



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

JÚLIA MESSIAS BRESSAN CANDIDO

**APLICAÇÃO DA ÁGUA DE REUSO COMO COMPLEMENTO
NUTRICIONAL PARA O CRESCIMENTO DE *Helianthus*
annuus L.**

Bauru

2024

JÚLIA MESSIAS BRESSAN CANDIDO

**APLICAÇÃO DA ÁGUA DE REUSO COMO COMPLEMENTO
NUTRICIONAL PARA O CRESCIMENTO DE *Helianthus
annuus* L.**

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

2024

C217a

Candido, Júlia Messias Bressan

Aplicação da água de reuso como complemento nutricional para o crescimento de *Helianthus annuus* L. / Júlia Messias Bressan Candido.

-- Bauru, 2024

39 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências, Bauru

Orientadora: Inês Cechin

1. Fisiologia Vegetal. 2. Plantas Nutrição. 3. Adubos e Fertilizantes. 4. Águas Residuais como Fertilizantes. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

APLICAÇÃO DA ÁGUA DE REUSO COMO COMPLEMENTO NUTRICIONAL PARA O CRESCIMENTO DE *Helianthus annuus* L.

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.

Bauru, 13 de dezembro de 2023.

Comissão Examinadora:

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

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

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

AGRADECIMENTOS

À UNESP (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho), ao corpo docente, aos funcionários e a todos que contribuíram para a formação e para a realização deste trabalho.

À orientadora, Dra Inês Cechin, por todo o incentivo a ideias pertinentes ao experimento, todas as incríveis explicações desde antes mesmo do início do experimento, por toda a paciência durante este processo todo e, é claro, por todas as orientações e ensinamentos.

A todos os colegas de laboratório pela ajuda; em especial a Lucas, pela amizade e por toda a ajuda durante o experimento, e a Elisa, que além da amizade e de toda a ajuda no experimento, mostrou várias vezes o caminho das pedras antes mesmo de sermos oficialmente colegas de laboratório.

Agradeço à minha mãe, Rita, e ao meu pai, Fabricio, que sempre fizeram todo o possível para que eu tivesse acesso à melhor educação possível e a todas as ferramentas que puderam colocar em minhas mãos para que eu traçasse este caminho.

A toda a minha família: à tia-madrinha Valéria e ao primo-padrinho Thiago. Às tias Ana Cláudia e Carla. À prima Anna Clara, por tantas conversas, conselhos e ajuda durante a graduação. À minha avó Maria Augusta, que morre de orgulho de seus netos (e bisneto), e à tia-avó “Dita”, que tanto cuidou de todos nós; e aos meus avós Jurema, Fernando e Geny (*in memoriam*), que adorariam ter presenciado este momento. A todos os outros membros da família que passaram por essa trajetória conosco.

Aos amigos Rhayssa, Samuel, Julia, Larissa, Helena, Arthur, Nico, Gabriel (“Projeto”) e Leonel, pela amizade, risadas, momentos de descontração e desabafos que permitiram que chegássemos até aqui. Também às amigas Giovanna (“Zovanna”), Giovanna Adler, Mayumi, Raquel e Caroline, por todo o apoio, amor, carinho e cuidado, mesmo com a tão longa distância entre Bauru e Guarulhos.

RESUMO

A água é um recurso natural limitado. Com a expansão principalmente de atividades agrícolas e industriais, além da crescente população, o panorama é de aumento sem precedentes na demanda de água. A água de reuso proveniente do tratamento do efluente com microalgas é uma alternativa muito interessante para o plantio de espécies vegetais, devido ao fato de ser fonte não apenas de água, mas também de nutrientes essenciais para o desenvolvimento da planta. Isso se dá ao fato de que, mesmo considerando que elas se alimentam de parte dos nutrientes presentes na água de esgoto quando utilizadas no tratamento deste efluente, as microalgas não conseguem remover 100% destes nutrientes. A espécie *Helianthus annuus* L., popularmente conhecida como girassol, é uma espécie de elevada relevância comercial, como planta ornamental, na indústria alimentícia, e como fitorremediadora. Assim, o objetivo deste projeto de pesquisa foi analisar a eficácia da água de reuso como biofertilizante na cultura de plantas de girassol através da aplicação de 250 mL desta água nas plantas; em um segundo grupo, uma solução de água de reuso combinada com a solução nutritiva de Long Ashton a 20%; e compará-las com o grupo controle, que recebeu apenas solução de Long Ashton. A eficácia da água de reuso foi avaliada através de medições da altura das plantas e do diâmetro do caule na altura dos cotilédones, contagem do número de folhas por planta, dosagem dos pigmentos fotossintéticos, trocas gasosas e produção da massa seca da parte aérea. As plantas que foram irrigadas com a solução de Long Ashton a 20% preparada com água de reuso apresentaram um desenvolvimento superior em termos de massa seca, fotossíntese e eficiência instantânea do uso da água. Isso sugere que a água de reuso pode ser considerada como um suplemento nutricional viável. No entanto, em relação à altura das plantas, não houve um aumento significativo em comparação com as plantas controle, indicando que, embora a água de reuso seja uma alternativa nutricional promissora, ela também possui algumas limitações.

Palavras-chave: Nutrição vegetal, água de reuso, biofertilizante, girassol.

ABSTRACT

Water is a limited natural resource. With the expansion of agricultural and industrial activities, in addition to the growing population, the scenario is one of unprecedented increase in water demand. Reclaimed water obtained from treating effluent with microalgae presents a compelling option for cultivating plant species. This is because it serves as a source of both water and essential nutrients required for plant growth. Even when microalgae are employed to consume the nutrients present in sewage water during the treatment process, they cannot completely remove all of these nutrients. *Helianthus annuus* L. is a species of high commercial relevance, both as ornamental plants and for the food industry and for agriculture. Thus, the objective of this project was to analyze the effectiveness of the reuse water as a biofertilizer in the culture of sunflower plants through the application of 250 mL of this water on the plants; and in a second group, a solution combining reuse water and Long Ashton nutrient solution (20%); and to compare them to a control group, which will only receive the Long Ashton solution. The effectiveness of reuse water was evaluated by measuring the height of the plants and the diameter of the stems at the insertion of the cotyledons, by counting the number of leaves per plant, by quantifying photosynthetic pigments, gas exchanges and dry mass of the aerial portion of the plant. The plants irrigated with the 20% Long Ashton solution prepared with reclaimed water showed superior development in terms of dry mass, photosynthesis, and instantaneous water use efficiency. This suggests that reclaimed water can be considered a viable nutritional supplement. However, concerning the plant height, there was no significant increase compared to the control plants, indicating that while reclaimed water is a promising nutritional alternative, it also has some limitations.

Keywords: Plant nutrition, reclaimed water, biofertilizer, sunflower.

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 - ETE do distrito de Candeia, em Bauru	17
Imagem 2 - <i>Flat Panel</i> contendo microalgas	18
Imagem 3 - Bombona contendo microalgas	18
Imagem 4 - Medição de Fotossíntese	20
Imagem 5 - Plantas 26 dias após o plantio	23
Imagem 6 - Plantas 51 dias após o plantio	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Teor de Nutrientes

23

LISTA DE GRÁFICOS

Figura 1 - Altura (A), Diâmetro (B), Razão Folhas/Planta (C) e Razão Altura/Diâmetro (D)	25
Figura 2 - Partição da Massa Seca	27
Figura 3 - Razão Caule/Folha	28
Figura 4 - Medições das Trocas Gasosas	29
Figura 5 - Eficiência Instantânea do Uso da Água	30
Figura 6 - Clorofila Total	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA: Análise de variância simples

C_i : Concentração de CO₂ na cavidade subestomática

DAP: Dias após o plantio

EiUA: Eficiência Instantânea do Uso da Água

EUA: Estados Unidos da América

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto

LA: Solução Nutritiva de Long Ashton

Reuso + 20% LA: Solução Nutritiva de Long Ashton a 20% preparada com água de reuso

