



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO” CAMPUS DE BAURU - FACULDADE DE CIÊNCIAS**

LAURA GONÇALVES SILVA

**USO COMBINADO DE BIOSSÓLIDO DE ESGOTO TRATADO
ANAEROBICAMENTE E *Bacillus aryabhattai* COMO ESTRATÉGIA
SUSTENTÁVEL NO CULTIVO DO GIRASSOL**

Bauru

2025

LAURA GONÇALVES SILVA

**USO COMBINADO DE BIOSSÓLIDO DE ESGOTO TRATADO
ANAEROBICAMENTE E *Bacillus aryabhattai* COMO ESTRATÉGIA
SUSTENTÁVEL NO CULTIVO DO GIRASSOL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP
Câmpus de Bauru, para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Inês Cechin

Bauru

2025

S586u

Silva, Laura Gonçalves

USO COMBINADO DE BIOSSÓLIDO DE ESGOTO TRATADO
ANAEROBICAMENTE E *Bacillus aryabhattai* COMO ESTRATÉGIA
SUSTENTÁVEL NO CULTIVO DO GIRASSOL / Laura Gonçalves Silva. --
Bauru, 2025

38 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru
Orientadora: Inês Cechin

1. bioossólido. 2. rizobactérias. 3. reciclagem de nutrientes. 4. fertilização. 5.
crescimento vegetal. I. Título.

LAURA GONÇALVES SILVA

**USO COMBINADO DE BIOSSÓLIDO DE ESGOTO TRATADO
ANAEROBICAMENTE E *Bacillus aryabhatai* COMO ESTRATÉGIA
SUSTENTÁVEL NO CULTIVO DO GIRASSOL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP
Câmpus de Bauru, para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Inês Cechin

Bauru, 25 de novembro de 2025

Comissão Examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Inês Cechin - UNESP - Bauru/SP

Prof. Dr^ª. Marina Alves Gavassi - UNESP - Bauru/SP

Prof. Dr. Aloísio Costa Sampaio - UNESP - Bauru/SP AGRADECIMENTOS

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, minha mãe Andreza, meu Theo e que me apoiaram nos momentos mais desafiadores da graduação.

Agradeço aos meus amigos Letícia, Laís e Paulo, que me ajudaram ativamente durante todo o processo prático do experimento, e aos meus amigos Hugo, Manuela e Gislotti, Luiz, Felipe e Vitor que me apoiaram emocionalmente nessa fase extremamente atarefada.

Agradeço a minha orientadora Prof^ª. Dr^ª. Inês Cechin pela oportunidade de realizar minha Iniciação Científica, por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa, pela atenção e assistência oferecida, e por toda a confiança depositada em mim;

Agradeço aos colegas do Laboratório de Fisiologia Vegetal e Horticultura, pelo auxílio durante o desenvolvimento da minha Iniciação Científica;

Agradeço a minha psicóloga Yasmim, pelo apoio e auxílio emocional durante essa reta final da graduação;

Agradeço à UNESP (Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”), ao corpo docente e todos os funcionários que contribuíram direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho.

Muito obrigado a todos que colaboraram para a conclusão do meu curso, se hoje estou me graduando é graças a vocês.

RESUMO

A crescente produção de esgoto sanitário, impulsionada pelo crescimento populacional urbano é uma preocupação significativa devido ao seu potencial de causar degradação ambiental. O tratamento de esgoto sanitário oferece uma oportunidade de reciclar nutrientes que podem ser usados como fertilizantes na agricultura. O bio sólido obtido do lodo proveniente do tratamento de esgoto é rico em matéria orgânica e minerais e pode ser utilizado como fertilizante com características vantajosas para as culturas. As rizobactérias promotoras de crescimento das plantas (PGPR) constituem um grupo de microrganismos que vivem na rizosfera e beneficiam o crescimento de muitas espécies de plantas promovendo maior absorção de nutrientes. O alto custo e o esgotamento das reservas de fertilizantes químicos levantam preocupações adicionais sobre o futuro da produção de alimentos. Tanto os bio sólidos quanto as rizobactérias formam ferramentas importantes para promover o crescimento das plantas sem prejudicar o meio ambiente. Com o objetivo de explorar esses recursos disponíveis, este estudo teve como objetivo investigar os efeitos da aplicação simultânea de bio sólido, produzido a partir de lodo de esgoto e de *Bacillus aryabhattai* no crescimento, na produção de biomassa aérea, nas trocas gasosas foliares, nos teores de pigmentos fotossintéticos e os teores de nutrientes foliares de plantas de girassol (*Helianthus annuus*). Para isso foram estabelecidos quatro tratamentos, (T1= controle, T2= 5g de lodo + 0 mL de bactéria, T3= 5g + 3,2 mL de bactéria, e T4 =5g + 6,4 mL). As plantas foram mantidas em casa de vegetação, durante 44 dias. A massa seca total foi significativamente maior nas plantas tratadas com lodo e 6,4 mL de bactérias, em comparação ao controle (T1) e adição de apenas lodo (T2). Não houve diferença significativa na produção de massa seca entre T3 e T4. A adição de lodo aumentou a taxa fotossintética, enquanto a aplicação conjunta de bactérias e lodo promoveu um incremento ainda maior, sem diferenças significativas entre as duas doses de bactérias. A concentração de CO₂ na cavidade subestomática foi, em geral, menor que nas plantas que receberam bactérias (T3 e T4), indicando uma maior eficiência no uso do CO₂ disponível comparada a T1 e T2. Os pigmentos fotossintéticos foram aumentados pela adição de lodo. Dentre os nutrientes foliares houve maior absorção de N, Mn e Zn por parte do tratamento T4 em relação ao demais. Dessa forma conclui-se que as aplicações com bio sólido e *Bacillus aryabhattai* promoveram o aumento das taxas fotossintéticas e da produção de massa seca da parte aérea, sendo o T4 o tratamento mais eficiente, devido ao incremento no teor de clorofila total e nutrientes foliares em especial N e Zn.

Palavras chave: bio sólido, rizobactérias, reciclagem de nutrientes, fertilização, crescimento vegetal.

ABSTRACT

The increasing production of domestic sewage, driven by urban population growth, is a major concern due to its potential to cause environmental degradation. The treatment of domestic wastewater offers an opportunity to recycle nutrients that can be used as fertilizers in agriculture. The biosolid obtained from sewage sludge is rich in organic matter and minerals and can be used as a fertilizer with advantageous characteristics for crops. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) constitute a group of microorganisms that inhabit the rhizosphere and benefit the growth of many plant species by promoting greater nutrient uptake. The high cost and depletion of chemical fertilizer reserves raise additional concerns regarding the future of food production. Both biosolids and rhizobacteria represent important tools to promote plant growth without harming the environment. To explore these available resources, this study aimed to investigate the effects of the simultaneous application of biosolid, produced from sewage sludge (Sabesfértil), and *Bacillus aryabhatai* on growth, shoot biomass production, leaf gas exchange, photosynthetic pigment content, and leaf nutrient content in sunflower (*Helianthus annuus*) plants. Four treatments were established (T1 = control; T2 = 5 g of sludge + 0 mL of bacteria; T3 = 5 g + 3.2 mL of bacteria; and T4 = 5 g + 6.4 mL). The plants were maintained in a greenhouse for 44 days. Total shoot dry mass was significantly higher in plants treated with sludge and 6.4 mL of bacteria compared to the control (T1) and sludge-only treatment (T2). There was no significant difference in shoot dry mass production between T3 and T4. The addition of sludge increased the photosynthetic rate, whereas the combined application of bacteria and sludge further enhanced it, with no significant differences between the two bacterial doses. The CO₂ concentration in the sub-stomatal cavity was generally lower in plants inoculated with bacteria (T3 and T4), indicating higher efficiency in the use of available CO₂ compared to T1 and T2. Photosynthetic pigments increased with the addition of sludge. Among leaf nutrients, N, Mn and Zn absorption were higher in treatment T4 compared with the others. In conclusion, the application of biosolid and *Bacillus aryabhatai* promoted increases in photosynthetic rates and shoot dry mass production, with T4 being the most efficient treatment due higher total chlorophyll and leaf nutrient contents, particularly N and Zn.

Keywords: *Biosolid; Rhizobacteria; Nutrient recycling; Fertilization; Plant growth.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	16
3. METODOLOGIA.....	17
3.1. CONDIÇÕES DE CULTIVO	17
3.2. TRATAMENTOS.....	18
3.3. MEDIDAS DE CRESCIMENTO	19
3.4. MEDIDAS DE TROCAS GASOSAS E ANÁLISE DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS	19
3.5. DETERMINAÇÃO DE MASSA SECA.....	20
3.6. QUANTIFICAÇÃO DOS TEORES DE MACRO E MICRONUTRIENTES NAS FOLHAS E NO BIOSSÓLIDO	20
3.7. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1. ANÁLISE DE TROCAS GASOSAS	24
4.2. AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA PARTE AÉREA DAS PLANTAS.	21
4.3. PRODUÇÃO DE MASSA SECA.....	23
4.4. QUANTIFICAÇÃO DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS.....	28
4.5. ANÁLISE NUTRICIONAL DA FOLHA	30
5. CONCLUSÃO.....	33
6. REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO:

Historicamente, o Brasil tem sido um dos países que mais investem em políticas de combate à fome e insegurança alimentar (Rede Penssan, 2022). Em 2006, a promulgação da Lei nº 11.346/2006, que criou o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (SISAN), estabeleceu o direito humano à alimentação adequada, definido como “a realização do direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, tendo como base práticas alimentares promotoras de saúde, que respeitem a diversidade cultural e que sejam social, econômica e ambientalmente sustentáveis”.

No entanto, o aumento populacional associado a realidade pós covid-19 tornou a insegurança alimentar novamente uma preocupação alarmante no Brasil e no mundo. No final de 2020, a fome já atingia 9% dos lares brasileiros (Rede Penssan, 2022). Em 2022 apenas dois anos depois esse número subiu para 15,5%, ou seja, 33,1 milhões de brasileiros passam fome diariamente no Brasil (Rede Penssan, 2022). Quanto a insegurança alimentar, no mesmo ano, 2022 a II VIGISAN (II Inquérito Nacional da Insegurança Alimentar no Brasil no Contexto da Covid-19) estabeleceu que “125,2 milhões de brasileiros/as não tinham certeza se teriam o que comer no futuro próximo, limitando a qualidade ou quantidade de alimentos para as refeições diárias — um aumento de 7,2% em relação a 2020.” Além disso, o aumento dos custos e o esgotamento dos fertilizantes inorgânicos irão desafiar ainda mais a produção de alimentos, enfatizando a importância de soluções alternativas, como água recuperada e biofertilizantes (Hashem et al., 2022).

Diante do atual contexto social, a viabilização do acesso a alimentos se torna uma necessidade urgente. Para isso, metodologias inovadoras que promovam uma maior produtividade agrícola de forma sustentável e que não agredam o meio ambiente nem a qualidade dos alimentos é imprescindível. A agricultura hoje representa um dos maiores setores de produção econômica no Brasil. Segundo a Embrapa, o setor “É um dos que mais contribui para o crescimento do PIB nacional e responde por 21% da soma de todas as riquezas produzidas, um quinto de todos os empregos e 43,2% das exportações brasileiras, chegando a US\$ 96,7 bilhões em 2019” (VII Plano Diretor da Embrapa 2020-2030).

