

Crescimento e atividade enzimática de plântulas de girassol sob estresse hídrico cultivadas com resíduo industrial em diferentes granulometrias

Plant growth and enzyme activities of sunflower seedlings under drought stress cultivated with industrial waste in different particle sizes

Francisca Raíssa da Silva Costa¹; Lorena Ferreira de Moura²; Luan de Brito Albuquerque²; Tiago de Abreu Lima²; Paulo Ovídio Batista de Brito³; Franklin Aragão Gondim⁴

¹Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Maracanaú; raissacosta55@yahoo.com.
²Graduandos em Engenharia Ambiental e Sanitária do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Maracanaú; mouralorenaf@gmail.com; luandebrito23@gmail.com; tiago.abrlm@gmail.com. ³Mestre em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; paulobatistaengenharia@gmail.com. ⁴Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Maracanaú; aragaofg@yahoo.com.br.

ARTIGO

Recebido: 23/04/2021
 Aprovado: 25/09/2021

Palavras-chave:

Resíduo peneirado
 Déficit hídrico
Helianthus annuus L.
 Estresse oxidativo

Key words:

Sifted waste
 Water deficit
Helianthus annuus L.
 Oxidative stress

RESUMO

A reutilização de resíduos industriais de diferentes processos, como fertilizante ou suplemento mineral constituem alternativas de destinação sustentável. Assim sendo, o presente estudo objetivou avaliar os efeitos da utilização de Resíduo de Suplemento Animal (RSA) em diferentes granulometrias como componente do substrato de plântulas de girassol submetidas à condições de estresse hídrico. Para se obter diferentes granulometrias, utilizaram-se quatro peneiras com malhas em inox: 1 mm; 0,500 mm; 0,250 mm e 0,105 mm. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado disposto em arranjo fatorial 2x6, sendo dois tratamentos hídricos (com irrigação e sem irrigação por 3 dias) e seis tipos de substratos: (1: 100% em volume de areia; 2: Areia + húmus comercial a 100% da recomendação de 80 kg de N ha⁻¹; 3: Areia + RSA 1 mm; 4: Areia + RSA 0,500 mm; 5: Areia + RSA 0,250 mm e 6: Areia + RSA 0,105 mm). Avaliando as variáveis de crescimento (massa seca da parte aérea, da raiz e total), bem como, mensurando as atividades das enzimas antioxidativas [Catalase (CAT), Peroxidase do Ascorbato (APX), Peroxidase do Guaiacol (GPX) e Superóxido Dismutase (SOD)]. O aproveitamento do resíduo de suplemento animal (RSA), com granulometria de 0,500 mm na fertilização do solo, promove a minimização dos impactos ambientais gerados pela destinação inadequada e ocasiona redução de custos com a adubação tradicional.

ABSTRACT

The reuse of industrial waste from different processes, such as fertilizer or mineral supplement constitute sustainable disposal alternatives. Therefore, the present study aimed to evaluate the effects of using Animal Supplement Residue (RSA) in different granulometries as a component of the substrate of sunflower seedlings submitted to drought stress conditions. To obtain different particle sizes, four sieves with stainless steel mesh were used: 1 mm; 0.500 mm; 0.250 mm and 0.105 mm. The experimental design was completely randomized arranged in a factorial arrangement 2x6, being two water treatments (with and without irrigation for 3 days) and six types of substrates: (1: 100% in volume of sand; 2: Sand + commercial humus at 100% of the recommendation of 80 kg of N ha⁻¹; 3: Sand + RSA 1 mm; 4: Sand + RSA 0.500 mm; 5: Sand + RSA 0.250 mm and 6: Sand + RSA 0.105 mm). Evaluating the growth variables (dry mass of the aerial part, of the root and total), as well as, measuring up the activities of the antioxidative enzymes [Catalase (CAT), Ascorbate Peroxidase (APX), Guaiacol Peroxidase (GPX) and Superoxide Dismutase (SOD)]. The use of animal supplement residue (RSA), with granulometry of 0.500 mm in soil fertilization, promotes the minimization of environmental impacts generated by inadequate disposal and causes cost reduction with traditional fertilization.

INTRODUÇÃO

O estresse hídrico é caracterizado quando a disponibilidade de água ideal não é atingida, e pode ser causado

por excesso ou déficit de água para a planta por fatores que dependem, por exemplo, das condições do clima durante o cultivo ou da localidade. Dentre os efeitos da deficiência hídrica estão a redução da condutância estomática,

ocasionando menores taxas de absorção de CO₂ e transpiração, que conduz à diminuição da taxa fotossintética (LOOSE et al., 2019).

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é cultivado em diversos estados brasileiros e possui relevante importância no sistema de rotação de culturas. Devido à sua utilização em diferentes classes de solo, é susceptível às variações nas condições edáficas e climáticas, o que pode comprometer, dentre outros parâmetros, a fase de emergência das plântulas em caso de baixa disponibilidade hídrica (MORAIS et al., 2020).