UASB: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 USO DA ÁGUA NO BRASIL E TRATAMENTO DE ESGOTO À BASE DE MICROALGAS	13
1.2 GIRASSOL	15
2 OBJETIVO	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 COLETA DA ÁGUA DE REUSO	17
3.2 MATERIAL VEGETAL	19
3.3 CONDIÇÕES DE CULTIVO	19
3.4 MEDIDAS DE CRESCIMENTO	19
3.5 MEDIDAS DE TROCAS GASOSAS E DETERMINAÇÃO DOS PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS	20
3.6 DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA DA PARTE AÉREA	21
3.7 DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES DA ÁGUA DE REUSO E FOLIARES	21
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5 CONCLUSÕES	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

Os fertilizantes químicos aumentam a produtividade e qualidade dos produtos agrícolas (Reetz, 2016). No entanto, se essa utilização for feita de forma indiscriminada, pode levar a diversos impactos ambientais como a acidificação ou a contaminação do solo por metais pesados (Isherwood, 2000). Eles também podem poluir rios, lagoas, represas ou até mesmo os lençóis freáticos, potencialmente inutilizando parte dos estoques de água doce, já tão prejudicados pelo crescente uso deste recurso. Além disso, nutrientes como o K e o P são provenientes de fontes esgotáveis, e a demanda pela produção sintética destes componentes é alta (Oliveira *et al.*, 2019). Portanto, formas de reutilizá-los, ao invés de extraí-los em maior quantidade ou produzi-los de forma sintética são importantes maneiras de reduzir o custo deste processo. Devido à grande demanda por água por parte da população em crescimento, existe grande preocupação em reutilizar a água de reuso para economizar água potável e fertilizantes agrícolas; uma vez que na água de reuso encontram-se ainda nutrientes minerais fundamentais para o crescimento das plantas.

1.1 USO DA ÁGUA NO BRASIL E TRATAMENTO DO ESGOTO À BASE DE MICROALGAS

O uso consuntivo da água no Brasil consome aproximadamente 61,46 trilhões de litros por ano, sendo metade deste total utilizada para a irrigação agrícola; e projeções para o ano de 2040 indicam que há tendência de crescimento da demanda por água neste setor (ANA, 2020).

Em locais áridos e semiáridos, que representam estimados 16% do total das terras, o que corresponde a aproximados 22 milhões de km² (Turan *et al.*, 2023), há o risco de deficiência hídrica nas culturas, o que leva à diminuição da produção de biomassa e da produção de grãos (Upadhyay *et al.*, 2020).

Estas condições podem ser intensificadas pela ação antrópica, uma vez que desde 1960, as ações antropogênicas têm sido detectadas tanto no aquecimento da atmosfera quanto nas mudanças no ciclo global da água, segundo relatório do IPCC (2014). As alterações na precipitação e no derretimento da neve e de gelo afetam a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos disponíveis, e, em um mundo em aquecimento, as alterações na precipitação não ocorrerão de maneira uniforme (IPCC, 2014).

Os extremos climáticos atuais evidenciam a vulnerabilidade do sistema produtivo agrícola. Com o aumento do aquecimento no século XXI, mais áreas no mundo enfrentarão casos de escassez de água, e as áreas rurais sofrerão impactos na disponibilidade e fornecimento

da água, além da segurança alimentar, infraestrutura e renda agrícola, com mudanças nas áreas de produção de alimentos e de culturas não alimentares ao redor do mundo (IPCC, 2014).

Neste contexto, alternativas como a água de reuso, opção que reaproveita a água descartada suprimindo parte desta demanda e reduzindo a necessidade de se retirar mais água limpa de suas fontes, e que podem ser usadas na irrigação de áreas com deficiência hídrica mostram-se fundamentais.

Devido ao crescente aumento da população, há grande produção anual de esgoto. A água poluída apresenta características indesejáveis como alta carga de matéria orgânica, nutrientes minerais, substâncias tóxicas, fármacos, metais pesados, entre outros, a depender de sua origem. Um dos grandes desafios da atualidade é o descarte correto do esgoto, o qual exige tratamento adequado seguindo as normas da Legislação Ambiental (Brasil, 2005; Brasil, 2011 e CONAMA N° 430/2011) antes que possa ser descartado para o meio ambiente. Isso é feito através da construção de Estações de Tratamento de Esgoto, cuja finalidade é remover os contaminantes presentes no esgoto através de processos físicos, químicos e biológicos. A Legislação Ambiental também estabelece normas para o uso da água de reuso na irrigação de culturas (Brasil, 2021).

O tratamento de esgoto à base de microalgas é um método promissor para recuperação de nutrientes e tratamento de águas residuais previamente tratadas anaerobicamente, pois retém a maior parte dos nutrientes para seu crescimento (Zeeman *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2019; Slompo *et al.*, 2019). As microalgas podem ajudar na desinfecção variando o pH e melhorando a qualidade do efluente (De Wilt *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2019; Ruas *et al.*, 2021). Além disso, oferecem outras vantagens sobre as alternativas convencionais de tratamento como, por exemplo, alta taxa de fixação de carbono atmosférico, rápida produção de biomassa e remoção concomitante de poluentes (Shahid *et al.*, 2020). As microalgas podem utilizar compostos inorgânicos como o N e o P para seu crescimento; sendo sua eficácia de remoção de nutrientes de até 90% (Abdel-Raouff *et al.*, 2012; Acién *et al.*, 2018; Moges *et al.*, 2020). Segundo Denora *et al.* (2023), reutilizar água tratada para irrigação oferece diversos benefícios, como aumento da lucratividade para os agricultores, redução da necessidade de fertilizantes caros devido à água rica em nutrientes, e preservação dos recursos hídricos. No entanto, também apresenta desafios relacionados à salinidade do solo, riscos à saúde humana por patógenos e metais pesados, e considerações sociais e econômicas. Estudo recente desenvolvido em paralelo ao presente projeto (dados não publicados) mostram ausência de *Escherichia coli*, baixa quantidade de coliformes totais e de metais pesados nas microalgas utilizadas no tratamento do esgoto, todos abaixo do limite exigido. A água de reuso resultante do tratamento com as microalgas contém nutrientes valiosos para o desenvolvimento vegetal e constitui uma fonte segura para utilização na agricultura.

Adiciona-se a estas condições o fato de que, mundialmente, observa-se há mais de uma década o aumento da utilização da água de reuso. Nos EUA, por exemplo, estima-se que 2.6 bilhões de galões de água são utilizados por dia (Miller, 2006).

1.2 GIRASSOL

Helianthus annuus L. é uma Eudicotiledônea da família Asteraceae, anteriormente chamada de Compositae. Possuem inflorescência do tipo capítulo, com flores do raio diferenciadas das flores do disco. Esta espécie é nativa do continente Americano e foi domesticada na região do México e do sudoeste dos EUA. Sua relevância se deve à sua versatilidade de utilização: na alimentação animal, os girassóis são fontes de sementes consumidas in natura ou na forma de ração; podem ser utilizados na forragem e na silagem e são fitorremediadores eficazes na remoção de cobre do solo (Tavares *et al*, 2013), além de apresentarem resultados positivos quando aplicados para a biorremediação de solo poluído por lodo de esgoto contendo metais (Bayat *et al*, 2021). As sementes desta espécie são importantes na produção de óleo vegetal, representando 9% da produção mundial neste setor e estando entre as quatro principais culturas destinadas a este fim (Ates e Bukowski, 2022). É uma espécie cujo crescimento inicial é lento, e cerca de 25 a 30 dias após o plantio (DAP) esse crescimento se torna acelerado (Castiglioni *et al.*, 1994; Schneiter e Miller, 1981).

2 OBJETIVO

O objetivo do projeto foi analisar a eficácia da utilização da água de reuso como biofertilizante para o crescimento de *Helianthus annuus* L. cv. Multissol, a fim de fornecer informações sobre os potenciais benefícios e limitações da utilização da água de reuso como biofertilizante e como alternativa para a irrigação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA DA ÁGUA DE REUSO

Esgoto sanitário foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do distrito de Candeia, em Bauru-SP (22°16'01.6"S 49°05'12.4"W), ilustrada na Imagem 1, e recebeu tratamento anaeróbico em reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) com o intuito de reduzir a matéria orgânica, presente em grandes quantidades.