Por outro lado, o setor agrícola tem sido cada vez mais dependente de fertilizantes químicos, cujo uso excessivo pode causar diversos danos ambientais, como a contaminação de solos e corpos d'água, sendo um dos agentes diretos da eutrofização de rios e lagos. Além disso, são constituídos de recursos minerais finitos (Lu; Wang, 2023), colocando em risco a produção agrícola. Do ponto de vista econômico, o uso excessivo também representa um alto custo, uma vez que cerca de 60% do fertilizante inorgânico à base de fósforo usado na agricultura brasileira é importado (Revista Fapesp 2020).

Em 2020, o engenheiro-agrônomo iraniano Amin Soltangheisi, afirmou à revista FAPESP: “O fósforo é um recurso limitado e 70% das reservas mundiais estão no Marrocos. As reservas totais de fosfato de rocha atualmente disponíveis para exploração no Brasil são estimadas em 320 milhões de toneladas. Nas taxas atuais de extração, em torno de 6,7 milhões de toneladas ao ano, elas vão se esgotar em cerca de 50 anos”. Além disso, outros elementos essenciais para o desenvolvimento agrícola também enfrentam risco de esgotamento em curto período, como Zn, ainda mais escasso que o fósforo, com reservas estimadas para suprir a demanda global apenas até 2050 (Mudd et al., 2017).

Como consequência, o lodo de esgoto, também denominado de biossólido, surge como uma alternativa sustentável não só aos fertilizantes químicos por ser rico em nutrientes como N, P, S, Ca, Mg, Cu e Zn, mas também ao processo de calagem, uma vez que apresenta características semelhantes às de um corretivo de acidez de solo, podendo substituir totalmente o uso do calcário (Sanepar, 2023).

O lodo de esgoto é um subproduto do tratamento de esgoto doméstico, gerado dentro das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Em 2017, a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) definiu o esgoto doméstico como o “despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas”, composto majoritariamente por água, mas que também contém, em sua parte sólida, matéria orgânica e inorgânica. A produção de lodo se inicia com a separação inicial da parte líquida (99,9%) e sólida (0,1%) que constituem o esgoto doméstico (Figura 1).

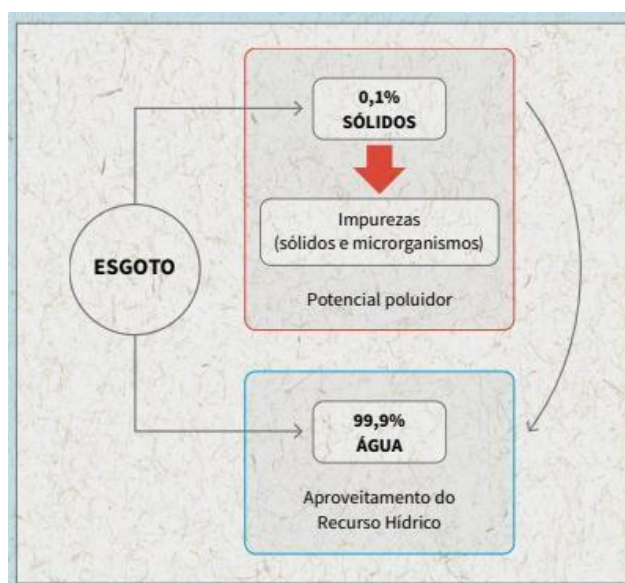


Figura 1. Esquema representativo da parte líquida e sólida do esgoto doméstico.

Autor: Funasa 2017

O tratamento de esgoto doméstico ocorre em duas fases, primeiro trata-se a parte líquida do esgoto e depois a parte sólida. Inicialmente, o esgoto captado pela rede de saneamento é enviado para as ETEs, onde passa por grades que retêm resíduos sólidos maiores, como lixo e detritos. Em seguida, o esgoto passa por uma caixa de areia, onde se espera retirar as partículas de areia presentes no fluxo de esgoto. Após essa etapa, o fluxo é direcionado para um decantador primário, onde a maior parte sólida se separa da parte líquida através do processo de decantação (Figura 2).

Nesse estágio, a parte sólida transforma-se em lodo primário, que é direcionado para um adensador. Já a parte líquida é enviada para um tanque de aeração, onde ocorre a proliferação de microrganismos que se alimentam da matéria orgânica presente. Esse processo reduz significativamente a carga poluidora do esgoto que então segue para um decantador secundário. Nessa etapa, qualquer resto de partícula sólida é removido da parte líquida, por decantação, resultando em dois produtos: o lodo secundário e água de reuso. A água de reuso não é própria para o consumo, mas está limpa o suficiente (90% das impurezas retiradas) para ser despejada em rios ou utilizada em atividades secundárias, como descargas sanitárias, lavagem de calçadas, praças e ruas, ou ainda na irrigação de jardins ornamentais (Sabesp).

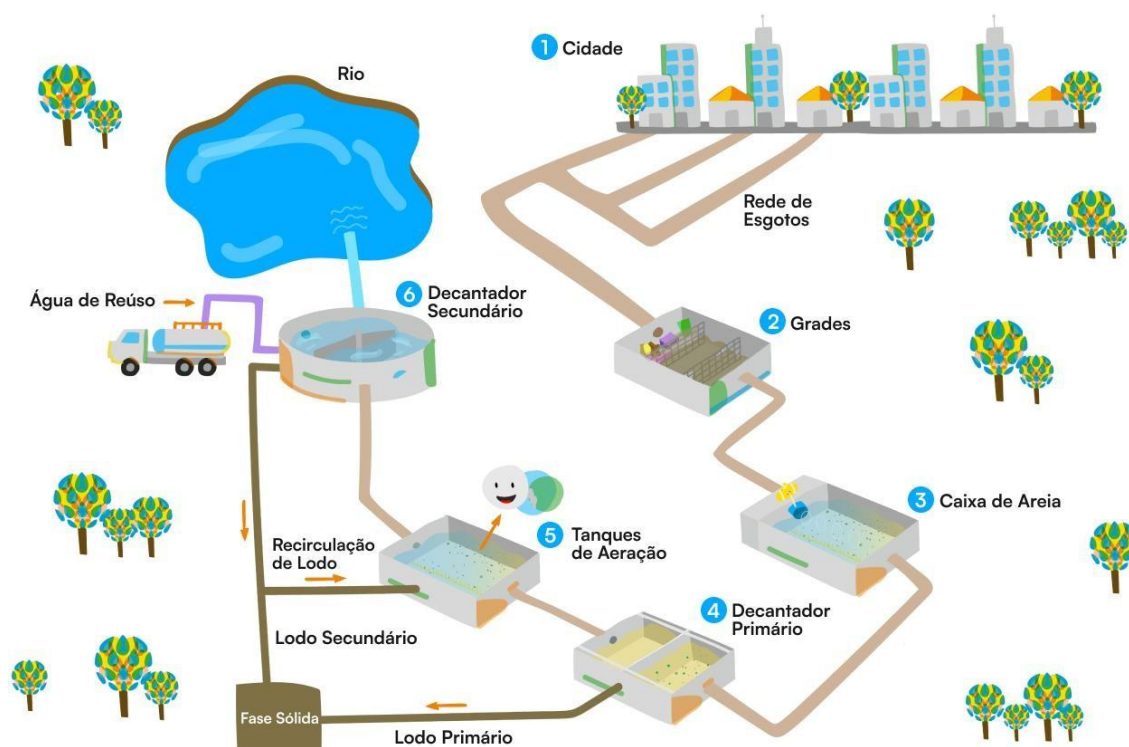


Figura 2. Esquema representativo do tratamento da fase líquida do esgoto doméstico.

Autor: SABESP 2020 (Processo de tratamento de esgoto)

No tratamento da fase sólida (Figura 3), ambos os lodos - primário e secundário- obtidos na separação com a fase líquida passam por um processo de adensamento, ou seja, sua concentração é aumentada para que se tornem mais densos, seja através de um processo de decantação em adensadores (lodo primário), ou de flotação em flotadores (lodo secundário). Em seguida, ambos são encaminhados para digestadores, estruturas onde ocorre a proliferação de microrganismos que se alimentam da matéria orgânica presente no lodo bruto. Esse processo libera água e gás metano, estabilizando dessa forma o lodo e eliminando odores desagradáveis. O lodo já estabilizado passa por um processo de desaguamento, onde perde quantidade significativa de água e passa de um caráter líquido para sólido (Sabesp).

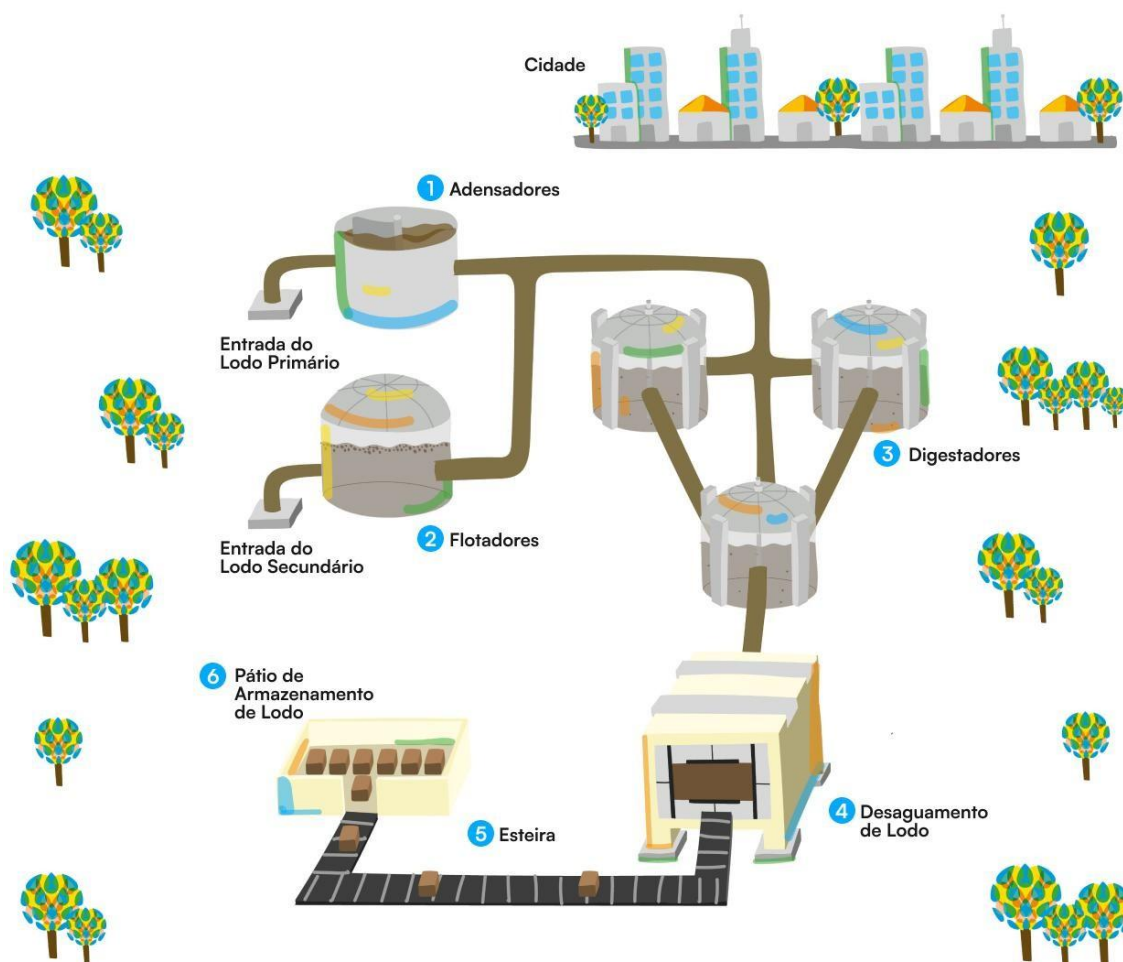


Figura 3. Esquema representativo do tratamento da fase sólida do esgoto doméstico.

