comparação a todos os tratamentos apresentou uma menor média (41,80 μg g^{-1})**,** sendo significativamente inferior a todos os tratamentos. Constatando dessa forma, que de acordo com o aumento da dose do inoculante houve uma alteração significativa na presença de microrganismos no solo, uma vez que houve um aumento de forma direta no teor do carbono microbiano presente no solo.

Figura 13 – Resposta referente ao carbono microbiano do solo submetido a diferentes doses do BiomaPhos. Letras distintas entre si apresentam diferença estatística.



Fonte: Autor (2025)

7. DISCUSSÃO

O uso de microrganismos na agricultura tem demonstrado um enorme potencial a ser ainda explorado, uma vez que a presença dos microrganismos no solo pode vir a proporcionar uma série de benefícios para o desenvolvimento da cultura, além de possibilitar uma maior saúde da microbiota do solo. Dentre os benefícios elencados no uso de microrganismos, a depender da espécie é a solubilização de nutrientes a exemplo da solubilização do fósforo, tornando esse nutriente mais acessível para o desenvolvimento da cultura. Uma vez que o nutriente se torna mais facilmente disponível, além das interações microrganismo - planta, é possível constatar variações biométricas e fisiológicas, entretanto tais fatores positivos são frutos de um sinergismo microbiano com a planta em questão. (Santin, 2024).

No que se refere aos dados biométricos de crescimento, os dados mostram que a aplicação do inoculante apresentou efeito positivo na primeira coleta de dados. Entretanto, na segunda coleta de dados, não houve efeito significativo. O que mostra que a presença do inoculante desempenhou papel fulcral no estabelecimento da cultura e isso é extremamente importante para redução de gastos referente ao uso de herbicidas, além do algodão ser uma planta sensível às interferências das plantas daninhas, podendo estas afetar o seu crescimento e desenvolvimento, além destas serem hospedeiras em potencial de pragas (Júnior *et al.*, 2021).

Além disso, o estabelecimento mais rápido da cultura possibilita uma maior garantia de sobrevivência ao ataque de pragas, principalmente às que acometem no início de desenvolvimento da cultura, afetando o estande (Miranda, 2010). A análise similar da relação do crescimento e desenvolvimento inicial da cultura atrelado a presença do microrganismo também foi encontrada nos trabalhos com efeitos de *Bacillus subtilis* na fisiologia e crescimento do algodoeiro sob estresse hídrico e salino (Yao *et al.*, 2006), assim como no trabalho que buscou analisar a relação do *Bacillus pumilus* com o crescimento e desenvolvimento das plantas de fava em três ciclos consecutivos (Kang *et al.*, 2013).

O crescimento das plantas de algodão inoculadas com o BiomaPhos, está associado com a presença do *Bacillus subtilis* e *Priestia megaterium,* uma vez que estes são responsáveis, pela solubilização de fósforo um dos principais macronutrientes indispensáveis para o crescimento vegetal, além de contribuírem para a síntese de ácido indolacético (AIA). Sendo o AIA um dos exemplos de auxina, cujo hormônio é responsável pela regulação do crescimento, influenciando diretamente a dominância apical, formação de raízes adventícias, além de promover o crescimento do caule e da raiz, sendo a síntese de composto indólicos em bactérias a depender diretamente dos exsudatos radiculares, sendo o L-triptofano o principal precursor

(Souza *et al.*, 2015). Assim sendo, dados obtidos no experimento realizado por Júnior *et al.,* (2022), cujo procurou avaliar a presença do *Bacillus subtilis* como promotor de crescimento em soja, mostra a relação direta entre a presença do microrganismo, com a síntese do fitormônio e consequente crescimento e desenvolvimento vegetal, principalmente nos estádios de desenvolvimento inicial da cultura.

Ademais, a presença do inoculante mostrou que não houve uma alteração significativa quanto ao desempenho da planta, no quesito adição do teor de massa seca e peso de sementes e capulhos. Sendo observado quanto aos dados alométricos, que uma vez que os dados da biomassa seca não foram significativos, paralelo a isso, os dados referentes às razões de massa foliar, caule, raiz, capulho, assim como a razão raiz com relação a parte aérea, demonstraram que a adição do inoculante, não interferiu no acréscimo e consequente direcionamento de maiores recursos nessas variáveis em questão tendo como referência a massa seca total. Situação similar, encontrada em pesquisas com o sorgo forrageiro, que visou avaliar o desempenho de plantas forrageiras bioinoculadas com BiomaPhos. Além disso, a pesquisa mostrou que a dose do inoculante utilizada, não corroborou de forma significativa o incremento na massa seca final. (Gandra *et al.*, 2024).