Imagem 1: ETE do distrito de Candeia, em Bauru. Local de coleta do esgoto utilizado para a produção da água de reuso.



Fonte: Autoral

O efluente foi usado como meio de cultivo de microalgas, em fotobiorreator *flat panel*, ilustrado abaixo na Imagem 2, de volume total 64 litros e volume operado de 50 litros, localizado no Laboratório de Águas, Águas Residuais e Reuso, no departamento de Engenharia do campus de Bauru da UNESP. No inóculo de microalgas utilizado foram identificadas microalgas dos gêneros *Chlorella*, *Cyanobium*, *Desmodesmus*, *Chlamydomonas* e *Tetradismus* (gênero predominante). Na última semana de cultivo, além da prevalência do gênero *Tetradismus*, foi observada a presença de clorofíceas menos predominantemente.

Imagem 2: *Flat Panel* contendo microalgas. Obtenção da água de reuso através do tratamento com microalgas do efluente.



Fonte: Autoral

Durante o cultivo das microalgas, retirou-se 7,5 L do efluente contido no *flat panel*, que foi então transferido para bombonas de 200 L, e o *flat panel* recebeu novamente 7,5 L de esgoto sanitário previamente tratado anaerobiamente; sendo este processo repetido três vezes por semana até que se obteve a quantidade necessária de efluente. Após o enchimento das bombonas de 200 L, adicionou-se tanino, para efetuar a separação da água de reuso das microalgas. Após a decantação das microalgas, a água de reuso foi coletada e armazenada sob refrigeração até o início do cultivo, quando foi usada no cultivo das plantas de girassol (Imagem 3).

Imagem 3: Bombona contendo microalgas.



Fonte: Autoral

3.2 MATERIAL VEGETAL

Foram utilizadas sementes de *Helianthus annuus* L. cv. Multissol, desenvolvidas em 2004 pelo Departamento de Sementes, Mudanças e Matrizes/CATI (Coordenadoria de Assistência Técnica Integral); tratando-se de um derivado do cultivar Catissol 01, de ciclo vegetativo entre 60 e 130 dias e de utilização focada na adubação verde, silagem e fornecimento de sementes.

3.3 CONDIÇÕES DE CULTIVO

As sementes foram semeadas em vasos plásticos de 4 litros contendo vermiculita de granulação média, uma vez que este é um substrato inerte, com nenhum nutriente, o que permitiu a análise da eficácia da água de reuso como fonte de nutrientes. Este experimento foi conduzido na casa de vegetação de policarbonato alveolar com condições semi-controladas de temperatura e umidade (ventiladores e sistema humicool) próxima ao Departamento de Ciências Biológicas do Campus de Bauru da UNESP. Uma semana após a semeadura, foi efetuado o desbaste, deixando-se apenas uma planta em cada vaso. Durante o período experimental, que durou 51 dias, as médias de temperatura na casa de vegetação foram de 18,5 °C (mínima) e 32,0 °C (máxima).

As plantas foram divididas em três grupos: o grupo controle, que recebeu solução de Long Ashton a 20%, um grupo que recebeu solução de Long Ashton (LA) a 20% preparada com água de reuso e um grupo que recebeu apenas água de reuso. A solução nutritiva de Long Ashton 20% foi preparada segundo Hewitt, 1966. Em cada grupo foram aplicados 250 mL por vaso das respectivas soluções. As aplicações foram iniciadas junto ao plantio, e continuaram 3x por semana durante o período experimental; quando necessário, as plantas foram regadas com 200 mL de água de torneira.

3.4 MEDIDAS DE CRESCIMENTO

A partir de 26 dias após o plantio, foram efetuadas medições semanais da altura das plantas a partir do nível do substrato até o último nó visível; além das medições do diâmetro do caule, efetuadas com o uso de um paquímetro digital (KingTools) a partir do ponto de inserção dos cotilédones, e da contagem do número de folhas emergidas produzidas por planta.

3.5 MEDIDAS DE TROCAS GASOSAS E DETERMINAÇÃO DOS PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS

Para analisar os pigmentos fotossintéticos, três discos, de área igual a $1,68 \text{ cm}^2$, foram coletados de cada planta, homogeneizados com acetona 80% em um almofariz. Então, foram centrifugados a 5000 rpm por 5 minutos e o sobrenadante foi transferido para balão volumétrico de 10 mL. Com o uso de espectrofotômetro (NANOCOLOR® UV/VIS II), foram feitas leituras de absorbância nos comprimentos de onda 663 nm, 647 nm e 470 nm, a partir das quais se calculou a concentração de clorofila *a* e *b* através das fórmulas de Lichtenthaler (1987) e o conteúdo expresso em g m^{-2} . Estas análises ocorreram apenas no meio e ao final do período experimental, por serem análises destrutivas.

Medidas semanais de fotossíntese (Imagem 4) foram feitas através do uso de analisador de gás por infravermelho portátil (LCpro, ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, UK) na folha mais jovem totalmente expandida; mediu-se a fotossíntese, a condutância estomática, a transpiração e a concentração de CO_2 na cavidade subestomática. As medidas foram feitas dentro da casa de vegetação, semanalmente, entre 8 e 10h da manhã, nas condições ambientes de temperatura, pressão do vapor d'água no ar e pressão parcial de CO_2 . Radiação fotossinteticamente ativa, na intensidade de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, foi suprida por lâmpada acoplada à câmara foliar até que se atingisse a taxa fotossintética no estado estacionário. A eficiência instantânea do uso da água foi determinada através da relação taxa fotossintética/taxa transpiratória.

Imagem 4: Medição de Fotossíntese. Utilização do Analisador de Gás por Infravermelho Portátil



Fonte: Autoral

3.6 DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA DA PARTE AÉREA

Ao final do experimento, foi efetuada a coleta da parte aérea das plantas e a separação das folhas, inflorescências e caules; sendo estas partes armazenadas em sacos de papel e secas na estufa de circulação forçada, a 65°C, até a obtenção da massa constante. A massa seca de cada uma das partes delas foi determinada com o uso de balança de precisão.

3.7 DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES DA ÁGUA DE REUSO E FOLIARES

O teor de nutrientes foliares foi determinado em folhas secas em estufa de circulação forçada a 65°C e finamente trituradas em moinho usando-se o método semi-micro-Kjeldahl, após digestão sulforosa de acordo com Malavolta *et al.* (1997). Amostras da água de reuso e das folhas foram enviadas para o Departamento de Solos e Recursos Ambientais, no campus de Botucatu da UNESP, para análise de nutrientes; foram determinados macronutrientes primários e secundários (respectivamente N, P₂O₅ e K₂O; e Ca, Mg e S) e micronutrientes (Na, B, Cu, Fe, Mn e Zn).

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram analisados através da Análise de Variância simples (ANOVA), usando o software SPSS/PC 9.0 para Windows, e um teste de múltipla comparação foi usado para analisar mudanças quantitativas nas variáveis de modo a comparar e determinar as diferenças entre os tratamentos. O nível de significância foi de 5%. Utilizou-se o teste *Games-Howell* para as variâncias iguais não presumidas e, para as variâncias iguais presumidas, o teste de diferença mínima significativa. As análises estatísticas para o número de folhas foram realizadas após transformação dos valores das amostras em $\sqrt{x+0.5}$ segundo McPherson (1990) e Wardlaw (1985). Para a construção dos gráficos foram utilizados os valores reais. Os gráficos foram gerados através do programa OriginPro 8.5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de nutrientes na água de reuso (Tabela 1) mostra a presença de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Na, B, Cu e Fe. Deve-se fazer a ressalva que a testagem da água de reuso foi efetuada ao final do período experimental, com a água tendo ficado armazenada sob refrigeração por um período extenso após sua coleta. Isso pode explicar o fato de não terem sido detectados Mg, S, Mn e Zn na água de reuso, mas sim nas folhas das plantas que receberam apenas água de reuso durante o experimento, e nas plantas do grupo água de reuso +20% LA, cuja análise do teor de nutrientes ocorreu logo ao final do período de plantio.