Autor: SABESP 2020 (Processo de tratamento de esgoto)

Tradicionalmente, o lodo de esgoto é enviado para ser descartado em aterros sanitários. Entretanto, a disposição do biossólido em aterros sanitários de forma contínua e em grande quantidade nesses locais, diminui rapidamente a sua vida útil (Rocha et al, 2004). De acordo com Rocha (1998), “atualmente, existe uma tendência mundial em se priorizar alternativas que promovam a reciclagem do lodo”. Nesse contexto, a implantação de modelos de economia circular envolvendo os resíduos do tratamento de esgoto surge como uma alternativa sustentável para reduzir o consumo de fertilizantes químicos, promover a reutilização recursos e minimizar impactos ambientais (Migra Ambiental, 2024).

Diante da crescente demanda de biossólido como um novo insumo biológico sustentável, tornou-se necessário adicionar alguns processos para a viabilizar seu uso na agricultura. Após a obtenção do lodo (Figura 3), o material passa por um processo de higienização, visando a remoção de organismos patogênicos. O produto é, então,

encaminhado para a unidade de armazenamento, onde é separado em lotes e caracterizado qualitativamente em função do seu potencial agrônômico, grau de higienização e estabilização (Sabesp).

Segundo a SABESP, o Sabesfértil (Figura 4), bio sólido produzido nas ETEs da companhia “pode ser utilizado em todos os tipos de culturas, exceto em culturas inundadas, pastagens e em culturas cuja parte comestível da planta entra em contato com o solo, como olerícolas, tubérculos e raízes”, sendo classificado como Classe B pela Resolução CONAMA nº 498/2020. Essa classificação torna o cultivo de girassóis uma opção ideal para estudos do impacto do bio sólido no crescimento de plantas de cultivo em larga escala.



Figura

4. Produto final, pronto para uso, bio sólido Sabesfértil.

Autor: Sabesfértil.

Em 2007, a UEMA (Universidade estadual do maranhão), promoveu um estudo sobre o crescimento e produtividade de três genótipos de bananeira, adubados com diferentes dosagens de lodo de esgoto, os tratamentos apresentaram resultados semelhantes aos obtidos com adubação mineral recomendada, ressaltando-se a maior dosagem (13 t ha^{-1}) como aquela que atingiu os melhores índices de produtividade (Souza et al., 2007). Resultados semelhantes foram observados em 2003, um experimento conduzido pela faculdade de agronomia da Unesp de Botucatu, que tinha como objetivo principal avaliar a viabilidade do uso de bio sólido como componente do substrato em mudas de eucalipto em diferentes proporções. Os resultados obtidos revelaram que as

mudas desenvolvidas na proporção 50% substrato (casca de arroz carbonizada) e 50% biossólido, apresentaram resultados semelhantes ao controle (DE MENEZES TRIGUEIRO, et al. 2003). Estudo recente com plantas de girassol mostrou que a aplicação de biossólido proveniente do tratamento de esgoto resultou em maior crescimento e atividade fotossintética, sendo o aumento proporcional à dose aplicada (Ferreira et al., 2025).

A partir disso as Rizobactérias entram como uma ferramenta potencializadora para a absorção dos nutrientes presentes no lodo de esgoto, uma vez que são microrganismos associados às raízes das plantas conhecidas coletivamente como rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR) (Vessey, 2003). Os inoculantes microbianos (bioinsumos) baseados em PGPR estão se tornando cada vez mais populares na agricultura intensiva. A microscopia eletrônica de varredura realizada por Mun et al. (2024) mostrou que *Bacillus aryabhattai* SRB02 coloniza com sucesso as raízes da soja de forma rápida (em 2 dias) e tem grande potencial para promover o crescimento das plantas por meio da produção de fitohormônios, como ácido salicílico, ácido indolacético, cinetina, zeatina e 6-benzilaminopurina (Vanacore et al., 2025), promovendo o acúmulo de nutrientes e a estabilidade da clorofila.

O crescimento das plantas é estimulado por meio da mobilização de nutrientes no solo, levando a produção de fitohormônios, hormônios vegetais, que regulam o crescimento, desenvolvimento e outros processos fisiológicos da planta, incluindo proteção contra fitopatógenos (Kejela, et al., 2017). Tais propriedades podem ser alcançadas por meio de abordagens diretas ou indiretas. A abordagem direta consiste em fornecer à planta compostos que promovem seu crescimento, através de técnicas como biofertilização, rizorremediação e controle do estresse vegetal (Goswami et al., 2016). Já a abordagem indireta envolve a redução ou prevenção dos prejuízos causados por organismos fitopatogênicos, promovendo o crescimento vegetal por antibiose, indução de resistência sistêmica (ISR) e exclusão competitiva (Tripathi et al., 2012). Logo a associação de rizobactérias (Microorganismos que realizam associação mutualística com as raízes das plantas) como *B. aryabhattai*, a plantas de cultivo em larga escala tem se mostrado uma estratégia promissora para o aumento da produtividade vegetal.

Diante disso, a conversão de esgoto sanitário em um recurso voltado para a produção agrícola representa uma mudança de um modelo de exploração desenfreada para

um modelo sustentável, focado no uso eficiente de recursos já extraídos. Nesse contexto, destaca-se também a utilização de bactérias promotoras do crescimento de plantas, presentes na rizosfera, como biofertilizantes. Tanto os biofertilizantes quanto as rizobactérias têm se mostrado ferramentas promissoras para o incremento da produtividade agrícola, contribuindo simultaneamente para a recuperação de nutrientes, a redução do impacto ambiental e o fortalecimento da sustentabilidade no setor agropecuário. Espécies do gênero *Bacillus* geralmente não são aplicadas em biofertilizantes, mas Soares (2023) tem investigado essa transposição tecnológica. A inoculação de biofertilizante com *Bacillus* aumentou a produtividade de plantas de grão-de-bico, demonstrando a eficiência desses microrganismos na disponibilização de fósforo para as plantas (Soares, 2023). Estudos recentes também indicam que a incorporação de biofertilizantes ao solo, associada à inoculação de microrganismos simbióticos, promove aumento no crescimento, no teor de pigmentos fotossintéticos e em atributos químicos desejáveis em plantas de grão-de-bico (Hasan et al., 2023).

2. Objetivo:

O girassol, *Helianthus annuus* L., é uma cultura de grande valor econômico, utilizada como alimento para pássaros, ingrediente essencial na ração para gado, e flor ornamental. Atualmente, no entanto, sua principal finalidade é a extração de óleo, que pode ser empregado de diversas formas, inclusive na produção de biodiesel (Embrapa 2009). Segundo a pesquisadora Regina Campos Leite (Embrapa 2009), as sementes de girassol apresentam um teor de óleo significativamente superior ao de outras oleaginosas: “No girassol, esse teor varia em torno de 40%, enquanto em outras oleaginosas utilizadas na produção de biodiesel, esse percentual fica em torno de 20%, como é o caso da soja, por exemplo.” Com base nessas características, pesquisadores afirmam que o girassol tende a se tornar a principal alternativa à soja na produção de biodiesel no Brasil.

A notável adaptabilidade torna o girassol um forte candidato para diversificar os sistemas de produção na região do Cerrado (Amabile et al., 2002). O cultivo de girassol no Brasil tem se concentrado principalmente nos estados de Mato Grosso, Goiás e Rio Grande do Sul (Amabile et al., 2002), onde é frequentemente utilizado como cultura de rotação. Dada a demanda dos setores industrial e comercial, há um potencial significativo para expandir a produção de girassol na região do Cerrado (Rondon et al., 2019).

Com o objetivo de explorar de forma sustentável os recursos disponíveis, este estudo teve como propósito avaliar os efeitos da aplicação simultânea de bio sólido, produzido a partir de lodo de esgoto (Sabesfértil), e da rizobactéria *B. aryabhatai* sobre o crescimento, a produção de biomassa aérea, as trocas gasosas foliares e os teores de pigmentos fotossintéticos e os teores de nutrientes foliares de plantas de girassol (*H. annuus* L.).

Considerando a importância de avaliar as respostas das culturas à aplicação desses insumos, este estudo buscou fornecer subsídios sobre os benefícios e possíveis limitações dessa estratégia. Nesse contexto, formulou-se a seguinte questão: a presença da rizobactéria *B. aryabhatai* favorece um melhor aproveitamento dos nutrientes presentes no bio sólido, resultando em maior crescimento das plantas de girassol?

3. MATERIAL E MÉTODOS:

3.1. CONDIÇÕES DE CULTIVO:

Para a realização do experimento, as sementes de girassol foram semeadas em vasos com capacidade máxima de quatro litros de volume, preenchidos com substrato de Carolina Soil® (Tabela 1), misturado com vermiculita de granulação média na proporção 1:1 (Carolina Soil®:vermiculita) promovendo uma diluição dos nutrientes disponíveis, reduzindo a concentração por volume, o que pode ser interpretado como uma redução aproximada de 50% na fertilidade potencial do substrato.

Tabela 1. Caracterização química do substrato Carolina® puro.

Macronutrientes (g Kg ⁻¹)						Micronutrientes (mg Kg ⁻¹)					
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	pH
6,0	2,8	2,5	7,3	20,1	2,0	20,0	10,0	32,04	184,0	25,0	5,1

Fonte: Aloísio Costa Sampaio (2021). Fabricante: Capacidade de Retenção de Água (CRA) = 51,0%

Os vasos foram preenchidos com o substrato até atingirem um centímetro da borda, e foram depositados na casa de vegetação pertencente ao Departamento de Ciências Biológicas no Campus da UNESP Bauru, onde foram mantidos sob condições fotoperiódicas naturais e temperatura média mínima e máxima de 16 e 31°C,

respectivamente. Uma semana após o plantio, foi feito o desbaste, mantendo-se apenas uma planta por vaso. A irrigação com água de torneira foi realizada sempre que necessário.

3.2. TRATAMENTOS:

Foram estabelecidos 4 tratamentos (Figura 5):

- T1: Substrato + 0 g de biossólido + 0 mL de *Bacillus*
- T2: Substrato + 5 g de biossólido + 0 mL de *Bacillus*
- T3: Substrato + 5 g de biossólido + 3,2 mL de *Bacillus* •
- T4: Substrato + 5 g de biossólido + 6,4 mL de *Bacillus*

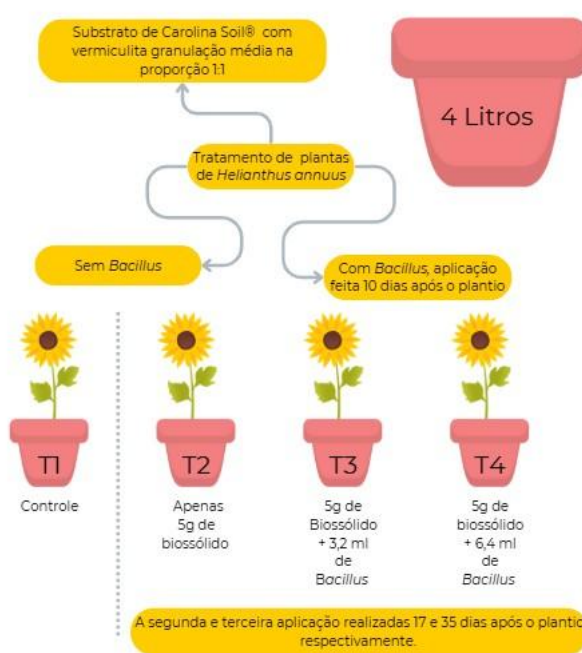


Figura 5. Fluxograma do experimento em casa de vegetação.