As condições de estresse hídrico induzem mudanças fisiológicas e bioquímicas que alteram diversos processos celulares na planta, tais como o estabelecimento de estresse oxidativo pelo acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs). As principais EROs são os radicais superóxidos (O₂⁻), peróxido de hidrogênio (H₂O₂), radicais hidroxila (OH) e oxigênio (¹O₂) e podem ser formadas nos diferentes tecidos vegetais (CALDERÓN et al., 2018; ČAMAGAJEVAC et al., 2018).

As enzimas antioxidativas são componentes essenciais para a regulação dos níveis de EROs nas plantas, além de controlar a intensidade e duração da resposta ao estresse biótico ou abiótico (FERNANDES et al., 2013). As atividades das enzimas antioxidativas podem ser mais intensas em culturas que sofrem déficit hídrico, devido à eliminação acelerada das espécies reativas de oxigênio, de forma a evitar a redução de produtividade das plantas (NUNES JÚNIOR et al., 2017).

Estudos apontam que diversos subprodutos industriais, tais como esgoto e lodo de cal, podem retornar ao processo produtivo por meio da reciclagem e ainda proporcionar a correção da deficiência de micronutrientes, como o ferro. Ademais, o zinco presente em resíduos industriais atua de forma importante na regulação do metabolismo do nitrogênio nas plantas (WIROSOEDARMO et al., 2018; TÓTH; MOLOI, 2019).

Além disso, pesquisas realizadas comprovam uma variedade de alternativas sustentáveis, como fertilizante ou suplemento mineral, ao reutilizar resíduos industriais de diferentes processos, sendo eles: farinha de peixes, casca de arroz carbonizada, fibra de coco, casca de castanha de caju, palmito, caroço de açaí, e de fábrica de açúcar, além dos resíduos de cerâmica e de pedras (LIMA et al., 2014; LEAL et al., 2016; KRATZ, WENDLING, 2016; OLIVEIRA et al., 2018; CORREA et al., 2019; TAGHIPOUR, JALALI, 2019).

Granulometrias consideradas frações intermediárias e finas (entre 2,00 mm e 0,10 mm) podem ser apropriadas principalmente em regiões com características climáticas de seca, em virtude de se alcançar porosidade alta e presença de microporos, fatores benéficos que conduzem no substrato boa aeração e retenção de água (ZORZETO et al., 2014), sendo, portanto, uma alternativa na mitigação de estresse hídrico.

Ademais, levando em consideração a reutilização de resíduos sólidos industriais de baixo valor econômico, o RSA torna-se uma opção de fertilizante sustentável com benefícios para o incremento da espécie vegetal. Promovendo impactos econômicos, ambientais e sociais ao evitar o descarte

inadequado em aterros sanitários e industriais e reduzir custos com adubação comercial.

Como também, pela carência de estudos sobre os efeitos da aplicação de resíduo de suplemento mineral para animal no crescimento e nas atividades das enzimas antioxidativas em plantas sob condições de déficit hídrico. Logo, objetivou-se avaliar os efeitos da utilização de Resíduo de Suplemento Animal (RSA) em diferentes granulometrias como componente do substrato de plântulas de girassol submetidas a condições de estresse hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, ambiente isolado com estrutura coberta por nylon, localizada no município de Maracanaú, Ceará, Brasil (3°52'19.8" S e 38°36'41.6" W) no *Campus* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE durante o mês de novembro de 2018. A região apresenta clima tropical quente sub-úmido e inverno seco, do tipo Aw, segundo classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013).

O Resíduo de Suplemento Animal (RSA) foi adquirido por doação por uma empresa do setor de nutrição animal localizada em São Gonçalo do Amarante, Ceará, Brasil. A caracterização química do RSA, para conhecimento da composição do material, foi obtida mediante análises elaboradas, segundo a metodologia de Malavolta et al. (1997), no Laboratório de Solos e Água da Universidade Federal do Ceará (Tabela 1).

Classificado como resíduo classe II, de acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004), entre suas propriedades físico-químicas possui forma de pó fino, insolúvel em água, pH 7,5 e densidade entre 2,0 e 2,7 g/cm³ conforme Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ segundo NBR 14.725 (ABNT, 2001) fornecida pela indústria DSM Produtos Nutricionais Brasil S.A.

No Laboratório de Bioquímica e Fisiologia Vegetal do IFCE - *Campus* Maracanaú, uma amostra do resíduo foi colocada em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C para remoção de umidade. Em seguida, para se obter diferentes granulometrias, foram utilizadas quatro peneiras com malhas em inox: 1 mm; 0,500 mm; 0,250 mm e 0,105 mm. A quantidade de RSA a ser incorporada e homogeneizada ao substrato foi de 21 g por vaso, de acordo com Moreira et al. (2019), ao constatar a viabilidade e eficácia do resíduo em concentrações até 50% da recomendação de 80 kg de N ha⁻¹ para a cultura do girassol (EMBRAPA, 1983).