Fatores como a presença de íons fisiológicos e a presença ou ausência de óxidos de superfície são capazes de alterar a taxa de degradação do Mg (Johnson e Liu, 2013). Além disso, o tempo passado em armazenamento, no qual podem ter ocorrido reações de degradação das moléculas que continham estes nutrientes, ou interações com potenciais microrganismos presentes na água de reuso ou nos galões plásticos onde ela ficou armazenada, como por exemplo a oxidação mediada por esses microrganismos, podem ter influenciado o resultado.

É interessante notar que, nas microalgas utilizadas para o tratamento do efluente do esgoto, resultando na água de reuso utilizada neste estudo, os níveis de metais pesados encontram-se abaixo do limite aceitável estabelecido pela legislação (FAPESP Processo 2022/11514-4; dados não publicados). Dessa forma, a água de reuso utilizada nas plantas de girassol não apresenta riscos. As plantas que receberam somente água de reuso apresentaram teores foliares menores de K, Ca, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na que as plantas controle (Tabela 1), mas um teor maior de Mg. No entanto, os teores foliares de N, B e Zn das plantas que foram supridas com água de reuso + 20% LA foram superiores que os do controle. Os nutrientes N, B e Zn possuem funções específicas bem conhecidas: o nitrogênio participa da composição de aminoácidos, nucleotídeos, ácidos nucleicos, clorofilas e coenzimas; o boro interfere na síntese de ácidos nucleicos, na integridade da membrana e na estabilidade da parede celular e o zinco participa da ativação e da composição de enzimas (Evert, 2014). Comparando-se os teores de nutrientes foliares das plantas crescidas sob água de reuso + 20% LA com os das plantas que receberam apenas água de reuso observa-se que os teores de K, B, Cu, Fe, Mn são superiores que os das plantas supridas apenas com água de reuso, mas o teor de Na é menor. O Na é um nutriente essencial para as plantas C₄ porque está envolvido na recuperação do fosfoenolpiruvato e na síntese de clorofila (Murata *et al*, 1992; Ando *et al*, 1990; Subarao *et al*, 2003), não sendo essencial para a maioria das plantas C₃.

Tabela 1 - Teor de Nutrientes. Teor em g L⁻¹ de micro e macronutrientes encontrados na água de reuso, segundo teste do tipo Vinhaça efetuado em amostras de 500 mL mantidas sob refrigeração; teor em g L⁻¹ de micro e macronutrientes encontrados na solução de Long Ashton a 20%; e teor de nutrientes foliares em g kg⁻¹ e mg kg⁻¹. ND: Não detectado. *Teor analisado de P₂O₅. **Teor analisado de K₂O.

Nutrientes	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Soluções	g L⁻¹						mg L⁻¹					
Água de Reuso	0,02	0,02*	0,04**	0,22	ND	ND	10	1	2	ND	ND	76
	g L⁻¹											
L. A. 20%	22,6	8,2	31,2	32	7,2	48,8	0,11	0,013	0,10	0,11	0,0013	12,4
Foliares	g kg⁻¹						mg kg⁻¹					
Grupo Controle	20,5	2,6	32	14	10,3	1,65	55	9,5	123,5	112,5	17	110
Grupo Reuso	21,5	3	27,5	11,5	18,55	1,25	33,5	5	89	79	9	100
Grupo Reuso+20%	22	2,95	32	11,5	11,8	1,2	61	9,5	110,5	97,5	20	80

A observação durante o período mostrou que, desde os estágios iniciais (Imagem 5), o grupo que recebeu apenas água de reuso apresentou menor crescimento, tanto em altura quanto em espessura do caule. Além disso, foi observado retardamento da senescência dos cotilédones de grande parte das plantas de girassol deste grupo em relação ao que foi observado nos outros dois grupos, o que pode ter ocorrido devido à menor taxa de crescimento das plantas deste grupo, sugerindo que o conteúdo dos cotilédones demorou mais tempo para ser exaurido do que nos outros dois grupos.

Imagem 5: Plantas 26 dias após o plantio. Da esquerda para a direita: grupos controle, água de reuso + 20% LA e água de reuso



Fonte: Autoral

A observação e as medições (espessura do caule e altura) ao longo do período de cultivo confirmaram essa observação inicial do menor crescimento em altura e em espessura do grupo que só recebeu água de reuso (Imagem. 6). Já o grupo que recebeu água de reuso + 20% LA, que demonstrou a eficiência da água de reuso como complemento nutricional, foi o que mais se desenvolveu dentre os três grupos analisados. Já foi observado que o comprimento dos entrenós pode ser afetado pela deficiência de Ca e K em espécies como o sorgo e o milho (Vasilas *et al*, 1988; Murtadha *et al*, 1989), o que pode explicar as diferenças observadas. As plantas que foram cultivadas apenas com água de reuso apresentaram teor de Zn menor que as demais plantas (Tabela 1). Uma deficiência em Zn afeta negativamente o comprimento dos entrenós e o tamanho das folhas (Evert, 2014). No entanto, nas plantas que foram cultivadas com água de reuso + LA, o teor de Zn e de N foram superiores aos do controle (Tabela 1) confirmando a influência destes dois nutrientes no desenvolvimento das plantas.

Imagem 6: Plantas 51 dias após o plantio. Da esquerda para a direita: grupos controle, água de reuso + 20% LA e água de reuso



Fonte: Autoral

A Figura 1A mostra que as diferenças entre os tratamentos em relação à altura começam a ser significativas 38 dias após o plantio. O grupo que recebeu o tratamento de água de reuso + 20% LA teve o crescimento em altura bastante similar ao do grupo controle. O grupo que recebeu apenas água de reuso apresentou, a partir do terceiro dia de medição, uma diferença significativa em altura em comparação com os outros grupos. Essa diferença se mantém até o final das medições, resultando em plantas visivelmente menores do que as plantas dos outros dois grupos.

Em relação ao diâmetro (Fig. 1B), nota-se que durante o período experimental praticamente não houve diferença significativa entre o diâmetro das plantas controle e das plantas que receberam água de reuso + 20% LA. Já as plantas cultivadas apenas com água de

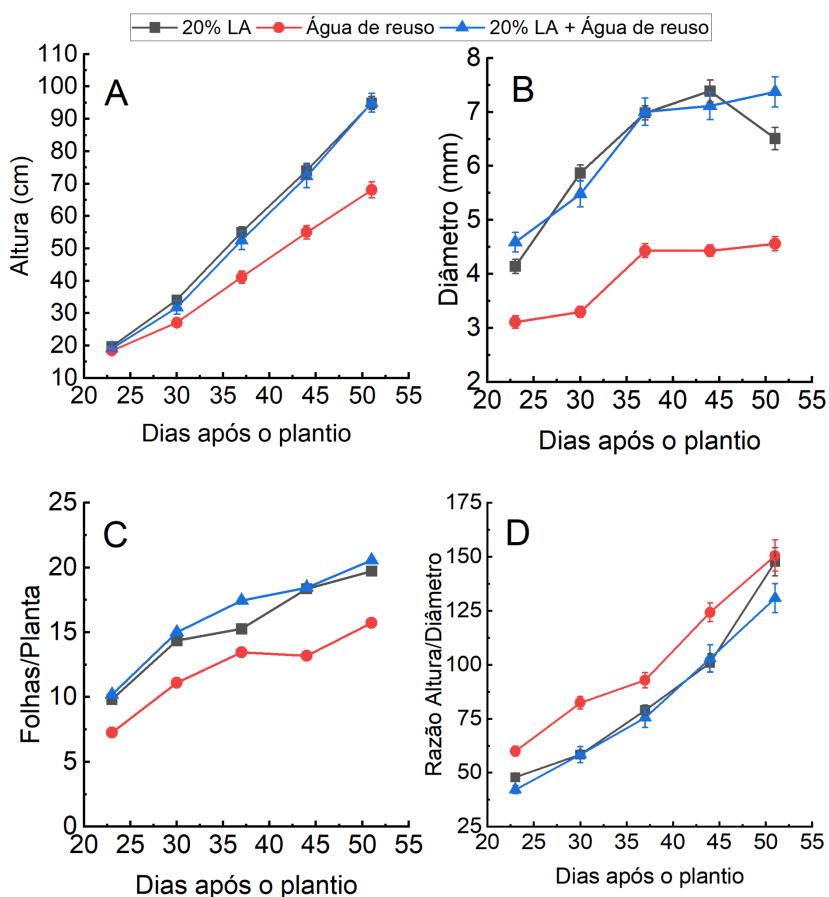
reuso apresentaram diâmetro menor que as demais plantas ao longo do período experimental.