Fonte: Autor.

• Aplicação do biossólido e do bioinsumo Auras®

Cinco gramas (5 g) de biossólido (Sabesfértil) foram incorporadas à superfície do substrato no dia do plantio, sendo realizadas uma segunda e uma terceira aplicação aos 17

e 35 dias após o plantio, respectivamente. Em ambas as aplicações, o bio sólido foi distribuído sobre a superfície do substrato e recoberto com uma fina camada do próprio substrato. A quantidade de bio sólido utilizada foi determinada com base em experimentos anteriores com girassol (FAPESP Processo: 2022/07475-3; FAPESP Processo 2022/11514-4; Ferreira et al., 2025).

A inoculação com Rizobactérias foi realizada utilizando-se o produto comercial Auras® (Embrapa e NOOA Ciência e Tecnologia Agrícola, Minas Gerais, Brasil). O bioinsumo Auras® é composto por bactéria *B. aryabhattai* Cepa CMAA 1363, substâncias húmicas, espessante, conservante e água. O produto foi aplicado nas concentrações 3,2 e 6.4 ml diluídos em 100 ml de água por vaso. A inoculação foi feita através da incorporação do produto no substrato, na base da planta, 10 dias após o plantio.

3.3. MEDIDAS DE CRESCIMENTO:

Medidas de crescimento foram feitas semanalmente. A altura das plantas foi medida com auxílio de uma régua milimetrada, desde o nível do substrato até o último nó visível. O diâmetro do caule, na altura da inserção dos cotilédones, foi medido através do uso de um paquímetro digital (KingTools). Também foram contadas o número de folhas emergidas, considerando-se como folhas emergidas as que eram visíveis sem o manuseio da planta.

3.4. MEDIDAS DE TROCAS GASOSAS E QUANTIFICAÇÃO DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS:

As medidas de fotossíntese (A), de condutância estomática (g_s), de transpiração (E) e a concentração de CO_2 na cavidade subestomática (C_i) foram realizadas através do uso de um analisador de gás por infravermelho portátil (LCpro, ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, UK). As análises foram realizadas na folha mais jovem totalmente expandida dentro da casa de vegetação entre 8-10h sob condições ambientes de temperatura, pressão parcial de CO_2 e de vapor de água do ar. Radiação fotossinteticamente ativa de $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foi suprida por uma lâmpada acoplada à câmara foliar. A folha foi mantida sob esta intensidade até que uma taxa fotossintética de estado estacionário foi alcançada.

A eficiência instantânea do uso da água foi calculada através da relação A/E (taxa fotossintética/taxa transpiratória). A razão A/C_i ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}/\mu\text{mol mol}^{-1}$) foi usada para estimar a eficiência instantânea da carboxilação. Essa razão representa a quantidade de

CO₂ fixado durante a fotossíntese em relação à sua concentração na cavidade subestomática.

Para quantificação dos pigmentos fotossintéticos (clorofila e carotenoides), foram utilizados 3 discos foliares de cada planta, com área conhecida (1,68 cm² cada). Os discos foram homogeneizados em almofariz com acetona a 80%, e as concentrações foram calculadas conforme as fórmulas de Lichtenthaler (1987). As leituras de absorvância foram efetuadas em espectrofotômetro (UV-1800; Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) a 647, 663 e 470nm. Os teores de clorofila e de carotenoides foram expressos por unidade de área (g m⁻²).

3.5. DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA:

Ao final do período experimental (44 dias após o plantio), as plantas de cada tratamento foram coletadas para determinação da matéria seca da parte aérea, e então divididas em caule e folhas antes de serem secas em estufa a 65°C por pelo menos 48 h até a obtenção de massa constante. Utilizando uma balança de precisão foi determinada a massa seca de cada uma das partes das plantas para obtenção da massa seca da parte aérea.

3.6. QUANTIFICAÇÃO DOS TEORES DE MACRO E MICRONUTRIENTES NAS FOLHAS E NO BIOSSÓLIDO:

A determinação foi feita nas folhas ocupando a região mediana da planta, descartando-se folhas em início de senescência e as mais jovens. As folhas foram secadas em estufa de circulação de ar a 65°C até a obtenção de peso constante. A seguir, as folhas foram trituradas em moinho e enviadas juntamente com amostras de bio sólido para o Laboratório de Solos, localizado no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrárias/UNESP/Botucatu para determinação dos teores foliares de macro e micronutrientes conforme metodologia apresentada no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos (Brasil, 2017).

3.7. ANÁLISES ESTATÍSTICAS:

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o software SPSS/PC 23. As variações quantitativas nas diferentes variáveis foram analisadas por meio de um teste de comparações múltiplas, a fim de determinar diferenças entre os tratamentos ao nível de significância de 5%. O teste da diferença mínima significativa (LSD) foi utilizado quando as variâncias foram consideradas iguais, enquanto o teste de

Games–Howell foi aplicado quando a igualdade das variâncias não foi assumida. As análises estatísticas para número de folhas foram realizadas após transformação dos valores das amostras em $\sqrt{x + 0.5}$ (Wardlaw, 1985; Mcpherson, 1990).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ANÁLISE DE TROCAS GASOSAS

Durante o período de análise das trocas gasosas, observou-se uma variação considerável na condutância estomática e na taxa de transpiração. Essa oscilação pode ser atribuída, em parte, às mudanças nas condições meteorológicas ao longo do experimento, especialmente às variações de temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar, que influenciam diretamente a abertura estomática e, conseqüentemente, a perda de água pelas folhas. Na avaliação comparativa entre tratamentos (Figura 8), houve dois destaques principais, o T4 (tratamento com 6,4 mL de *Bacillus*) e o T1 (controle com 0 g de lodo e 0 ml de *Bacillus*).

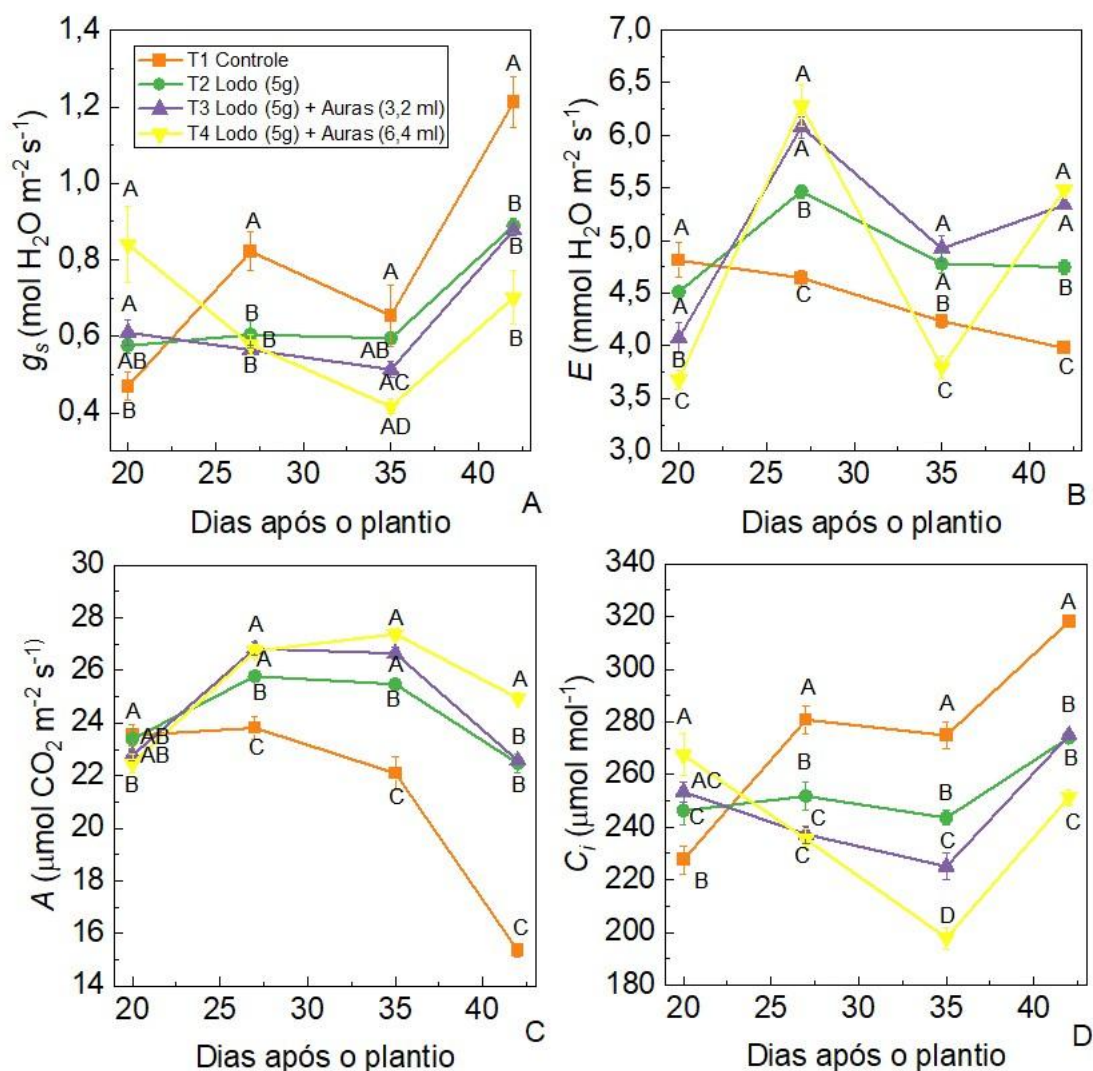


Figura 8. Condutância estomática (g_s , A), transpiração (E , B), fotossíntese (A , C) e concentração de CO_2 na cavidade subestomática, transpiração (C_i , D) de plantas de girassol cultivadas sob adição de biofertilizante e *Bacillus aryabhattai*. Valores são a média $\pm$ erro da média para 10 repetições. Diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos são representadas por letras maiúsculas diferentes.

Fonte: Autor.

Na Figura 8 é possível observar que o tratamento T4 apresentou, inicialmente, maior condutância estomática (g_s). Ao longo das coletas, a condutância estomática tornou-se menor que nos demais tratamentos (Figura 8A). A taxa de transpiração (E) apresentou uma resposta diferente, mais baixa inicialmente e tornando-se relativamente elevadas ao longo do período experimental em comparação aos tratamentos T2 e T3 (Figura 8B). Esse comportamento foi associado a uma maior taxa de fotossíntese (A) e a menores valores de concentração interna de CO_2 (C_i) (Figura 8C, D), indicando maior fixação de carbono via Rubisco durante o ciclo de Calvin–Benson (Kerbaui, 2019).

Sob a aplicação exclusiva de biofóssido, observou-se um aumento significativo na taxa fotossintética (Figura 8C). É interessante notar que, após a inoculação com *Bacillus*, as plantas que receberam o inóculo apresentaram taxas fotossintéticas superiores às dos demais tratamentos, não havendo diferença significativa entre as duas doses aplicadas. Ao final do experimento, a taxa fotossintética das plantas que receberam a menor dose de *Bacillus* não diferiu daquela observada nas plantas não inoculadas. Esse resultado indica que a aplicação da dose mais alta de *Bacillus* foi mais eficaz em aumentar a capacidade das plantas de fixar CO₂.