Por fim, no que se refere às variáveis biométricas de crescimento, na taxa de crescimento absoluto de altura, cuja variável possibilita avaliar a velocidade de crescimento, com base entre dois períodos pré estabelecido (Reis & Muller 1979; Peixoto *et al.*, 2011), constatou-se que a adição de inoculante influenciou diretamente na variável, ocasionando com que o controle obtivesse médias de crescimento superior ao dos demais tratamentos, isso é possível, uma vez que o controle seguiu o desenvolvimento padrão para a cultura do algodão, com crescimento mais lento na parte aérea no desenvolvimento inicial durante a fase vegetativa, mas apresentando níveis de crescimento consideráveis na época reprodutiva de formação dos botões florais, enquanto que os tratamentos apresentaram crescimento maior já na fase de desenvolvimento inicial, influenciando dessa forma, diretamente na variável (Echer & Rosolem, 2022).

Além disso, na taxa de crescimento relativo, cuja variável analisa a taxa de crescimento tendo como referência o acúmulo de massa seca durante um período pré-estabelecido (Benincasa, 1998). De forma similar, a presença do inoculante também influenciou o TCA, com médias inferiores sendo observadas no tratamento controle, reforçando a ideia que a planta controle teve que investir de forma mais intensa, no desenvolvimento a parte aérea, após a formação do primeiro botão floral, assim como no desenvolvimento radicular em busca dos nutrientes presentes no solo. Enquanto que os tratamentos além do incentivo de

desenvolvimento hormonal que influenciou no fator altura, a presença do microrganismo próximo a raiz garantiu a presença e disponibilidade de nutrientes, como o P, próximo a planta, não havendo uma real necessidade de exploração radicular pelo recurso, sendo o fósforo um dos elementos essenciais para o desenvolvimento inicial da cultura (Grant *et al.*, 2001).

Nas trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*, ao longo do experimento, os tratamentos que receberam dose do inoculante BiomaPhos demonstraram resultados positivos em relação ao controle nas variáveis analisadas. Entretanto, no decorrer do desenvolvimento da cultura, as plantas do tratamento que receberam a maior dose, obtiveram menores valores em variáveis fisiológicas tais como fotossíntese, eficiência instantânea de carboxilação e eficiência do uso da água. Indicando que a dose 0,9 mL pode comprometer o aparato fisiológico no algodoeiro herbáceo. Enquanto a dose 0,6 mL apresentou o melhor desempenho fisiológico no algodoeiro.

No que se refere aos dados de trocas gasosas, na primeira coleta, realizada na época de formação de botão floral entre os tratamentos, a presença do inoculante influenciou de forma positiva no desempenho da fotossíntese líquida e na eficiência de carboxilação. A fotossíntese líquida, é um dos principais fatores na determinação da produção, assim sendo, quanto maior a taxa fotossintética, maior a provavelmente será influência na produção (Chiavegato *et al.*, 2014). Enquanto na eficiência de carboxilação, cujo coeficiente quantifica a eficiência com que a enzima Rubisco fixa CO_2 durante a fotossíntese (Souza *et al.,* 2017), a presença do inoculante mesmo mínima mostrou uma maior eficiência em relação ao controle, havendo dessa forma uma maior fixação do carbono, além disso, tal variável é importante na mensuração da redução da fotorrespiração, condição fisiológica no algodão que chega a ser superior em 40% da fotossíntese bruta (Beltrão, 2006). Assim sendo, uma maior eficiência de carboxilação, implica na redução na fotorrespiração.

No que se refere às variáveis condutância estomática (gs) e a taxa de transpiração, estas possuem grande importância, sendo a primeira variável responsável por indicar a taxa de fluxo de gases (CO_2 e H_2O) (Lima *et al.*, 2016), sendo os estômatos responsáveis por regular as trocas gasosas entre planta e ambiente externo, sendo a abertura e o fechamento dos mesmos controlados por diversos fatores, tais como condições hídricas ou de estresse em que possa se encontrar a planta (Lima *et al.*, 2016). Enquanto, a segunda variável, a taxa de transpiração, é responsável pela medição da perda de água na forma de vapor, processo esse que ocorre por meio dos estômatos, sendo esse processo benéfico para planta, uma vez que a água excedente liberada para a atmosfera previne consequências atreladas ao estresse hídrico (Martins *et al.*, 2008). Além de que, fisiologicamente a transpiração é um processo que possibilita o

crescimento da planta, uma vez, que é eficaz na elevação da taxa de fluxo dos sais minerais presente no solo para a planta (Costa, 2001).

Na época de floração, período fenológico cuja taxa fotossintética encontra-se em ascensão, é a fase de preparo para o estágio seguinte, onde será exigido uma maior eficiência fotossintética para a formação de frutos (Silva, I. P. F *et al.*, 2011). Nos resultados obtidos para a variável da fotossíntese líquida, condutância estomática, taxa de transpiração e eficiência de carboxilação, novamente a presença do inoculante foi responsável por aumentar de forma positiva os valores obtidos nas variáveis dos tratamentos em relação ao controle, entretanto o tratamento com maior dosagem demonstrou um baixo desempenho, reforçando que a dose excedente já nesse período fenológico não surtiu em efeitos positivos na fisiologia da cultura.