O número de folhas produzidas por planta aumentou nos três grupos de plantas ao longo do período experimental (Fig. 1C), mas não houve diferença significativa entre as plantas controle e as que receberam água de reuso + 20% LA. No entanto, as plantas cultivadas apenas com água de reuso produziram menos folhas por planta.

Nota-se que o diâmetro do grupo que recebeu apenas água de reuso (Fig. 1B) permaneceu relativamente constante a partir de 37 dias após o plantio; enquanto a altura (Fig. 1A) continuou a aumentar, explicando o aumento da razão (Fig. 1D). Esse aumento ao longo do período indica que o aumento em altura sempre foi superior ao aumento em diâmetro, o que explica os caules finos e frágeis encontrados neste grupo. Nos grupos controle e água de reuso + 20% LA, a razão permaneceu inferior; indicando os caules mais grossos em comparação com o grupo que recebeu apenas água de reuso.

O grupo que recebeu apenas água de reuso apresentou uma maior razão entre a altura e o diâmetro do caule mostrando que a proporção do investimento em diâmetro do caule e altura não foi constante durante o desenvolvimento da planta; provavelmente devido à maior escassez de nutrientes em comparação com os outros dois grupos.

Figura 1: Altura (A), Diâmetro (B), Razão Folhas/Planta (C) e Razão Altura/Diâmetro (D). Valores são as médias $\pm$ erro padrão de 10 repetições.

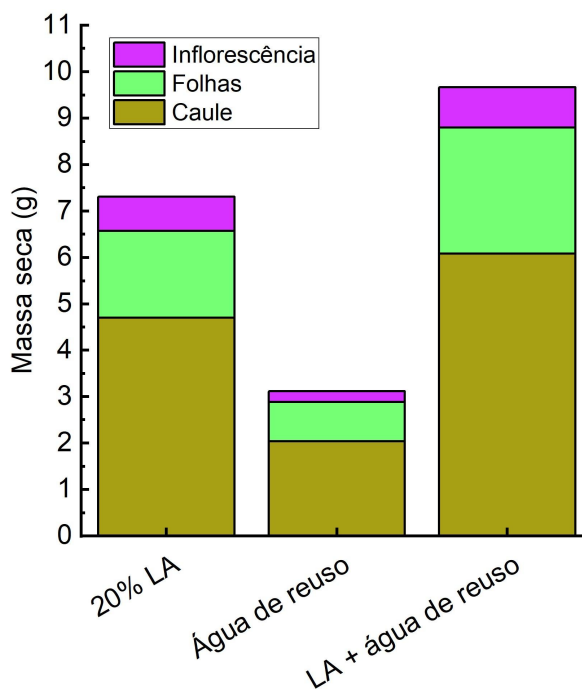


Os dados obtidos em relação à partição da massa seca da parte aérea das plantas de girassol (Fig. 2) mostram que o grupo que recebeu apenas reuso produziu cerca de 42,5% da massa seca da parte aérea do grupo controle; com o caule representando cerca de 90% da parte aérea. Para o grupo controle, o caule representou cerca de 63,8% do total. Os resultados obtidos mostram que há nutrientes na água de reuso; entretanto, não são suficientes para o desenvolvimento pleno das plantas de girassol.

As plantas que receberam água de reuso + 20% LA produziram aproximadamente 32,5% a mais de massa seca na parte aérea em comparação com as plantas do grupo controle (Fig. 2). Essa diferença distribuiu-se principalmente no caule (62,9%), seguido pelas folhas (28%) e pelas inflorescências (8,9%). A adição de água de reuso na solução nutritiva de Long Ashton 20% resultou num teor maior de nitrogênio disponível para as plantas. A Tabela 1 mostra que o teor de nitrogênio foliar foi levemente superior nas plantas que cresceram sob água de reuso + 20% LA quando comparado com o grupo controle. Maior suprimento de nitrogênio para as plantas resulta em maior investimento em massa seca da parte aérea (Cechin; Valquilha, 2019), principalmente em folhas.

Plantas cultivadas sob um teor mais elevado de nitrogênio apresentam uma taxa mais alta de deposição total de nitrogênio na zona de crescimento das folhas do que aquelas sem suprimento de nitrogênio, sugerindo que a taxa de expansão foliar é muito sensível às concentrações de nitrogênio nas zonas de divisão e expansão celular (Gastal; Nelson, 1994; Roggatz *et al.*, 1999). Estudos também mostram que um maior suprimento de nitrogênio resulta em maior espessamento do caule (De Brito *et al.*, 2020; Ozer *et al.*, 2004). Em experimento paralelo (FAPESP Processo 2022/11514-4; dados não publicados), o aumento da quantidade de nitrogênio via adição de microalgas usadas para tratamento de esgoto levou a um maior investimento na produção de folhas e ao espessamento do caule em plantas de girassol, sendo a maior produção de folhas tanto em número quanto em massa seca um fator que pode ter interferido no espessamento do caule em detrimento do crescimento em altura para fornecer resistência mecânica à planta. No presente estudo, não houve diferença significativa entre o controle e as plantas que receberam água de reuso + 20% LA em relação à altura, diâmetro do caule e número de folhas produzidas (Fig. 1A, B e C). No entanto, a produção de massa seca da parte aérea foi superior nas plantas cultivadas sob água de reuso + 20% LA (Fig. 2).

Figura 2 - Partição da Massa Seca da Parte Aérea. Valores são as médias $\pm$ erro padrão de 10 repetições

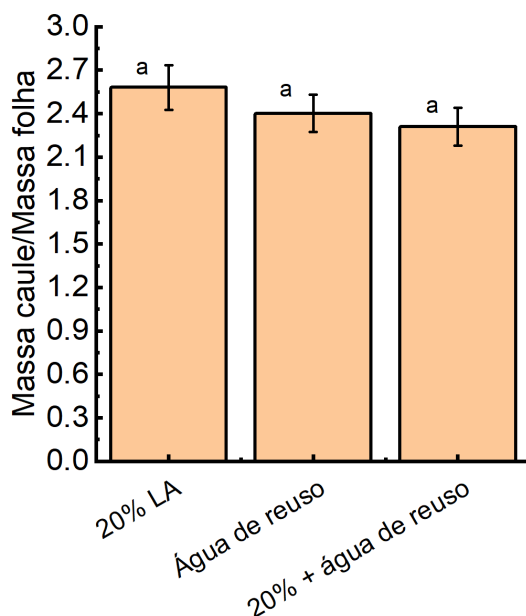


Fonte: Autoral

Ao analisar a razão entre a massa seca dos caules e a massa seca das folhas das plantas de girassol, é possível observar que o menor valor obtido é o do grupo água de reuso + 20% LA. Isso indica que, dos três tratamentos, foi o que investiu mais em produção de folhas em relação à massa do caule; entretanto, a razão não diferiu estatisticamente dos outros grupos.

O grupo que recebeu apenas água de reuso também investiu mais em folhas em relação ao caule. A deficiência nutricional deste grupo fez com que a demanda por energia aumentasse, justificando esse maior investimento na produção de folhas; diferentemente do que se observa com o grupo controle, onde houve maior investimento em caule do que em folhas em comparação com os outros dois grupos (Fig. 3).

Figura 3: Razão da Massa Seca Caule/Folha. Razão entre a massa seca dos caules e massa seca das folhas para cada tratamento. Diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos são representadas por letras minúsculas diferentes. Valores representam média $\pm$ erro da média de 10 repetições.