Vale ressaltar que as diferenças entre os tratamentos se tornaram mais evidentes principalmente após a segunda coleta de dados, quando as rizobactérias foram incorporadas ao meio e os tratamentos T2, T3 e T4 se tornaram diferenciados. *Bacillus* spp. destaca-se como uma das rizobactérias promotoras de crescimento vegetal mais eficientes, devido à sua capacidade de formar esporos de longa duração e tolerantes ao estresse (Tsotetsi et al., 2022). As PGPR, quando associadas às raízes das plantas, reforçam processos fisiológicos essenciais, como a absorção de água e nutrientes, a fotossíntese e as relações fonte-dreno que promovem o crescimento e o desenvolvimento vegetal ((Ilanguaran and Smith, 2017).

O tratamento T1 manteve a maior taxa de transpiração (*E*) durante o experimento, bem como maior condutância estomática (*g_s*). No entanto, apresentou a menor taxa fotossintética (*A*), o que indica um uso ineficiente da água, ou seja, menos CO₂ assimilado por unidade de água transpirada em comparação com os demais tratamentos (Figura 9B).

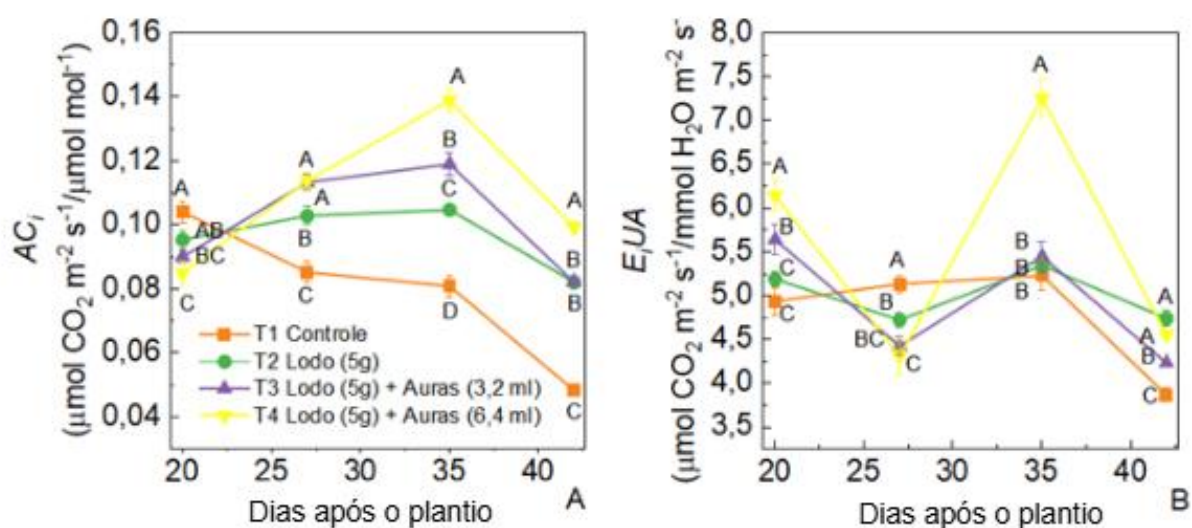


Figura 9. Eficiência carboxilativa aparente (A/C_i , A) e eficiência instantânea do uso da água (E_{iUA} , B).

(A/E), B) de plantas de girassol cultivadas sob adição de biossólido e *Bacillus aryabhattai*. Valores são a média $\pm$ erro da média para 10 repetições. Diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos são representadas por letras minúsculas diferentes.

Fonte: Autor.

Quanto à eficiência carboxilativa aparente (A/C_i), o tratamento T4 também demonstrou resultados superiores (Figura 7A). Ao longo das coletas, observou-se um aumento considerável na capacidade carboxilativa, com comportamento mais consistente no aprimoramento da eficiência fotossintética, especialmente nas coletas finais, quando as plantas já se encontravam em estágio de desenvolvimento mais avançado iniciavam a fase reprodutiva. Nesse período, há um maior custo energético para planta, decorrente da formação de inflorescências e sementes (Kerbauy, 2019).

Em comparação, o tratamento T1, apresentou, na primeira coleta, bom desempenho quanto à eficiência carboxilativa, com resultados superiores aos dos demais tratamentos. No entanto, observou-se uma redução dessa capacidade carboxilativa ao longo do experimento, indicando menor fixação de carbono. O tratamento T3, por sua vez, apresentou resultados superiores quando comparados ao T2 e T1, tanto para as variáveis relacionadas às trocas gasosas quanto para os indicadores de eficiência da planta, embora tenha sido inferior em relação ao T4.

O tratamento T2 apresentou resultados superiores ao controle, indicando que o lodo puro proporciona benefícios significativos para o desenvolvimento da planta. Em 2022, a Universidade Estadual Paulista (UNESP), conduziu um estudo sobre o uso de biossólido em feijoeiro submetido a deficiência hídrica (Gomes et al, 2022). Os autores concluíram que “o biossólido apresentou indícios que pode atenuar os efeitos da deficiência hídrica, proporcionando maior eficiência hídrica a planta”. No entanto, os resultados obtidos nos tratamentos T3 e T4, evidenciam maior eficiência do uso do lodo quando associado a *B. aryabhattai*, especialmente em concentrações mais altas, como observado no tratamento T4.

A eficiência instantânea do uso da água (EiUA) é uma variável fisiológica que expressa a capacidade da planta de utilizar a água para fixar carbono por meio da fotossíntese em um determinado momento. Em geral, é definida como a razão entre a taxa fotossintética líquida e a taxa de transpiração. Dez dias após a inoculação com *Bacillus*, os tratamentos T3 e T4 apresentaram valores de EiUA superiores aos observados nos

tratamentos T1 e T2 (Figura 9B), resultado associado a uma menor taxa de transpiração (Figura 8B). No entanto, essa tendência não se manteve até o final do experimento, quando o tratamento T4 apresentou valores superiores apenas em relação aos tratamentos T3 e T1.

4.2. AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA PARTE AÉREA DAS PLANTAS.

A cultura do girassol caracteriza-se por apresentar atributos quantitativos, como altura da planta, tamanho do capítulo, dimensão do aquênio e tempo para maturação, entre outros, que exibem grande variação (Frank; Szabo, 1989). No entanto, nesse estudo a variação não foi muito evidente dentro de cada tratamento.

Os nutrientes minerais circulam continuamente entre os organismos vivos, tornando o uso de lodo de esgoto uma prática essencial na fertilização do solo, por favorecer o crescimento e o desempenho das culturas, como observado por Eid et al. (2021) em plantas de sorgo. Dona et al. (2025) avaliaram a viabilidade social e ambiental do uso de biossólidos na agricultura urbana, com foco em comunidades de baixa renda. Os resultados indicaram que a maioria dos moradores está disposta a usar os biossólidos como fertilizante, sendo a adoção influenciada pelo tamanho da família, pelo interesse na agricultura e pela motivação. Assim, o uso de biossólidos na agricultura urbana como em grande escala configura-se como alternativa sustentável, favorecendo a economia circular e a redução de impactos ambientais.

No presente estudo, a aplicação de biossólido não alterou significativamente a altura, o diâmetro do caule ou o número de folhas por planta, quando comparado ao grupo de plantas que não recebeu biossólido (Figura 6). Esses resultados contrastam com os observados por Ferreira et al., (2025) usando a mesma cultivar de girassol. Os autores observaram um aumento significativo nessas variáveis usando 5 g de biossólido, possivelmente em função do tipo de substrato empregado. No presente estudo, os tratamentos não diferiram significativamente por todo o período experimental em relação à altura da parte aérea e o diâmetro do caule (Figura 6A, B). No entanto, o tratamento T4 (5 g de lodo + 6,4 ml *B. aryabhatai*) promoveu o maior incremento na produção de folhas em relação aos demais tratamentos (Figura 6C).

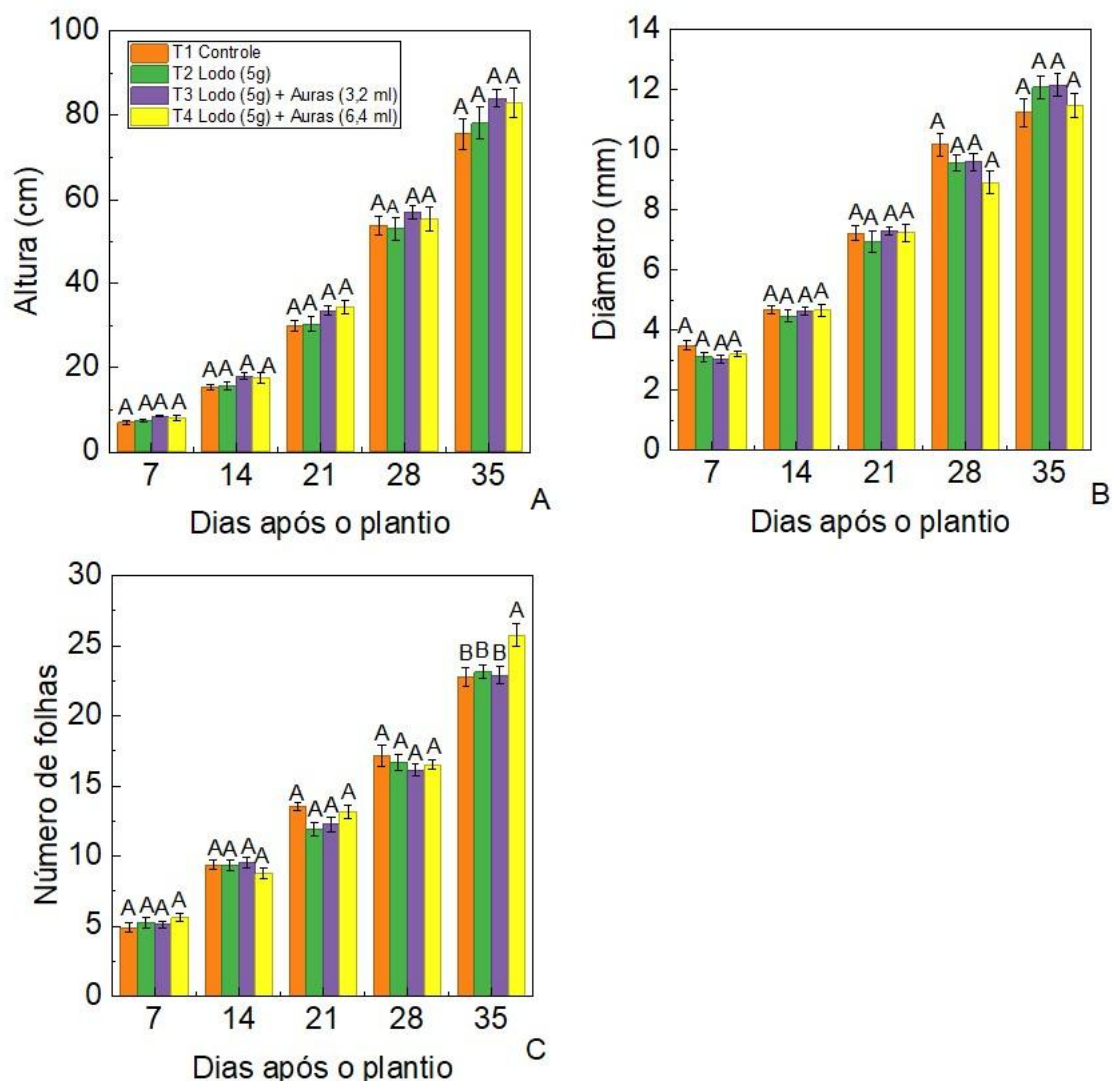


Figura 6. Altura da planta (A), diâmetro do caule (B) e número de folhas por planta (C) de plantas de girassol cultivadas sob adição de biofertilizante e *Bacillus aryabhattai*. Valores são a média $\pm$ erro da média para 8 repetições. Diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos são representadas por letras maiúsculas diferentes.