Enquanto, na razão da concentração interna e externa de CO_2, que tem como objetivo avaliar a eficiência de consumo do carbono nas células do mesófilo, para a manutenção da taxa fotossintética (Silva, 2021), todas as plantas apresentaram melhores resultados na presença do inoculante. Sendo os resultados obtidos na época de floração contrários aos obtidos no trabalho referente a inoculação de *Bacillus* spp. em melancia como meio para mitigar os efeitos do déficit hídrico, uma vez que neste a presença do microrganismo não só não contribuiu de forma significativa nas trocas gasosas, assim como apresentou redução nos valores obtidos nas variáveis a exemplo da fotossíntese líquida (Araújo, 2023).

Na época da formação de capulhos, período este que em comparação aos anteriores, existe a redução na taxa fotossintética. Na variável fotossíntese líquida a dose de 0,6 mL, similar aos demais estádios fenológicos, apresentou o melhor desempenho, enquanto as plantas com maiores dosagens demonstraram os piores resultados.

Entretanto, na razão concentração interna e externa de CO_2, o tratamento de maior dosagem apresentou o maior valor referente a variável, o que fica evidente que embora houvesse a presença de CO_2 este não estava sendo fixado de forma eficiente, sugerindo portanto, a presença de algum distúrbio de cunho nutricional, uma vez que a dose excessiva do inoculante, está diretamente relacionada com uma maior solubilização do fósforo, assim sendo o fósforo em excesso não só impede a absorção de nutrientes essenciais para a fotossíntese como ferro, zinco, manganês e cobre, assim como um desequilíbrio na atividade enzimática (Lambers *et al.*, 2008). Outrossim, a solubilização do fósforo por parte dos microrganismos garantiu elevadas e constantes valores de fotossíntese quando observado em comparação ao controle no decorrer do experimento, dessa forma o fósforo contribuiu de forma direta quanto a assimilação do carbono, principalmente devido a síntese de compostos orgânicos que participam da fotossíntese (Khan F *et al.*, 2023).

Além disso, nessa última coleta de dados as variáveis, eficiência instantânea do uso da água e a eficiência intrínseca do uso da água, apresentaram influência quanto a presença do BiomaPhos, sendo a eficiência instantânea do uso da água, uma variável responsável por calcular a razão da taxa assimilação líquida de carbono e a taxa de transpiração de água, além de ser um indicador que possibilita compreender como os estômatos estão sendo controlados, tal variável possibilita avaliar a quantidade de água perdida de acordo com o teor de carbono fixado (Ribeiro, 2020). Enquanto a eficiência intrínseca do uso da água é uma variável que busca analisar a absorção de carbono com menor perda de água (Silva, 2021).

Dessa forma, no que se refere tanto a eficiência instantânea do uso da água, assim como na eficiência intrínseca do uso da água, o destaque maior vai ao tratamento de maior dosagem, cujo apresentou o pior desempenho, enquanto a dose de 0,6 mL manteve constância positiva quanto ao desempenho fisiológico. Resultado similar foi obtido no experimento de inoculação de *Bacillus* spp. em melancia como atenuador do déficit hídrico, em que na eficiência do uso da água (EUA), a presença do microrganismo possibilitou o melhor aproveitamento de água disponível (Araújo, 2023). Acrescido a isso, é importante frisar que no inoculante BiomaPhos, possui a presença do *Priestia megaterium,* cujo estudos correlacionam sua presença com a indução da presença do fito hormônio, ácido abscísico (ABA), cujo é responsável pela resposta da planta ao estresse ambiental. Sendo o ABA associado de forma conjunta a *Priestia.* spp nos estudos propostos por Zhou *et al.,* (2016) na tolerância a seca e consequente melhor aproveitamento hídrico por parte vegetal.

No que se refere a fluorescência da clorofila *a* esta técnica possibilita estudar a eficiência fotossintética das plantas, destaca-se o *quenching* fotoquímico (qP) e o *quenching* não fotoquímico (qN*).* Sendo a diferença entre os dois o fato do qP indicar a proporção dos centros de reação do fotossistema II (PSII), que estão abertos, enquanto o (qN) está relacionado referente a fluorescência máxima cuja eficiência fotoquímica está no máximo, enquanto a dissipação térmica no mínimo (Maxwell & Johnson, 2000). Além disso, outras variáveis de análise é a do rendimento quântico efetivo e a taxa de transporte de elétrons, sendo o primeiro, cuja finalidade é quanto ao nível de excitação energética dos pigmentos que promovem a fotossíntese e o segundo referente a determinação da taxa de transporte de elétrons fotossintéticos no PSII (Araldi, R *et al.*, 2011).

Assim sendo, na época de formação de botões florais nos dados referente da fluorescência da clorofila a, a variável *quenching* não fotoquímico (qN) todos os tratamentos com dose do inoculante apresentaram melhor desempenho comparado ao controle, enquanto que no rendimento quântico efetivo do fotossistema II e na variável da taxa de transporte de

elétrons embora todas as plantas com inoculante apresentaram um melhor desempenho, destaque maior deve-se aos dois tratamentos com as maiores dosagens, que obtiveram os melhores resultados.