Fonte: Autoral

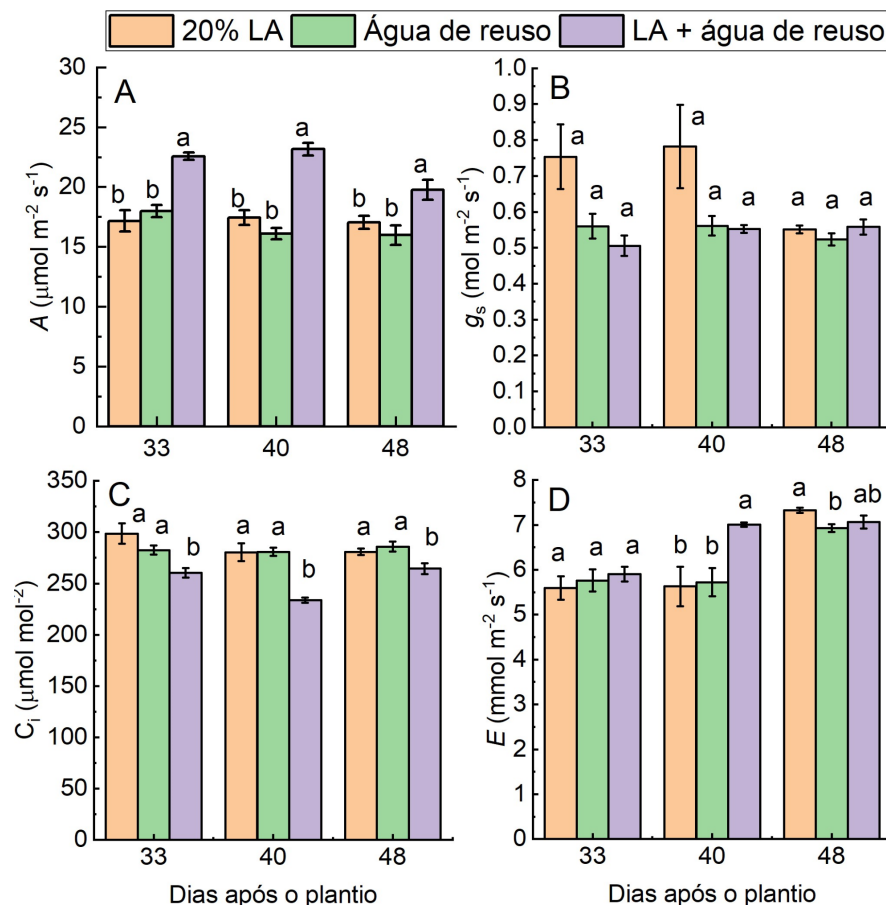
A Figura 4A mostra que as plantas que foram cultivadas com água de reuso + 20% LA apresentaram um aumento na taxa fotossintética quando comparado com os demais tratamentos. Este aumento se manteve ao longo do período experimental. Altos níveis de clorofila são essenciais para a fotossíntese nas plantas. O fornecimento adequado de nutrientes, principalmente N e Mg, é necessário para a síntese da clorofila, pois fazem parte da molécula. Os três grupos de plantas não diferiram significativamente entre si em relação à condutância estomática (Fig. 4B).

A concentração de CO_2 na cavidade subestomática depende da condutância estomática, da condutância do mesofilo das cavidades subestomáticas até os cloroplastos e dos processos metabólicos. Se a condutância de CO_2 for o único fator que limita a fotossíntese, seria de se esperar que C_i diminuísse devido à remoção de CO_2 dos espaços intercelulares e à diminuição do suprimento através dos estômatos. É interessante notar que para a concentração de CO_2 na cavidade subestomática, o grupo que recebeu água de reuso + 20% LA apresentou menor valor. Como não houve alteração significativa na condutância estomática, isso sugere que as plantas cultivadas com água de reuso + 20% LA apresentaram maior remoção de CO_2 da cavidade subestomática pelo processo de fotossíntese nas plantas deste grupo. Os grupos controle e apenas água de reuso não apresentaram diferença significativa entre si.

Geralmente, as mudanças na condutância estomática se refletem nas variações da taxa de transpiração medida. Uma vez que a condutância estomática não apresentou diferenças

significativas entre os tratamentos, o mesmo padrão foi observado na taxa de transpiração.

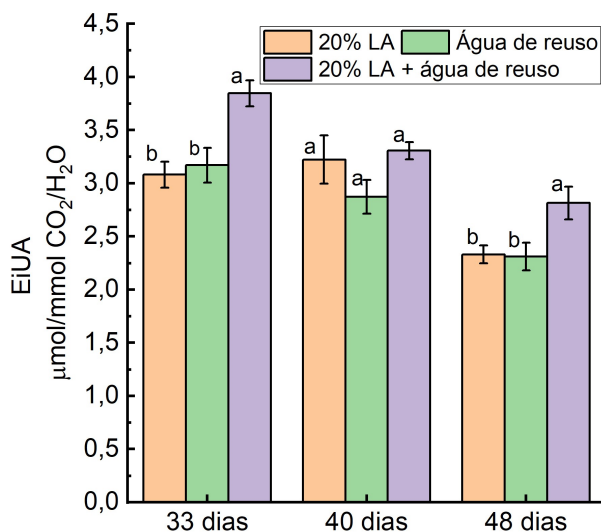
Figura 4: Dados de Fotossíntese (A), Condutância Estomática ao CO₂ (B), Concentração de CO₂ na cavidade subestomática (C) e Transpiração (D). Valores representam média $\pm$ erro da média de 10 repetições. Diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos em cada medição são representadas por letras minúsculas diferentes (“a” e “b”).



Fonte: Autoral

A eficiência instantânea do uso da água, que indica quanto de carbono foi fixado por unidade de água transpirada pela planta (Fig. 5), os dados mostram que a água de reuso como única fonte nutricional leva a resultados muito parecidos com o cultivo de *H. annuus* em solo pobre. O grupo que recebeu água de reuso +20% LA foi o que apresentou maior eficiência no uso da água, e isso se observou desde o início do plantio, com os resultados sendo muito maiores do que os outros dois grupos desde o início. A maior EiUA é resultado de um estímulo do tratamento na taxa fotossintética sem praticamente alterar a taxa de transpiração.

Figura 5: Eficiência instantânea do uso da água (EiUA) em plantas de girassol. Valores representam média $\pm$ erro da média de 10 repetições. Diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos são representadas por letras minúsculas diferentes (“a” e “b”).

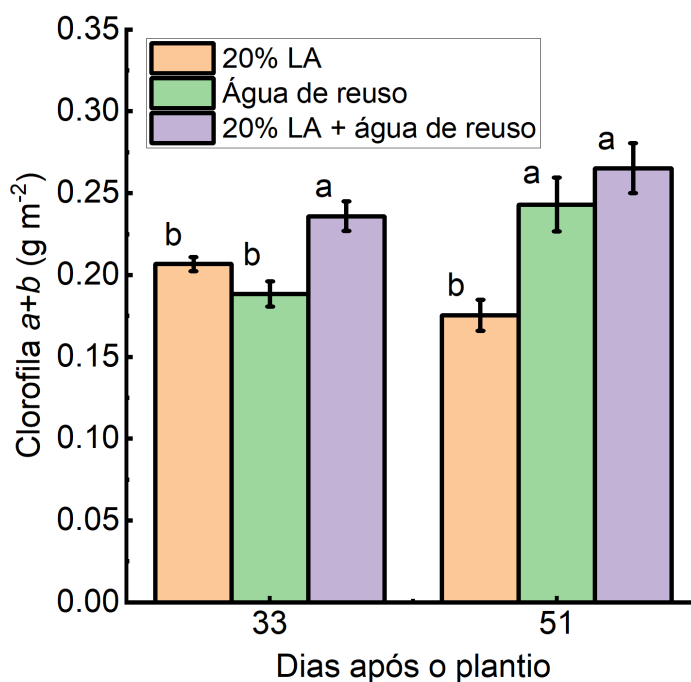


Fonte: Autoral

Entre os nutrientes minerais, o nitrogênio destaca-se por ser um constituinte essencial dos aminoácidos, ácidos nucleicos e das proteínas, além de fazer parte do aparato fotossintético. Cerca de 65% do nitrogênio foliar é encontrado nos cloroplastos (Brown, 1978; Hak *et al*, 1993), grande parte na forma de Rubisco. Níveis adequados de clorofila são essenciais para uma taxa fotossintética adequada nas plantas. O suprimento adequado de nutrientes, especialmente nitrogênio e magnésio, é necessário para a síntese de clorofila, já que eles fazem parte da molécula. A análise de clorofila total (Fig. 6) mostra que o grupo água de reuso + 20% LA apresentou, em ambas as medições, o maior teor de clorofila *a* e *b*. Na primeira medição, o grupo que recebeu apenas água de reuso apresentou o menor dos três resultados, com menos clorofila *a* e *b* do que os outros dois grupos de tratamento, mas não apresentando diferença significativa em relação ao grupo controle.