Fonte: Autor.

Dentro das variáveis altura (Figura 6A) e diâmetro do caule (Figura 6B), não houveram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, T1, T2, T3 E T4 ($p > 0,05$), em nenhuma das cinco coletas realizadas.

Em relação ao número de folhas visíveis, observou-se um aumento constante em todos os tratamentos ao longo do experimento. Contudo, na última coleta, o tratamento T4 apresentou um número significativamente superior de folhas em relação aos outros tratamentos, com uma diferença estatística ($P = 0,011$). O teste DMS apontou o tratamento

T4 com significativamente mais folhas do que T1, T2 e T3 (Figura 6C), evidenciando um efeito estimulador da maior dose do *Bacillus* na formação de folhas.

Os resultados obtidos em relação a avaliação do crescimento da parte aérea são corroborados por estudos prévios voltados para a performance no desenvolvimento de plantas fertilizadas com lodo de esgoto e associadas a rizobactérias. Rosyady et al., (2022), observaram o efeito de *Bacillus* em mudas imaturas de café robusta, aumentos significativos na altura, no número de folhas e no diâmetro do caule após a inoculação com *Bacillus*. De modo complementar, Kumar et al. (2022) investigou o uso combinado de biofertilizante e rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (PGPR) no cultivo de *Luffa acutangula*, sob condições de campo, constatando que os tratamentos com biofertilizante associado às PGPR resultaram em maior germinação, melhor resposta bioquímica e incremento no rendimento da cultura em comparação ao solo controle.

4.3. PRODUÇÃO DE MASSA SECA

A Figura 7 mostra que os tratamentos que receberam a adição de biofertilizante apresentaram maior desenvolvimento de órgãos foliares, enquanto o controle teve um maior investimento no desenvolvimento do caule. Essa diferença sugere que a redução da área foliar observada no controle pode estar relacionada a uma resposta ao estresse nutricional. De acordo com Taiz (2021), “As folhas grandes e planas proporcionam superfícies ideais para a produção de fotossintatos [...]. Porém, sob condições estressantes, podem ser prejudiciais ao crescimento e à sobrevivência das culturas agrícolas. Nessas circunstâncias, as plantas tendem a reduzir sua área foliar por meio da diminuição da divisão e expansão das células foliares, da alteração das formas foliares e do início precoce da senescência e da abscisão das folhas”.

As análises de massa seca da parte aérea reforçam o maior crescimento vegetal nos tratamentos T3 e T4, que apresentaram os maiores valores de biomassa total, especialmente em folhas e caule, respectivamente, corroborando com os estudos citados anteriormente (Figura 7). O tratamento T4 (16,6365 g) produziu quase um terço a mais de massa seca em comparação ao controle (11,1378 g). Os demais tratamentos, T2 (14,1349 g) e T3 (15,7835 g), também apresentaram produção total significativamente superior à do controle. A comparação da produção de massa seca da parte aérea evidencia que a inoculação com *B. aryabhattai* na dose de 6,4 mL, associada à aplicação de cinco gramas de biofertilizante, promoveu um aumento significativo em relação ao tratamento com

biossólido sem *Bacillus*. Esse resultado sugere um efeito sinérgico entre o bioinsumo microbiano e o biossólido, indicando que a presença de *B. aryabhattai* potencializa a disponibilidade de nutrientes e estimula processos fisiológicos relacionados ao crescimento do girassol. Além disso, o tratamento com 6,4 ml de *Bacillus*, (T4) exibiu o maior valor médio de capítulo, sugerindo capítulos em estágios mais avançados de desenvolvimento, o que indica uma maturação e transição para a fase reprodutiva mais rápida em relação aos indivíduos dos demais tratamentos (Figura 7).

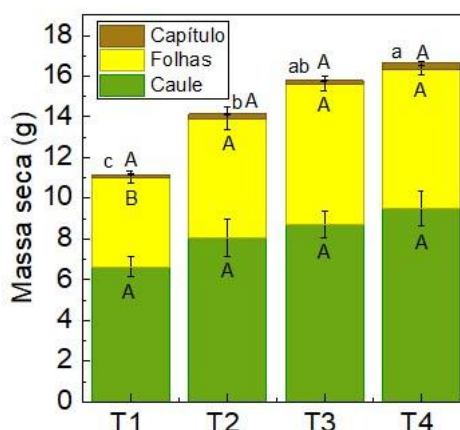


Figura 7. Partição da massa seca da parte aérea de plantas de girassol cultivadas sob adição de biossólido e *Bacillus aryabhattai*. Valores são a média $\pm$ erro da média para 6 repetições. (T1 = controle, T2 = 5 g de lodo + 0 mL de Auras, T3 = 5 g de lodo + 3,2 mL de Auras, T4 = 5 g de lodo + 6,4 mL de Auras,). Diferenças significativas ($P < 0,05$) referentes ao órgão analisado são representadas por letras maiúsculas diferentes e diferenças significativas da comparação entre os tratamentos em relação à massa seca total são representadas por letras minúsculas.

Fonte: Autor.

4.4. QUANTIFICAÇÃO DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS

A Figura 10 mostra a quantificação de pigmentos fotossintéticos presentes nas folhas usadas na determinação das trocas gasosas.

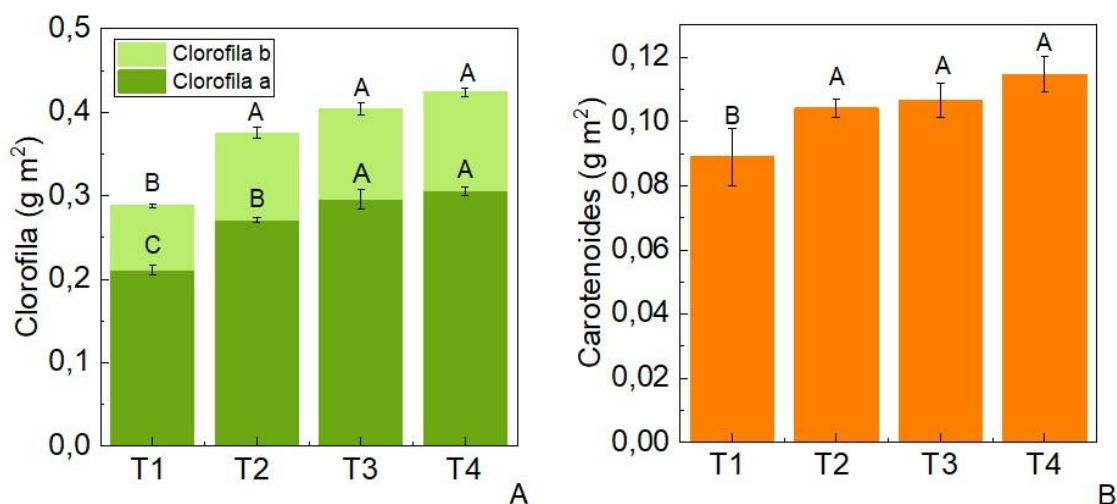


Figura 10. Conteúdo de pigmentos fotossintéticos, clorofila *a* e *b* (A) e carotenoides (B) de plantas de girassol cultivadas sob adição de biossólido e *Bacillus aryabhattai*. Valores são a média $\pm$ erro da média para 5 repetições. Diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos são representadas por letras minúsculas diferentes (T1 = controle, T2 = 5 g de lodo + 0 mL de Auras, T3 = 5 g de lodo + 3,2 mL de Auras, T4 = 5 g de lodo + 6,4 mL de Auras).

Fonte: Autor.

Os tratamentos com *B. aryabhattai* apresentam significativamente teores maiores de Clorofila *a* em relação aos demais tratamentos, já a Clorofila *b* e Carotenoides demonstraram maior abundância significativa nos tratamentos enriquecidos com biossólido em relação ao controle, demonstrando a influência do lodo de esgoto dentro da síntese destes pigmentos.

As clorofilas são pigmentos verdes especializados na absorção de luz durante a fotossíntese. Segundo Taiz (2021), “a planta utiliza a energia solar para oxidar a água, consequentemente liberando oxigênio, e para reduzir o dióxido de carbono, formando assim compostos carbonados de maior complexidade, sobretudo açúcares. A complexa série de reações que culmina na redução do CO₂ inclui as reações dos tilacoides e as de fixação do carbono”. Dessa forma, o teor de clorofila está diretamente relacionado à capacidade fotossintética e ao vigor fisiológico da planta, constituindo um indicador sensível da resposta vegetal aos tratamentos avaliados. Nos tratamentos com *Bacillus*, os maiores teores de clorofila observados sugerem uma melhora na eficiência fotossintética, possivelmente associada à maior disponibilidade de nutrientes (Tabela 2) e à regulação positiva do metabolismo foliar.

Os carotenoides constituem o segundo grupo de pigmentos mais abundantes do planeta e, na fotossíntese, desempenham duas funções principais: a absorção complementar de luz, atuando como pigmentos acessórios, e a fotoproteção do aparato fotoquímico, além de exercerem uma importante função antioxidante (Kerbaudy, 2019). Dessa forma, os resultados sugerem uma fotossíntese mais eficiente e robusta nas plantas submetidas ao tratamento T4, em consonância com os demais parâmetros fisiológicos avaliados, como eficiência carboxilativa (A/Ci), eficiência instantânea do uso da água (EiUA) e condutância estomática, reforçando o papel positivo do lodo de esgoto no desempenho fotossintético das plantas.

O aumento significativo dos teores de clorofila nos tratamentos T3 e T4 pode estar associado à ação fisiológica multifacetada de *B. aryabhattai*. Mun et al. (2024) verificaram que *B. aryabhattai* contribuiu para a manutenção da clorofila e dos nutrientes nas folhas, além de produzir ácidos orgânicos que podem favorecer o metabolismo fotossintético. Park et al. (2017) demonstraram que a cepa *B. aryabhattai* SRB02 modula a produção de fitormônios o que pode favorecer a estabilidade dos cloroplastos e retardar a degradação da clorofila sob condições de estresse ou demanda metabólica elevada. De modo mais geral, estudos do gênero *Bacillus* apontam que essas bactérias promovem o crescimento vegetal via secreção de metabolitos hormonais, solubilização de nutrientes e estímulo ao transporte mineral (Deng et al., 2022), e que *Bacillus* spp. funcionam como bioestimulantes ao ativar vias metabólicas, inclusive as envolvidas na fotossíntese e na manutenção de pigmentos (Etesami, 2023).

4.5 ANÁLISE NUTRICIONAL DA FOLHA

A Tabela 2 apresenta uma análise comparativa entre os teores de macro e micronutrientes da composição inicial do biossólido, utilizado como fertilizante sem mistura com vermiculita, e os teores de nutrientes absorvidos pelas folhas em cada tratamento. Dessa forma, é possível avaliar a eficiência de absorção de nutrientes em resposta aos diferentes tratamentos aplicados.

Tabela 2. Teores de macro e micronutrientes do biossólido (sabesfértil) e das folhas de girassol.