Ademais, quanto a fluorescência da clorofila no estágio de floração, a variável referente ao *quenching* fotoquímico (qP), todas as plantas com inoculante apresentaram melhor desempenho em comparação ao controle.

Além disso, no que se refere aos dados coletados referentes a fenologia, embora ao final da coleta, de emergência a formação de capulho, os tratamentos, assim como o controle não tenham diferido, entretanto ao longo do desenvolvimento fenológico, as plantas com dose do inoculante, especialmente o de 0,6 mL e 0,9 mL, demonstraram precocidade nos estádios iniciais, especialmente na formação de primeira formação de botões e floração. Reforçando os estudos de Chowdhury *et al.,* (2015), que bactérias do gênero *Bacillus,* possam favorecer o crescimento das plantas, mas acrescido a isso, por meio dos dados obtidos pode interferir no desenvolvimento fenológico, sendo necessários mais estudos acerca de tal assunto.

No que se refere a análise do carbono microbiano do solo, este analisa a biomassa microbiana, que é a fração viva presente na matéria orgânica, participando dos processos bioquímicos presentes no solo (Moreira & Siqueira, 2006). Além disso, a biomassa microbiana está diretamente relacionada com o compartimento central no ciclo do carbono presente no solo e podendo também atuar como reservatório de nutrientes como o P orgânico (Souza *et al.,* 2008). Dessa forma, após avaliar todos os tratamentos, observou-se que os tratamentos com a dose do inoculante possuíam valores maiores do carbono microbiano no solo, do que o controle, afirmando dessa forma, que o BiomaPhos, influenciou diretamente na presença de microrganismos no solo, havendo uma quantidade crescente destes, entre tratamentos, de acordo com a dosagem aplicada, consequentemente uma maior solubilização do fósforo, contribuindo dessa forma, para a melhoria da qualidade do solo.

Ademais, não foi constatado de forma visual um aumento da raiz na presença do inoculante, como no trabalho proposto por Che *et al.,* (2024), cujo trabalho visou analisar a presença do microrganismo (wj1, wj5, wj6), como solubilizador de fósforo na fertilidade do solo para o crescimento do arroz. Outrossim, mesmo não percebendo um aumento na biomassa de raízes desencadeada pela presença dos microrganismos, o aumento da dose do inoculante elevou a matéria orgânica lábil, ou seja, aquela diretamente relacionada às células microbianas. Assim, a ciclagem da matéria orgânica do solo (MOS), pode ser estimulada com o aumento da dose do inoculante e, consequentemente, foi responsável por desfavorecer o crescimento radicular.

8. CONCLUSÃO

Dessa forma, diante da hipótese apresentada, confirma-se a hipótese, o solubilizador favoreceu nos parâmetros morfofisiológicos do algodão herbáceo, além de que promoveu melhorias nos atributos biológicos do solo. Sendo constatado um maior crescimento em altura, diâmetro do caule e número de folhas do algodão no início do desenvolvimento. Além de influências positivas em diversos fatores das análises das trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*, a exemplo da fotossíntese durante todas as análises. Ademais, houve uma melhoria nos atributos biológicos do solo, uma vez que o inoculante contribuiu diretamente no aumento de microrganismos no solo.

Por fim, a dose 0,6 mL se destacou como a melhor em favorecer nos parâmetros morfofisiológicos, sendo a dose recomendada. Entretanto, a dose 0,9 mL mostrou que uma dose excedente é ineficiente e prejudicial ao desenvolvimento da cultura, assim como contribuiu para um desbalanço nutricional.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, J.T.M.; D'ARCE, M.A.B.R.; FONSECA, H. Algodão – Produção, Pré Processamento e Transformação Agroindustrial. Secretaria de Ciência e Tecnologia de São Paulo, **Série Extensão Agroindustrial** nº 2. 1982. 96 p.

ADUAN, R. Engel; VILELA, M. de F.; DOS REIS JÚNIOR, F. B. Os grandes ciclos biogeoquímicos do planeta. 2004.

ALI, H.; AHMAD, M. I. Eficiência e rentabilidade agronômica do algodão no uso integrado de fósforo e micróbios vegetais. **Brazilian Journal of Biology**, v. 81, p. 484-494, 2021.

ARALDI, R.; VELINI, E. D.; GIROTTO, M.; CARBONARI, C. A.; JASPER, S. P.; TRINDADE, M. L. B. Efeitos na taxa de transporte de elétrons de plantas daninhas após aplicação de amicarbazone. **Planta Daninha**, v. 29, p. 647-653, 2011.

ARAÚJO, M. G. D. Inoculação de Bacillus spp. em sementes de melancieira como estratégia para mitigar os efeitos do déficit hídrico. **Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado da Bahia**. Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Horticultura). Bahia - 2023.

ABRAPA (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO). Algodão no Mundo. Brasília, DF, 2022. Acesso em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx.>

BASSO, S. M. S. Caracterização morfológica e fixação biológica de nitrogênio de espécies de Adesmia DC e Lotus L. 1999. 268 f. 1999. **Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre**.

BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. Ecofisiologia do algodoeiro (Gossypium hirsutum L. r. latifolium Hutch.). In: BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. (orgs.). Ecofisiologia das culturas: algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal. 1. ed. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2011. p. 65-124.

BELTRÃO, N. E. D. M. Fisiologia da produção do algodoeiro. 2006.

BELTRÃO, N. E. D. M.; AZEVEDO, D. M. P. D (org.). O agronegócio do algodão no Brasil. v. 1. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica,** 2008.

BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Funep, 1988.

BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. D.; FERREIRA, A. D. B.; BOGIANI, J. C. Diagnose Visual de Deficiências Nutricionais do Algodoeiro. 2013.

BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. da. Adubação do algodoeiro no ambiente de Cerrado. 2014.

BRITO, L. E. M.; DA MATA REZENDE, A. L. A.; DA SILVA, C. O. C.; DA SILVA, H. D.; DA SILVA, C. D. R.; DA LUZ, J. H. S. Desenvolvimento e nutrição inicial do milho com inoculação do Biomaphos® associado a fontes fosfatadas. **AGRI-ENVIRONMENTAL SCIENCES**, v. 8, n. 2, p. 12-12, 2022.

CASTRO, Carolina Souza de. Biochar da casca de coco verde como atenuador do estresse salino em soja. **Monografia - Universidade Federal do Ceará**. Centro de Ciências Agrárias. Fortaleza - 2021.

CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de ciência do solo, 2016.

CARDOSO, E. G. Utilização de subprodutos do algodoeiro na alimentação animal. 1998.

CARVALHO, M. D.; FERREIRA, G. B. Calagem e adubação do algodoeiro no cerrado. 2006.

CASSALES, A. R.; PAULO, J.; MORAIS, S. Caracterização Morfológica por MEV de Fibras de Línter de Algodão. In: **8º Congresso Brasileiro de Algodão & I Cotton Expo 2011**. 2011. p. 1872-1876.

CORRÊA, P. D. Avaliação da morfologia interna e do vigor de sementes de algodão utilizando técnicas de análise de imagens. **Dissertação (Mestrado)** - Universidade de São Paulo. 2017.

CHE, S.; XU, Y.; QIN, X.; TIAN, S.; WANG, J.; ZHOU, X.; YANG, X. Building microbial consortia to enhance straw degradation, phosphorus solubilization, and soil fertility for rice growth. **Microbial Cell Factories**, v. 23, n. 1, p. 232, 2024.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). CNA debate impactos do aumento dos preços dos fertilizantes para o produtor. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/noticias/cna-debate-impactos-do-aumento-dos-precos-dos-fertilizantes-para-o-produtor#:~:text=De%20janeiro%20de%202020%20a,do%20produtor%20est%C3%A3o%20se%20retraindo>

CHAVES, A. P.; OBA, C. A. I.. Críticas ao modelo brasileiro de fertilizantes fosfatados de alta solubilidade. 2004.

CHIAVEGATO, E. J.; BERNARDES, M. S.; CARVALHO, H. D. R. Estratégias para melhorar o aproveitamento da luminosidade na cultura do algodão. **O algodoeiro e os estresses abióticos,** v. 78, p. 43, 2014.

CHOWDHURY, S. P.; HARTMANN, A.; GAO, X.; BORRISS, R. Biocontrol mechanism by root-associated Bacillus amyloliquefaciens FZB42–a review. **Frontiers in microbiology**, v. 6, p. 780, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Algodão – Série Histórica das Safras. Conab, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/898-algodao>

COSTA, A. D. As relações hídricas das plantas vasculares. Evora: **Universidade de Évora, 2001.**

DA COSTA, J. N.; ALMEIDA, F.; DE SANTANA, J. C. F.; DA COSTA, I. L. L.; WANDERLEY, M. J. R; SANTANA, J. D. S. Técnicas de colheita, processamento e armazenamento do algodão. 2005.

DA SILVA, G. C. M.; SILVA, W. C. J.; CHAGAS, A. H. B. C.; SOUZA, I. O.; DA SILVA CAMPOS, D. T; NOBRE, H. G. Atividade biológica em solos de Sistemas Agroflorestais cultivado com algodão. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024.

DE ARAÚJO, L. F.; BERTINI, C. H. D. M.; BLEICHER, E.; NETO, F. D. C. V.; DE ALMEIDA, W. S. Características fenológicas, agronômicas e tecnológicas da fibra em diferentes cultivares de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 448-453, 2013.

DE OLIVEIRA, T. M.; FERREIRA, R. R. TRANSPIRAÇÃO DAS PLANTAS E SUA RELAÇÃO COM A TEMPERATURA. **CIPEEX**, v. 2, p. 290-297, 2018.

DE OLIVEIRA, R. S.; DE OLIVEIRA NETO, O. B.; WANCHAO, N.; DA COSTA, P. H. A.; EVANGELISTA, I.; LEONARDECZ, E.; GROSSI DE SÁ, M. F. Transformação de algodoeiro via tubo polínico: otimização e perspectivas de aplicação. 2007.