Entretanto, na segunda medição, nota-se aumento considerável no teor de clorofila total no grupo reuso, que aproxima do valor apresentado pelo grupo água de reuso + 20% LA, sem diferença significativa entre os dois grupos neste momento; apontando diferença apenas dos dois grupos com água de reuso em relação ao grupo controle. Embora o conteúdo de nitrogênio na água de reuso seja muito baixo, o conteúdo nas folhas das plantas que receberam água de reuso + 20% LA apresentaram um nível superior aos demais tratamentos (Tabela 1). Isso explica o conteúdo maior de clorofila nestas plantas (Figura 6) e a maior taxa de fotossíntese (Fig. 4A). Conforme observado na Figura 6, as plantas que receberam água de reuso + 20% LA apresentaram um teor mais alto de clorofila que os demais grupos de plantas.

Figura 6: Teores de clorofila *a* e *b* em plantas de girassol sob diferentes condições de cultivo. Diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos são representadas por letras minúsculas diferentes. Valores representam a média $\pm$ erro da média de 4 repetições



Fonte: Autoral

A partir dos resultados obtidos durante o experimento, foi possível notar que as plantas de girassol que receberam apenas água de reuso não foram prejudicadas pela irrigação com esta água, uma vez que todas elas sobreviveram durante o período experimental. Isso mostra que não houve fitotoxicidade imposta pela água de reuso foi baixa, uma vez que todas as plantas atingiram a fase reprodutiva, tendo o menor crescimento sido resultante da baixa disponibilidade de nutrientes na água de reuso (Tabela 1); o que realça a viabilidade de utilização da água de reuso para a irrigação, que pode atenuar a crescente demanda por água no setor agrícola.

Também é importante citar que, mesmo com as limitações apresentadas para a água de reuso no fornecimento de nutrientes, uma vez que o crescimento do grupo que recebeu apenas água de reuso foi menor em comparação com os grupos controle e água de reuso + 20% LA, dificilmente culturas serão feitas em solos inertes; fazendo com que a recuperação de nutrientes promovida pela água de reuso acrescida dos bons resultados do grupo água de reuso + 20% LA nos quesitos de massa seca, eficiência instantânea do uso da água e fotossíntese fortaleçam o argumento a favor da utilização dela como complemento nutricional.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no grupo que recebeu apenas água de reuso evidenciam que, apesar das plantas de girassol deste grupo terem apresentado o menor crescimento dentre as três opções, elas sobreviveram e muitas delas desenvolveram também a inflorescência. Isso indica que, mesmo não apresentando condições ideais, a água de reuso contém nutrientes o suficiente para o desenvolvimento de *Helianthus annuus* L.

Os resultados do grupo que recebeu solução de Long Ashton a 20% preparada com água de reuso apontaram maior desenvolvimento em termos de massa seca, além de resultados positivos em relação à fotossíntese e à eficiência instantânea do uso da água, indicando que a água de reuso pode ser um possível complemento nutricional para o cultivo desta espécie. No entanto, há limitações, uma vez que esse maior crescimento não ocorreu em comparação com o grupo controle em relação à altura das plantas.

Conclui-se que as águas residuais tratadas certamente têm um grande potencial de ser uma fonte alternativa de água e de nutrientes viável para a irrigação e nutrição, mas barreiras de prevenção de riscos devem ser adotadas para mitigar os impactos negativos da presença de possíveis contaminantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-RAOUF, N.; AL-HOMAIKAN, A. A.; IBRAHEEM, I. B. M. Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 19, n. 3, p 257-275, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.04.005>

ACIÉN FERNÁNDEZ, F. G.; GÓMEZ-SERRANO, C.; FERNÁNDEZ-SEVILLA, J. M.. Recovery of nutrients from wastewaters using microalgae. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 2, p. 59, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00059>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Busca/Download?codigoArquivo=134951. Acesso em: 26 abr. 2023

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Relatório Pleno, Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/>. Acesso em 26 abr. 2023

ALEXIEVA, V. et al. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell & Environment*, v. 24, n. 12, p. 1337–1344, dez. 2001.

ANDO, J. et al. A possible role of sodium in chlorophyll biosynthesis of sodium requiring C-4 plants. *14th International Congress of Soil Science (Kyoto) Trans.*, vol 4, p 152-7, 1990.

ATES, A. M.; BUKOWSKI, M. Oil Crops Outlook: September 2022. United States Department of Agriculture, 14 set. 2022. Acesso em 18 mai. 2023.

BAYAT, M. et al. Bioremediation of potentially toxic elements of sewage sludge using sunflower (*Heliantus annus L.*) in greenhouse and field conditions. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 44, n. 4, p. 1217–1227, 10 ago. 2021.

BONDADA B. R., SYVERTSEN J. P. (2003) Leaf chlorophyll, net gas exchange and chloroplast ultrastructure in citrus leaves of different nitrogen status. *Tree Physiology* 23:553–559

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução N° 503, de 14 de dezembro de 2021.

BRASIL. Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>.

BRASIL. Resolução CONAMA N° 430, de 13 de maio de 2011. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>

BROWN, R.H. (1978) A difference in nitrogen use efficiency in C3 and C4 plants and its implications in adaptation and evolution. *Crop Science* 18:93-98.

CASTIGLIONI, V. B. R. et al. Fases de desenvolvimento da planta de girassol. 1994

CECHIN, I., & VALQUILHA, É. M. (2019). Nitrogen effect on gas exchange characteristics, dry matter production and nitrate accumulation of *Amaranthus cruentus* L. *Brazilian Journal of Botany*, 42, 373-381.

DE BRITO, P. O. B. et al. Crescimento e teores relativos de clorofila em plantas de girassol suplementadas com algas mistas, *Hypnea pseudomusciformis* ou *Ulva fasciata*. *Nativa*, v. 8, n. 4, p. 533-537, 2020.

DE WILT, A. et al. Micropollutant removal in an algal treatment system fed with source separated wastewater streams. *Journal of hazardous materials*, v. 304, p. 84-92, 2016. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.10.033

DENORA M, CANDIDO V, BRUNETTI G, DE MASTRO F, MURGOLO S, DE Ceglie C, SALERNO C, GATTA G, GIULIANI MM, MEHMETI A, BARTHOLOMEUS RP and PERNIOLA M (2023) Uptake and accumulation of emerging contaminants in processing tomato irrigated with tertiary treated wastewater effluent: a pilot-scale study. *Front. Plant Sci.* 14:1238163. doi: 10.3389/fpls.2023.1238163