Tabela 2 – Teores de macro e micronutrientes do biossólido (sabesfertil) e das folhas de girassol.											
	Macronutrientes (g Kg ⁻¹)						Micronutrientes (mg Kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Biossólido	28,7	31,6	1,0	16,2	2,7	15,7	-	167	47629	280	702
T1	32,5	4,455	45,15	12,8	8,55	4,3	40	20	161	45,5	45,5
T2	39,895	4,56	50,6	13,65	9,85	6,15	55	19,5	121	61	48,5
T3	40,18	4,67	49,6	11,1	9,05	5	48	23	113,5	74	57,5
T4	43,5	4,92	48,8	10,55	8,7	5,2	45,55	21,5	121	77	70

Legenda: Os valores são médias de análises em duplicata de macro e micronutrientes das folhas de cada tratamento (T1 = controle, T2 = 5 g de lodo + 0 mL de Auras, T3 = 5 g de lodo + 3,2 mL de Auras, T4 = 5 g de lodo + 6,4 mL de Auras) em relação ao valor nutricional do biossólido.

Fonte: Autor.

A aplicação de lodo nas plantas de girassol resultou em aumento nos teores foliares de N, K, Ca, Mg, S, B, Mn e Zn. Por sua vez, a inoculação com *B. aryabhattai* promoveu elevação nos teores de N, P, Cu, Mn e Zn, sugerindo um estímulo à absorção desses nutrientes. O aumento dos teores foliares de macro e micronutrientes nas plantas tratadas com lodo e *Bacillus aryabhattai* sugere uma ação sinérgica entre os insumos na nutrição mineral do girassol. A aplicação do lodo fornece nutrientes e matéria orgânica ao solo, enquanto a presença de *B. aryabhattai* pode potencializar a mobilização desses nutrientes por meio de mecanismos microbianos. Esses resultados indicam que tanto o lodo quanto o inóculo bacteriano contribuíram para a melhoria da nutrição mineral das plantas, refletindo em maior eficiência fotossintética e crescimento mais vigoroso, conforme evidenciado pelos teores mais elevados de clorofila e carotenoides observados nos respectivos tratamentos.

O N essencial para o crescimento das culturas é geralmente suplementado pela aplicação de fertilizantes nitrogenados. No entanto, apenas 30–50% desse fertilizante é efetivamente absorvido pelas plantas, resultando em baixa eficiência de uso e potenciais impactos ambientais. Segundo Qin et al. (2024), as PGPR atuam como microrganismos capazes de coexistir com as plantas, contribuindo para a fixação biológica de N e apresentando grande valor na aplicação agrícola e na restauração ambiental.

O N tem papel fundamental na fisiologia vegetal, por ser um elemento estrutural de proteínas, nucleotídeos, lipídios e de alguns sacarídeos, além de ser um elemento regulatório, uma vez que os íons nitrato e amônio regulam várias reações metabólicas (Kerbaui, 2019). Ademais, o N também é um constituinte central do anel tetrapirrólico da molécula de clorofila e é essencial para a síntese de proteínas do complexo fotossintético (Taiz et al., 2021). Assim, a maior disponibilidade e assimilação de N observadas nos

tratamentos inoculados com *Bacillus* (T3 e T4) possivelmente contribuíram para o aumento do teor de clorofila e, conseqüentemente, para a melhoria da eficiência fotossintética e do crescimento vegetal verificados neste estudo.

O Ca, por sua vez, possui importante papel na estruturação da parede celular, homeostase iônica, integridade celular, bem como papel fundamental na sinalização celular como segundo mensageiro (KERBAUY, 2019). O Ca apresentou-se de forma mais abundante no T2 (5 g de lodo) (13,65 mg kg⁻¹). Em relação aos tratamentos T3 (11,1 mg kg⁻¹) e T4 (10,55 mg kg⁻¹) houve uma redução no teor de Ca. A princípio que tratamentos com maior emissão foliar apresentarem maiores volumes de Ca justamente por produzirem maior massa seca que os demais tratamentos, no entanto o justo oposto se observa, tratamentos com menos massa seca e emissão de folhas apresentam maior abundância de Ca, esse resultado pode ser justificado devido a um efeito de diluição do nutriente, onde a concentração do Ca cai, ao se distribuir em maior biomassa foliar (Figura 5).

Os teores foliares de Mg, S e B foram aumentados pela aplicação do lodo (Tabela 2). No entanto, a inoculação com o *Bacillus* resultou em redução nas concentrações desses nutrientes. Embora o Mg seja um constituinte essencial da molécula de clorofila, o teor de clorofila não foi reduzido; ao contrário, apresentou-se superior nas plantas tratadas com *Bacillus* em relação às aquelas sem inoculação.

O Cu é indispensável à fotossíntese por participar diretamente do transporte de elétrons via plastocianina, contribuir para a manutenção da integridade dos cloroplastos e favorecer a estabilidade e funcionalidade da clorofila (Kerbaudy, 2019). É interessante notar que a inoculação com o *Bacillus* resultou em um aumento no teor desse micronutriente, sugerindo uma possível melhoria na absorção e utilização do Cu pelas plantas, o que pode ter contribuído para o desempenho fotossintético superior observado nos tratamentos inoculados.

Embora o lodo aplicado apresentasse altos teores de ferro (Fe), observou-se uma redução na concentração foliar desse micronutriente nos tratamentos que receberam tanto o lodo quanto a inoculação com *Bacillus*. Esse comportamento pode ser explicado por mecanismos de competição iônica e complexação na rizosfera. O Fe²⁺ compartilha transportadores de membrana com outros cátions metálicos, como Mn²⁺, Zn²⁺ e Cu²⁺, e o excesso desses elementos pode inibir a absorção de ferro pelas raízes (Taiz et al., 2021).

No caso da inoculação bacteriana, é possível que o *Bacillus* tenha atuado na mobilização de outros micronutrientes mais limitantes, como Zn e Mn, competindo indiretamente com o Fe.

O Mn tem um papel central na fotólise da água no processo da fotossíntese e na síntese e na manutenção da clorofila e na assimilação de carbono e metabolismo do N (Rengel, 2015; Taiz et al., 2021). Nesse estudo, observou-se um aumento progressivo no teor foliar de Mn com a aplicação dos tratamentos, passando de 45,5 mg kg⁻¹ no controle para 61 mg kg⁻¹ com lodo, 74 mg kg⁻¹ com lodo + *Bacillus* (3,2 mL) e 77 mg kg⁻¹ com lodo + *Bacillus* (6,4 mL). Esses resultados indicam que a associação entre lodo e *Bacillus* favoreceu a disponibilidade e absorção de Mn, refletindo em melhor desempenho fisiológico das plantas.

Dentre os micronutrientes o Zn expressou uma diferença significativa entre os tratamentos. T4 apresentou o maior valor (70 mg kg⁻¹), seguido por T3 (57 mg kg⁻¹) e T2 (~48 mg kg⁻¹), já o controle (T1) foi o menor (~45 mg kg⁻¹). Em estudos com soja e trigo, cepas de *B. aryabhattai* atuaram como solubilizadoras de Zn (Ramesh et al., 2014), o que também pode explicar os incrementos observados de Zn nas folhas nesse estudo. A abundância de Zn pode estar relacionada com a biodisponibilidade gerada pelas PGPR, estudos prévios afirmam que esses organismos possuem a capacidade de induzir a produção de uma variedade de fitormônios nas plantas (Taghavi et al 2009), com a auxina com importante função na regulação do crescimento e desenvolvimento vegetal (Kerbaudy, 2019). Esta por sua vez tem como precursor o triptofano, cujo Zn desempenha papel essencial em sua síntese.

Em síntese, os resultados nutricionais, fisiológicos e bioquímicos obtidos nesse estudo demonstram que a associação do bio sólido com *B. aryabhattai* constitui uma estratégia promissora para a promoção do crescimento vegetal. Essa combinação não apenas forneceu nutrientes essenciais, mas também potencializou sua disponibilidade e assimilação pelas plantas, refletindo em ganhos expressivos de crescimento e eficiência fotossintética. Tais achados reforçam o potencial do uso integrado de bio sólidos e rizobactérias promotoras de crescimento como alternativa sustentável para otimizar a produtividade vegetal e reduzir a dependência de fertilizantes químicos, contribuindo para uma produção vegetal mais sustentável.

5. CONCLUSÃO

Os resultados desse estudo demonstram o potencial do biossólido como agente de maior produção significativa de massa seca foliar, além de ter promovido um aumento significativo nos teores de Carotenoides e Clorofila b, bem como na quantidade de B, S, Mg, Ca, e K presentes nas folhas.

O estudo também evidenciou que a associação entre o biossólido proveniente do tratamento do esgoto e a rizobactéria *Bacillus aryabhattai* constitui uma estratégia sustentável e eficiente para promover o crescimento das culturas e a fotossíntese, oferecendo uma alternativa aos fertilizantes químicos. A aplicação conjunta de biossólido e *B. aryabhattai* resultou em maiores taxas fotossintéticas, incremento da massa seca da parte aérea e elevação dos teores de clorofila a e nutrientes foliares, especialmente N, Mn e Zn, com destaque para o tratamento T4.

Além de contribuir para a valorização de resíduos urbanos e a redução do impacto ambiental associado ao descarte em aterros sanitários, essa abordagem aponta para novas estratégias de manejo agrícola com menor dependência de insumos minerais. Essas inovações contribuem para a agricultura sustentável, beneficiando particularmente os pequenos produtores que enfrentam os desafios das mudanças climáticas. Dessa forma, os resultados desse projeto destacam os efeitos positivos da aplicação simultânea de biossólido (Sabesfértil) e de *B. aryabhattai* no desenvolvimento de plantas de girassol, destacando especialmente o papel das rizobactérias como agentes de disponibilidade de nutrientes, favorecendo um melhor aproveitamento dos nutrientes presentes no biossólido. Em síntese, os resultados reforçam o potencial da integração entre biossólido e *B. aryabhattai* como uma prática promissora para aumentar a produtividade das culturas e promover uma agricultura mais sustentável.

Para maximizar o crescimento inicial das plantas, são necessários estudos adicionais que visem definir as doses e as formas mais adequadas de aplicação desses insumos.

6. REFERÊNCIAS

AMABILE, R. F.; FERNANDES, F. D.; SANZONOWICZ, C. Girassol com alternativa para o sistema de produção do cerrado. Embrapa Cerrados. Circular Técnica, v. 20, 2002.

BRASIL. Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006. Cria o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 179, p. 1, 18 set. 2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111346.htm. Acesso em: 24 maio 2025.

CASTIGLIONI, V. B. R. et al. Fases de desenvolvimento da planta de girassol. 1997.

CASTRO, C. et al. Uso de inoculantes à base de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 42, n. 9, p. 667–679, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/nVQrb6VggBk7yct3hgHhggx/?lang=pt>. Acesso em: 24 maio 2025.

DE MENEZES TRIGUEIRO, Rodrigo; GUERRINI, Iraê Amaral. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. 2003. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr64/cap13.pdf> Acesso em: 24 maio 2025.

DENG, Chao et al. Mecanismos moleculares de promoção do crescimento vegetal para *Bacillus aryabhattai* LAD metilotrófico. *Frontiers in Microbiology*, v. 13, p. 917382, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.917382> Acesso em: 24 maio 2025.

DONA, Chethika Gunasiri Wadumestrigi; FUKUSHI, Kensuke; MOHAN, Geetha. Reutilização de águas residuais tratadas e biossólidos na agricultura urbana: Viabilidade social de uma abordagem descentralizada para assentamentos carentes. *Environmental Challenges*, p. 101159, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101159> Acesso em: 24 maio 2025.