DE SOUSA, L. B. O Algodoeiro: alguns aspectos importantes da cultura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável,** v. 5, n. 4, p. 3, 2010

FERNÁNDEZ, M. T. Fósforo: amigo o enemigo. **ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar**, v. 41, n. 2, p. 51-57, 2007.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista brasileira de biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535. 2019. ISSN 1983-0823. doi: https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450

GANDRA, L. C.; DOS SANTOS, W. S.; OLIVEIRA, F. S.; SANTOS, H. O.; MOREIRA, S. D.; NEIVA, I. P.; SANTOS, E. M. S. Desempenho de plantas forrageiras bioinoculadas com BiomaPhos®. **Peer Review**, v. 6, n. 3, p. 255-275, 2024.

GARCÍA, R. A.; LOVAISA, N. C.; ULLA, E. L. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria in northwestern Argentina and its effect in promoting growth in maize (Zea mays L.). **Rev. Agron. Noreste Argent**, v. 35, p. 19-28, 2015.

GILIO, T. A. S. Divergência genética em genótipos de algodoeiro e quantificação de danos causados pela mancha de ramulária. **Dissertação (Mestrado)** - Universidade do Estado do Mato Grosso. 2014.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Informações agronômicas, v. 95, n. 5, p. 1-5, 2001.

HOU, E.; CHEN, C.; LUO, Y.; ZHOU, G.; KUANG, Y.; ZHANG, Y.; HEENAN, M.; LU, X.; WEN, D. Effects of climate on soil phosphorus cycle and availability in natural terrestrial ecosystems. **Glob. Chang. Biol**. vol 24, 2018. Doi: 10.1111/gcb.14093.

ICHRIANI, G. I.; SYEHFANI, Y. N.; HANDAYANTO, E. Bioscience Research. 2017

ECHER, FABIO R.; ROSOLEM, CIRO A. Fisiologia aplicada ao manejo do algodoeiro. Cuiabá: **Instituto Mato-Grossense do Algodão**, 2022. 262 p.

JUNIOR, A. F. C.; JUNIOR, G. M. B. J. B.; LIMA, C. A. L.; MARTINS, A. L. L. M.; SOUZA, M. C. S.; CHAGAS, L. F. B. C. Bacillus subtilis como inoculante promotor de crescimento vegetal em soja. **Diversitas Journal**, v. 7, n. 1, p. 0001-0016, 2022.

JÚNIOR, C. Z. J.; BARBOSA, I. J.; CARDOSO, E. L.; SANÓ, L.; NBALI, N. N.; DA COSTA, Y. K. S.; DE CARVALHO, L. B. Manejo de plantas daninhas na cultura do algodoeiro: breve revisão.

KANG, Y.; SHEN, M.; WANG, H.; ZHAO, Q. A possible mechanism of action of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) strain Bacillus pumilus WP8 via regulation of soil bacterial community structure. **The Journal of general and applied microbiology**, v. 59, n. 4, p. 267-277, 2013.

KHAN, F.; SIDDIQUE, A. B.; SHABALA, S.; ZHOU, M.; ZHAO, C. Phosphorus plays key roles in regulating plants' physiological responses to abiotic stresses. **Plants**, v. 12, n. 15, p. 2861, 2023.

LAMBERS, H. Phosphorus acquisition and utilization in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 73, n. 1, p. 17-42, 2022.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T. L. Plant physiological ecology. **Springer Science & Business Media**, 2008.

LIMA, M. J.; FARIAS, V. D.; COSTA, D. L.; SAMPAIO, L. S.; SOUZA, P. J. Efeito combinado das variáveis meteorológicas sobre a condutância estomática do feijão-caupi. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 547-553, 2016.

MARTINS, F. B.; STRECK, N. A.; SILVA, J. C. D.; MORAIS, W. W.; SUSIN, F.; NAVROSKI, M. C.; VIVIAN, M. A. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1297-1306, 2008.

MARIANO, R. D. L. R.; DA SILVEIRA, E. B.; DE ASSIS, S. M. P.; GOMES, A. M. A.; NASCIMENTO, A. R. P.; DONATO, V. M. T. S. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 1, p. 89-111, 2004

MAUNEY, J. R. Anatomy and morphology of cultivated cottons. **Cotton**, v. 57, p. 77-96, 2015.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. **Journal of experimental botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MENDES, I. de C.; DOS REIS JÚNIOR, F. B. Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica. 2003.

MIRANDA, J. E. Manejo integrado de pragas do algodoeiro no Cerrado brasileiro. 2010.

MOREIRA, F.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2ªedição. **Editora UFLA**, 2006.

NAYAKEKORALA, H.; TAYLOR, H. M. Phosphorus uptake rates of cotton roots at different growth stages from different soil layers. **Plant and Soil**, v. 122, p. 105-110, 1990.

NASCIMENTO, A. G. G. Genótipos e terços de desenvolvimento de capulhos: Afetam a qualidade da fibra do algodoeiro (Gossypium hirsutum L.)?. 2019.

OLIVEIRA, M. P.; MALAGOLLI, G. A.; CELLA, D. MERCADO DE FERTILIZANTES: dependência de importações do Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, SP, v. 16, n. 1, p. 489–498, 2019.