- EVANS J. R. (1989) Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C 3 plants. *Oecologia* 78:9–19**
- EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. *Biologia Vegetal*. Grupo GEN, 2014. E-book. ISBN 978-85-277-2384-8. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-277-2384-8/>. Acesso em: 17 nov. 2023.**
- FERREIRA, E. T. Efeito nutricional de microalgas cultivadas em água residuária previamente tratada no crescimento de *Amaranthus cruentus* L. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/217606>>. Acesso em 15 abr. 2023.**
- GASTAL F, NELSON CJ (1994) Nitrogen use within the growing leaf blade of tall fescue. *Plant Physiology* 105:191–197.**
- GAZZOLA, A.; FERREIRA JR, C. T. G.; CUNHA, A. A.; BORTOLINI, E.; PAIAO, G. D.; PRIMIANO, I. V.; PESTANA, J.; D'ANDRÉA, M. S. C.; OLIVEIRA, M. S. A Cultura do Girassol. Universidade de São Paulo. Piracicaba, jun. 2012. Acesso em 18 mai. 2023.**
- HAK, R.; RINDERLE-ZIMMER, U.; LICHTENTHALER, H.K.; NATR, L. (1993) Chlorophyll a fluorescence signatures of nitrogen deficient barley leaves. *Photosynthetica* 28:151-159.**
- HEWITT, E. J. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition Technical Communication No. 22. Commonwealth Bureau of Horticultural and Plantation Crops, East Malling, Kent UK, 1966. Acesso em 16 abr. 2023.**
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.**
- ISHERWOOD, K. F. Mineral Fertilizer Use and the Environment. International Fertilizer Industry Association Revised Edition. Paris, 2000. Acesso em 18 mai. 2023.**
- JOHNSON, I.; LIU, H. A Study on Factors Affecting the Degradation of Magnesium and a Magnesium-Yttrium Alloy for Biomedical Applications. *PLoS ONE*, v. 8, n. 6, p. e65603, 14 jun. 2013.**

KAGE, H.; KOCHLER, M.; STÜTZEL, H. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation. European Journal of Agronomy, v.20, n.4, p.379-394, 2004. DOI: 10.1016/S1161-0301(03)00061-3

LI, K. et al. Microalgae-based wastewater treatment for nutrients recovery: A review. Bioresource technology, v. 291, p. 121934, 2019. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.121934. Acesso em 18 mai. 2023.

LIZASO, J. I.; RUIZ-RAMOS, M.; RODRÍGUEZ, L.; GABALDON-LEAL, C.; OLIVEIRA, J. A.; LORITE, I. J.; SÁNCHEZ, D.; GARCÍA, E.; RODRÍGUEZ, A. impact of high temperatures in maize: phenology and yield components. Field Crop Research, v. 216, p.129-140, 2018.

MALAVOLTA, E. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1997. Acesso em 15 abr. 2023.

MCPHERSON, G. Statistics in scientific investigation: its basis, application, and interpretation. SpringerVerlag, 1990. ISBN: 0-387-97137-8

MCCARTHY M. C., ENQUIST B. J. 2007. Consistency between an allometric approach and optimal partitioning theory in global patterns of plant biomass allocation. Functional Ecology 21: 713-720

MCDONALD A. J. S. et al. Plant Nutrition, dry matter gain and partitioning at the whole-plant level. Journal of Experimental Botany. v.47, special issue, p.1245-1253, 1996.

MILLER, W. G. Integrated concepts in water reuse: managing global water needs. Desalination, v. 187, n. 1-3, p. 65–75, fev. 2006.

MOGES, M. E.; HEISTAD, A.; HEIDORN, T. Nutrient Recovery from Anaerobically Treated Blackwater and Improving Its Effluent Quality through Microalgae Biomass Production. Water, v. 12, n. 2, p. 592, 2020. DOI: 10.3390/w12020592 . Acesso em 16 abr. 2023.

MURATA, S. et al. Sodium Stimulates Regeneration of Phosphoenolpyruvate in Mesophyll Chloroplasts of Amaranthus tricolor. Plant and Cell Physiology, v. 33, n. 8, p. 1247–1250, 1 dez. 1992.

MURTADHA, H.M.; MARANVILLE, J.W.; CLARK, R.B.; CLEGG, M.D. Effects of temperature and relative humidity on growth and calcium uptake, translocation, and accumulation in sorghum. *Journal of Plant Nutrition*, v.12, p.535-543, 1989. Acesso em 03 nov. 2023.

OLIVEIRA, M. P.; MALAGOLLI, G. A.; CELLA, D. MERCADO DE FERTILIZANTES: dependência de importações do Brasil. *Revista Interface Tecnológica*, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 489–498, 2019. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/606>. Acesso em: 15 abr. 2023.

OZER, H.; POLAT, T.; OZTURK, E. Response of irrigated sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids to nitrogen fertilization: growth, yield and yield components. *Plant, Soil and Environment*, v. 50, n. 5, 2004.

PIMENTEL, L. B.; CAPANEMA, L. X. DE L. Água e esgoto. BNDES, 2018. Disponível em <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/16283>. Acesso em 26 abr. 2023.

POORTER, H. et al. L. 2011. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist* 193: 1-21.

REETZ, H. F.. Fertilizantes e seu uso eficiente. Tradução: Alfredo Scheid Lopes- São Paulo: ANDA, 20107. Disponível em: <https://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2023.

ROBERTO, S. *et al.* Avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/89312/1/AVALIACAO-DE-ESPECIES-VEGETAIS.pdf>>. Acesso em: 4 maio. 2023.

ROGGATZ, U., MCDONALD, A. J. S., STADENBERG, I., & SCHURR, U. (1999). Effects of nitrogen deprivation on cell division and expansion in leaves of *Ricinus communis* L. *Plant, Cell & Environment*, 22(1), 81-89.

RUAS, G.; SEREJO, M. L.; FARIAS, S. L.; SCARCELLI, P.; BONCZ, M. Á. Removal of pathogens from domestic wastewater by microalgal-bacterial systems under different cultivation conditions. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2022. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03820-2>. Acesso em 12 mai. 2023.

SCHNEITER, A. A.; MILLER, J. F. Description of sunflower growth stages 1. *Crop Science*, v. 21, n. 6, p. 901-903, 1981.

SHAHID, A. *et al.* Cultivating microalgae in wastewater for biomass production, pollutant removal, and atmospheric carbon mitigation; a review. *Sci Total Environ.* 2020 Feb 20;704:135303. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135303. Epub 2019 Nov 22. PMID: 31818584.

SIDHU, H.; O'CONNOR, G.; KRUSE, J. Plant toxicity and accumulation of biosolids-borne ciprofloxacin and azithromycin. *Science of The Total Environment*, v. 648, p. 1219–1226, jan. 2019. Acesso em 16 abr. 2023.

SLOMPO, N. D. M. *et al.* Black water treatment by an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor: a pilot study. *Water Science and Technology*, v. 80, n. 8, p. 1505-1511, 2019. DOI: 10.2166/wst.2019.402. Acesso em 16 abr. 2023.

STEINFORT, U. *et al.* Vernalisation and photoperiod sensitivity in wheat: Impact on canopy development and yield components. *Field Crops Research*, v. 201, p. 108–121, 2017.

SUBBARAO, G. V. *et al.* Sodium—A Functional Plant Nutrient. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 22, n. 5, p. 391–416, set. 2003.

TAVARES, S. R. L. *et al.* (2013). Avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. *Hollos*. v.5, p. 80-97. Acesso em 15 abr. 2023.

TURAN M, EKINCI M, ARGIN S, BRINZA M AND YILDIRIM E (2023). Drought stress amelioration in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings by biostimulant as regenerative agent. *Front. Plant Sci.* 14:1211210. doi: 10.3389/fpls.2023.1211210

UPADHYAY, D., BUDHLAKOTI, N., SINGH, A. K., BANSAL, R., KUMARI, J., CHAUDHARY, N., *et al.* (2020). Drought tolerance in *Triticum aestivum* L. genotypes associated with enhanced antioxidative protection and declined lipid peroxidation. *3 Biotech.* 10 (6), 1–17.

VASILAS, B.L.; ESGAR, R.J.; WALKER, W.M.; MAINZ, M.J. Effect of tillage on corn response to potassium fertility. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.19, n.2, p.141-151, 1988. Acesso em 03 nov. 2023.

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

YAN, Y. *et al.* Phytoremediation of antibiotic-contaminated wastewater: Insight into the comparison of ciprofloxacin absorption, migration, and transformation process at different growth stages of *E. crassipes*. *Chemosphere*, v. 283, p. 131192, 1 nov. 2021. Acesso em 16 abr. 2023.

ZEEMAN, G. *et al.* Anaerobic treatment as a core technology for energy, nutrients and water recovery from source-separated domestic wastewater. *Water Science and Technology*, v. 57, n. 8, p. 1207-1212, 2008. DOI: 10.2166/wst.2008.101. Acesso em 16 abr. 2023.