EID, Ebrahim M. et al. A aplicação monitorada de lodo de esgoto melhora a qualidade do solo, aumenta o crescimento das plantas e fornece evidências de remediação de metais por *Sorghum bicolor* L. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 21, n. 3, p. 2325-2338, 2021.

EMBRAPA. *A agricultura brasileira*. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/vii-plano-diretor/a-agricultura-brasileira>. Acesso em: 24 maio 2025.

EMBRAPA. *Prosa Rural: cultura do girassol, produção de biodiesel e outras utilidades*. [S. l.]: Embrapa, [2014]. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2444704/prosa-rural---cultura-do-girassol--producao-de-biodiesel-e-outras-utilidades>. Acesso em: 24 maio 2025.

EMBRAPA. *Rizobactérias*. [S. l.]: Embrapa, [2021]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/manejo/controle-alternativo/rizobacterias> Acesso em: 24 maio 2025.

ETESAMI, Hassan; JEONG, Byoung Ryong; GLICK, Bernard R. Potencial uso de *Bacillus* spp. como um bioestimulante eficaz contra estresses abióticos em culturas

agrícolas — Uma revisão. **Current Research in Biotechnology** , v. 5, p. 100128, 2023. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590262823000102> Acesso em: 24 maio 2025.

FERREIRA, Elisa Teófilo et al. Aprimoramento do crescimento e da fotossíntese de plantas com biofertilizantes provenientes do tratamento de esgoto. **Agronomia** , v. 15, n. 3, p. 610, 2025.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). *Esgotamento sanitário*. Brasília, DF: Funasa, 2017. Disponível em: <https://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Esgotamento+Sanit%C3%A1rio.pdf/8bf6a259-872e-4030-b3ca-af92689d8bd8?version=1.0>. Acesso em: 24 maio 2025.

GERMANO, M. G. et al. Sewage sludge-derived biofertilizers: Effects on sunflower growth and soil fertility. *Journal of Environmental Management*, [S. l.], v. 236, p. 194– 202, 2019.

GOMES, Jonath Werissimo da Silva. Uso de bio sólido em feijoeiro submetido a deficiência hídrica. [S.l.]: Universidade Estadual Paulista (Unesp), 25 nov. 2022.

GROSSI VANACORE, María Fiamma et al. Duplo papel do *Bacillus velezensis* EM-A8 no milho: biocontrole de *Exserohilum Turcicum* e melhoria do crescimento das plantas. **Plantas** , v. 14, n. 22, pág. 3464, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/14/22/3464> . Acesso em: 04/01/2025

HASAN, Mudassara et al. Influência do lodo de esgoto, *Rhizobium* e fungos micorrízicos arbusculares na absorção de nutrientes, crescimento, atributos fotossintéticos e bioquímicos em *Cicer arietinum* L. **Brazilian Journal of Botany** , v. 46, n. 4, p. 1161-1176, 2023.

HASHEM, M. S.; GUO, W.; QI, X.; LI, P. Assessing the effect of irrigation with reclaimed water using different irrigation techniques on tomatoes quality parameters. *Sustainability*, Basel, v. 14, n. 5, 2856, 2022.

HUNGRIA, M. *Inoculantes com rizobactérias promotoras de crescimento vegetal para as culturas do milho e do trigo: inovação tecnológica da Embrapa Soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2011. (Embrapa Soja. Documentos, 155). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1000585> Acesso em: 24 maio 2025.

ILANGUMURAN, G.; SMITH, D. L. Plant Growth Promoting Rhizobacteria in amelioration of salinity stress: a systems biology perspective. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v. 8, p. 1–14, 2017.). Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01768> Acesso em: 24 maio 2025.

JEYANTHI, V.; KANIMOZHI, S. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) – Prospective and mechanisms: a review. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, Bhopal, v. 12, n. 2, p. 777–789, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.22207/JPAM.12.2.34>.

KEJELA, T.; THAKKAR, V. R.; PATEL, R. R. A novel strain of *Pseudomonas* inhibits *Colletotrichum gloeosporioides* and *Fusarium oxysporum* infections and promotes germination of coffee. *Rhizosphere*, v. 4, p. 9–15, 2017. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2017Rhizo...4....9K/abstract> Acesso em 16 jul. 2025

KERBAUY, G. B. *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019. E-book. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788527735612/>. Acesso em: 16 jul. 2025.

KUMAR, V. et al. Combined use of sewage sludge and plant growth-promoting rhizobia improves germination, biochemical response and yield of ridge gourd (*Luffa acutangula* (L.) Roxb.) under field conditions. *Agriculture*, v. 12, n. 2, 173, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture12020173> Acesso em: 16 jul. 2025.

LU, C.; WANG, K. Natural resource conservation outpaces and climate change: roles of reforestation, mineral extraction, and natural resources depletion. *Resources Policy*, New York, v. 86, 104159, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104159> Acesso em: 16 jul. 2025.

MCPHERSON, G. *Statistics in scientific investigation: its basis, application, and interpretation*. New York: Springer-Verlag, 1990. ISBN 0-387-97137-8.

MELO, W. J. de et al. **Uso agrícola de biossólidos no Brasil: situação atual e perspectivas.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 40, e0150831, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/Nq4gncvxiKxvKJBhPn5WRRq/?lang=pt>. Acesso em: 24 maio 2025.

MIGRA AMBIENTAL. *Economia circular e saneamento: soluções sustentáveis*. [S. l.]: Migra Ambiental, [2023]. Disponível em: <https://migraambiental.com.br/economia-circular-e-saneamento/>. Acesso em: 24 maio 2025.

MUDD, G. M.; JOWITT, S. M.; WERNER, T. T. The world's lead–zinc mineral resources: scarcity, data, issues and opportunities. *Ore Geology Reviews*, Amsterdam, v. 80, p. 1160–1190, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.08.010>. Acesso em: 24 maio 2025.

MUN, B. G., HUSSAIN, A., PARK, Y. G., KANG, S. M., LEE, I. J., & YUN, B. W. (2024). The PGPR *Bacillus aryabhattai* promotes soybean growth via nutrient and chlorophyll maintenance and the production of butanoic acid. **Frontiers in Plant Science**, 15, 1341993. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1341993>. Acesso em: 24 maio 2025.

OLIVEIRA, G. Canavial com menos fósforo. *Revista Pesquisa FAPESP*, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/canavial-com-menos-fosforo/> Acesso em: 24 maio 2025.

PARK Y-G, MUN B-G, KANG S-M, HUSSAIN A, SHAHZAD R, SEO C-W, et al. (2017) *Bacillus aryabhattai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. **PLoS ONE** 12(3): e0173203. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173203> Acesso em: 24 maio 2025.

Processo de tratamento de esgotos. In: SABESP. [S. l.]: Sabesp, [2020]. Disponível em: <https://www.sabesp.com.br/o-que-fazemos/solucoes-para-esgotos/tratamento-esgotos/oprocesso-tratamento>. Acesso em: 24 maio 2025.

QIN, H. et al. Role of plant-growth-promoting rhizobacteria in plant machinery for soil heavy metal detoxification. *Microorganisms*, Basel, v. 12, n. 4, 700, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms12040700>.

RAMESH, A., SHARMA, S. K., SHARMA, M. P., YADAV, N., & JOSHI, O. P. (2014). Inoculation of zinc solubilizing *Bacillus aryabhattai* strains for improved growth, mobilization and biofortification of zinc in soybean and wheat cultivated in Vertisols of central India. **Applied Soil Ecology**, 73, 87-96

REIS, C. O. et al. Rizobactérias mitigam efeitos do déficit hídrico em milho. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 2062–2079, 2022.

RENGEL, Z. Availability of Mn in the rhizosphere and its role in plant physiology. *Plant and Soil*, v. 368, p. 1–23, 2015.

RONDON, O. H. S. et al. Agronomic characteristics correlation of sunflower genotypes grown in the second crop in the Cerrado. *Journal of Experimental Agriculture International*, Delhi, v. 36, n. 4, p. 1–9, 2019.

ROSYADY, M. G.; SUBAKTI, B.; KUSBIANTO, D. E. Effects of *Bacillus* sp. on the growth of immature plants in year 1 robusta coffee clones. *Journal of Soilscape and Agriculture*, v. 1, n. 1, p. 7–14, 2022.

SABESP. Sabesp Fertil: fertilizante alternativo. [S. l.]: Sabesp, [2022]. Disponível em: <https://www.sabesp.com.br/assets/images/folhetos/sabesp-fertil.pdf>. Acesso em: 24 maio 2025.

SENADO FEDERAL. VIGISAN. *Olhe os estados: diagnóstico da insegurança alimentar e da fome no Brasil*. Brasília, DF: Senado Federal, 2022. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/arquivos/2022/10/14/olheestados-diagramacao-v4-r01-1-14-09-2022.pdf> Acesso em: 24 maio 2025.

SANEPAR. *Destinação agrícola do lodo de esgoto*. Curitiba: Sanepar, [2021]. Disponível em: <https://www.sanepar.com.br/programas-e-projetos/destinacao-agricola-do-lodo-de-esgoto> Acesso em: 24 maio 2025.

SANTOS, Juliana Fernandes dos et al. Crescimento de girassol em função da inoculação de sementes com bactérias endofíticas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, p. 142-150, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000200008> Acesso em: 24 maio 2025.

JACOBI, Pedro Roberto; BUCKERIDGE, Marcos; RIBEIRO, Wagner Costa. Governança da água na Região Metropolitana de São Paulo-desafios à luz das mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 209-226, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.013> . Acesso em: 24 maio 2025.

SOARES, Verônica Aparecida Santos Ferreira et al. Uso de lodo compostado e bactérias solubilizadoras na disponibilidade de fósforo e produção de grão-de-bico. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/items/c5cef83d-6894-46e7-9d53-397de7ce16fa>. Acesso em: 24 maio 2025.

SOUZA, Cláudio Marcelo de et al. Análise de crescimento e produção de três genótipos de bananeira sob diferentes doses de biofertilizante nas condições edafoclimáticas de São Luís–Maranhão. 2007. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/jspui/handle/123456789/721> Acesso em: 24 maio 2025.

TAGHAVI, S. et al. Levantamento genômico e caracterização de bactérias endofíticas que apresentam efeito benéfico no crescimento e desenvolvimento de choupos. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, DC, v. 75, n. 3, p. 748–757, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.02239-08>.

TAIZ, L. et al. *Fundamentos de fisiologia vegetal*. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2021. E-book. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786581335113/>. Acesso em: 16 jul. 2025.

TSOTETSI, Teboho et al. Bacillus para promoção do crescimento vegetal e resiliência ao estresse: o que aprendemos?. **Plants** , v. 11, n. 19, p. 2482, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants11192482> Acesso em: 16 jul. 2025.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, v. 255, p. 571–586, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893> Acesso em: 16 jul. 2025.

VITOR, Gabriel Alves et al. Saúde e saneamento no Brasil: uma revisão narrativa sobre a associação das condições de saneamento básico com as doenças de veiculação hídrica. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento** , v. 10, n. 15, pág. e521101522913-e521101522913, 2021. Disponível em: doi.org/10.33448/rsd-v10i15.22913 Acesso em: 16 jul. 2025.

WARDLAW, A. C. *Practical statistics for experimental biologists*. Chichester: John Wiley and Sons, 1985. p. 1–302. ISBN 0-471-90737-5.