OLIVEIRA, A. S. D. A matéria orgânica na redução do efeito tóxico do alumínio. **Monografia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. 2018

ODUNFA, V. S. A.; OSO, B. A. Bacterial population in the rhizosphere soils of cowpea and sorghum. 1978.

OSAKI, M. Gasto médio com fertilizantes para produção de grãos dobra em um ano. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da Universidade de São Paulo (USP)**. 2022. Disponível em: <https://www. cepea. esalq. usp. br/br/opiniao-cepea/gastomedio-com-fertilizantes-para-producao-de-graos-dobra-em-um-ano. aspx>

PAIM, T. D. P.; LOUVANDINI, H.; MCMANUS, C. M.; ABDALLA, A. L. Uso de subprodutos do algodão na nutrição de ruminantes. **Ciênc. vet**. **tróp**, p. 24-37, 2010.

PEIXOTO, C.; CRUZ, T.; DE FÁTIMA PEIXOTO, M. Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e prática. **Enciclopédia biosfera**, v. 7, n. 13, 2011.

PEREIRA ALVES DOS SANTOS, S. Crescimento e características funcionais de plantas jovens de Hevea brasiliensis (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.) e Bertholletia excelsa (Bonpl.) submetidas à fertilização fosfatada e a bactérias solubilizadoras de fosfato. 2024.

RAMOS. Custo de produção do algodão tem aumento expressivo, avalia Abrapa**.** Safras, 2022. Disponível em: <https://safras.com.br/custo-de-producao-do-algodao-tem-aumento-expressivo-avalia-abrapa/>

RAWAT, P.; DAS, S.; SHANKHDHAR, D.; SHANKHDHAR, S. C Phosphate-solubilizing microorganisms: mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 49-68, 2021.

REIS, G. D.; MULLER, M. W. Análise de crescimento de plantas; mensuração do crescimento. 1979.

RIBEIRO, J. E. D. S. Sazonalidade, luminosidade e déficit hídrico sobre aspectos ecofisiológicos em Erythroxylum pauferrense. 2020. **Dissertação (Doutorado)** - Universidade Federal da Paraíba

SANTIN, G. B.; CAIXETA, W.; ROCHA, G. A.; SOUZA, Álvaro H. C. de; TAVARES, C. J. Efeito do fósforo e cepas de Bacillus subtilis (CNPMS B2084) e Bacillus megaterium (CNPMS B119) na produtividade e viabilidade de soja. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, [S. l.], v. 22, n. 12, p. e8242, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n12-142..

SCZOSTAK, A. Cotton linters: an alternative cellulosic raw material. **Macromolecular Symposia**, v.280, n. 1, p. 45-53, 2009.

SEVERINO, L. S.; RODRIGUES, S. M. M.; CHITARRA, L. G.; DE LIMA FILHO, J. R.; CONTINI, E.; MOTA, M.; ADALBERTO ARAUJO ARAGAO, S. I. R. E. Produto: ALGODÃO-Parte 01: Caracterização e Desafios Tecnológicos. **Série desafios do agronegócio brasileiro (NT3)**, 2019.

SILVA, B. A. D. Bioestimulante a base de algas marinhas e ácidos fúlvicos como atenuador do estresse salino em soja. **Monografia - Universidade Federal do Ceará.** 2021.

SILVA, M. C. D. A. P. D. IMPACTO DA INOCULAÇÃO COM CEPAS DA BACTÉRIA Bacillus amyloliquefaciens SOBRE OS PROCESSOS FISIOLÓGICOS DE SOJA EXPOSTA À SECA. **Monografia - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.** .2019.

SILVA, I. P. F.; JUNIOR, J. F. S.; ARALDI, R.; TANAKA, A. A.; GIROTTO, M; BOSQUE, G. G.; LIMA, F. C. C Estudo das fases fenológicas do algodão (Gossypium hirsutum L.). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 10, n. 20, p. 1-10, 2011.

SOUZA, C. C. D.; OLIVEIRA, F. A. D.; SILVA, I. D. F. D.; AMORIM NETO, M. D. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 338-342, 2000.

SOUZA, Á. H. C. D.; LORENZONI, M. Z.; NASCIMENTO, J. M. R. D.; SERON, C. D. C.; ANDREAN, A. F. B. A.; REZENDE, R. Efeito do nitrogênio na eficiência instantânea de carboxilação no cultivo da berinjela. 2017.

SOUZA, E. D. D.; COSTA, S. E. V. G. D. A.; LIMA, C. V. S. D.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARVALHO, P. C. D. F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1273-1282, 2008.

SOUZA, R. D.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Genetics and molecular biology**, v. 38, p. 401-419, 2015.

SOUSA D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA. S. R. S. (ed.) Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: **Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato**, 2004. 157 - 200.

STEVENSON, F. G. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**. John Wiley & Sons, 1994.

TIAN, J.; GE, F.; ZHANG, D.; DENG, S.; LIU, X. Roles of phosphate solubilizing microorganisms from managing soil phosphorus deficiency to mediating biogeochemical P cycle. **Biology**, v. 10, n. 2, p. 158, 2021.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New phytologist**, v. 157, n. 3, p. 423-447, 2003.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology And Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987. http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6.

VIANA, Thianny Fernanda Carrelo. PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO VEGETAL EM DUAS CULTIVARES DE ALGODÃO. **Tese (Doutorado) - Universidade Federal Do Mato Grosso do Sul.** 2024.

VIEIRA, R. M.; BELTRÃO, N. E. M.; LIMA, R. L. S.; LEÃO, A. B. Produção de sementes do algodoeiro. In: BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 17, p. 509-533.

WANG, L.; RENGEL, Z.; ZHANG, K.; JIN, K.; LYU, Y.; ZHANG, L.; SHEN, J. Ensuring future food security and resource sustainability: insights into the rhizosphere. **Iscience**, v. 25, n. 4, 2022.

WEIGMANN, Hans-Dietrich H. "cotton". **Encyclopedia Britannica**, 15 Dez. 2024, https://www.britannica.com/topic/cotton-fibre-and-plant.

XU, X.; MAO, X.; VAN ZWIETEN, L.; NIAZI, N. K.; LU, K.; BOLAN, N. S.; WANG, H. Wetting-drying cycles during a rice-wheat crop rotation rapidly (im)mobilize recalcitrant soil phosphorus. **J Soils Sediments 20**, 2020. Doi: https://doi.org/10.1007/s11368-020-02712-1.

YAO, A. V.; BOCHOW, H.; KARIMOV, S.; BOTUROV, U.; SANGINBOY, S.; SHARIPOV, A. K. Effect of FZB 24® Bacillus subtilis as a biofertilizer on cotton yields in field tests. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 39, n. 4, p. 323-328, 2006.

ZHOU C.; MA Z.; ZHU L.; XIAO X.; XIE Y.; ZHU J.; WANG J. Rhizobacterial strain Bacillus megaterium BOFC15 induces cellular polyamine changes that improve plant growth and drought resistance. **Int J Mol Sci** 17(6):976. https://doi.org/10.3390/ ijms17060976, 2016.

ANEXO A - RESULTADOS OBTIDOS DO CARBONO MICROBIANO REFERENTE A CADA UMA DAS AMOSTRAS

	Fumigadas	Não fumigadas	Fumigadas	Não fumigadas	C-MIC (µg g^{-1})
T1R1	19,5	19,7	74,8	64,8	**30,42**
TIR2	19,4	19,7	80,0	64,8	**46,03**
T1R3	19,7	19,9	64,7	54,8	**30,10**
T1R4	19,5	19,9	75,0	54,8	**61,19**
T1R5	19,7	19,9	64,9	54,8	**30,59**
TIR6	19,3	19,6	84,8	69,8	**45,68**
T1R7	19,1	19,4	94,6	79,7	**45,01**
T1R8	19,2	19,5	89,7	74,7	**45,43**
Branco	21				
	Fumigadas	Não fumigadas	Fumigadas	Não fumigadas	C-MIC (µg g^{-1})
T2R1	19,3	19,8	84,8	59,8	**75,88**
T2R2	19,4	19,9	80,0	54,8	**76,22**
T2R3	19,4	19,9	79,7	54,8	**75,37**
T2R4	19,1	19,6	94,7	69,8	**75,49**
T2R5	19,6	20	69,8	49,8	**60,61**
T2R6	19,7	20,1	64,9	44,8	**60,69**
T2R7	19,7	20,1	64,7	44,8	**60,20**
T2R8	19,7	20,1	65,0	44,8	**60,99**
Branco	21				
	Fumigadas	Não fumigadas	Fumigadas	Não fumigadas	C-MIC (µg g^{-1})
T3R1	19,4	20,1	79,8	44,8	**106,05**
T3R2	19,4	20,1	80,0	44,8	**106,42**
T3R3	19,4	20,2	79,7	39,9	**120,66**
T3R4	19,2	20,0	89,7	49,8	**120,79**
T3R5	19,2	20,0	89,8	49,8	**121,06**
T3R6	19,1	19,7	94,8	64,8	**91,02**
T3R7	19,2	20,1	89,6	44,8	**135,61**
T3R8	19,5	20,1	75,0	44,8	**91,27**
Branco	21				
	Fumigadas	Não fumigadas	Fumigadas	Não fumigadas	C-MIC (µg g^{-1})
T3R1	21,2	22,1	139,7	94,7	**136,52**
T3R2	21,2	22,0	139,7	99,6	**121,42**
T3R3	21,3	22,1	134,7	94,7	**121,40**
T3R4	23,2	23,9	39,9	5,0	**105,87**

T3R5	21,5	22,4	124,7	79,7	**136,45**
T3R6	21,4	22,0	129,7	99,6	**91,18**
T3R7	21,6	22,4	119,8	79,7	**121,33**
T3R8	21,6	22,4	119,8	79,7	**121,33**
Branco	24				

Fonte: Autor (2024)