A areia incorporada possui granulometria fina, como classifica a NBR 6.502 (ABNT, 1995), e foi peneirada em malha de 5 mm. Como adubação padrão (grupo controle) foi utilizado o húmus de minhoca (95% de húmus de minhoca e 5% de esterco de gado) a 100% da recomendação de N (80 kg de N ha⁻¹).

Tabela 1. Análise química de amostra do resíduo de suplemento animal utilização na composição dos substratos para o cultivo de plântulas de girassol.

	g.kg ⁻¹								dS.m ⁻¹
	N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Ca	Mg	Na	C.E.
RSA	6,4	56,1	128,5	6,4	7,8	18,0	7,8	126,9	35,11

RSA: Resíduo de Suplemento Animal. C.E.: Condutividade Elétrica. Fonte: Lab. de Solos e Água da UFC/FUNCEME, 2018.

As sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.), da cultivar BRS 323 utilizadas nesta pesquisa, foram cedidas pela Embrapa Produtos e Mercado e foram semeadas em vasos plásticos, com capacidade para cinco dm³, drenados, lavados com produto detergente e pulverizados com solução de hipoclorito de sódio para evitar aparecimento de pragas e doenças.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, disposto em arranjo fatorial 2x6, sendo dois tratamentos hídricos (com irrigação e sem irrigação) e seis tipos de substratos: (1: 100% em volume de areia; 2: Areia + húmus comercial a 100% da recomendação de 80 kg de N ha⁻¹; 3: Areia + RSA 1 mm; 4: Areia + RSA 0,500 mm; 5: Areia + RSA 0,250 mm e 6: Areia + RSA 0,105 mm). O delineamento foi composto por cinco repetições, sendo considerada cada uma com um vaso contendo três plantas.

A irrigação foi feita com uso de um regador manual, com periodicidade diária. Visou-se manter os vasos sempre próximo a 70% da capacidade de campo. Aos 20 dias após a semeadura (DAS), suspendeu-se a irrigação de metade das plântulas de cada um dos seis tipos de substratos. Foi realizada uma coleta única aos 23 DAS (3 dias sob estresse hídrico).

Para obtenção de massa seca, as plântulas foram coletadas manualmente com o auxílio de uma espátula na casa de vegetação do *campus* Maracanaú, higienizadas, separadas em raiz, caule e folha e encaminhadas para o Laboratório de Bioquímica e Fisiologia Vegetal, localizado no IFCE, onde foram colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, por três dias, até se chegar à massa constante. Posteriormente foram pesadas em balança Semi-Analítica Marte - Shimadzu - modelo BL 3200H. A unidade de massa seca foi expressa em g planta⁻¹.

A fim de mensurar as atividades das enzimas antioxidativas, foram elaborados extratos de folhas e raízes frescas, de acordo com Nunes Junior et al. (2017). A atividade da Catalase (CAT) foi determinada conforme proposto por Havir e McHale (1987), pelo decréscimo na absorvância em 240 nm, em consequência do consumo de H₂O₂; a da Peroxidase do Ascorbato (APX) pelo método de Nakano e Asada (1981), com a oxidação do ascorbato medida pela redução na absorvância em 290 nm.

A atividade da enzima Peroxidase do Guaiacol (GPX) seguiu metodologia de Kar e Mishra (1976), sendo a reação conduzida pelo aumento da absorvância em 470 nm, em razão da formação do tetraguaiacol; e a da Dismutase do Superóxido (SOD) de acordo com Beauchamp e Fridovich (1971), com reação medida por incremento da absorvância em 560 nm, devido à produção de formazana azul que resultou na fotorredução do p-Nitrobluetetrazolium (NBT).

As unidades das análises bioquímicas foram expressas em μmol H₂O₂ min⁻¹g⁻¹ MF das atividades das enzimas CAT, APX e GPX. De outro modo, da SOD em UA g⁻¹ MF, representada por MF a massa fresca das folhas ou da raiz onde uma UA (unidade de atividade enzimática) corresponde a quantidade de enzima necessária para resultar em inibição da fotorredução do NBT de 50%.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando-se o software AgroEstat – Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomicos, versão 1.1.0 (BARBOSA; MALDONADO, 2015). Para os tratamentos que apresentaram significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (P ≤ 0,05). Os gráficos foram gerados através do programa Sigma Plot 11.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 23 dias após a semeadura (DAS), observou-se nos tratamentos contendo Resíduo de Suplemento Animal (RSA) um maior crescimento em relação aos tratamentos areia e húmus, tanto no grupo controle (Figura 1A) quanto no estresse hídrico (Figura 1B).

Figura 1. Plântulas de girassol aos 23 dias após a semeadura em substratos contendo: (1) areia; (2) húmus comercial; (3) Resíduo de Suplemento Animal (RSA) 1 mm; (4) RSA 0,500 mm; (5) RSA 0,250 mm e (6) RSA 0,105 mm a 80 kg de N ha⁻¹ sob condições controle (A) e de estresse hídrico (B).



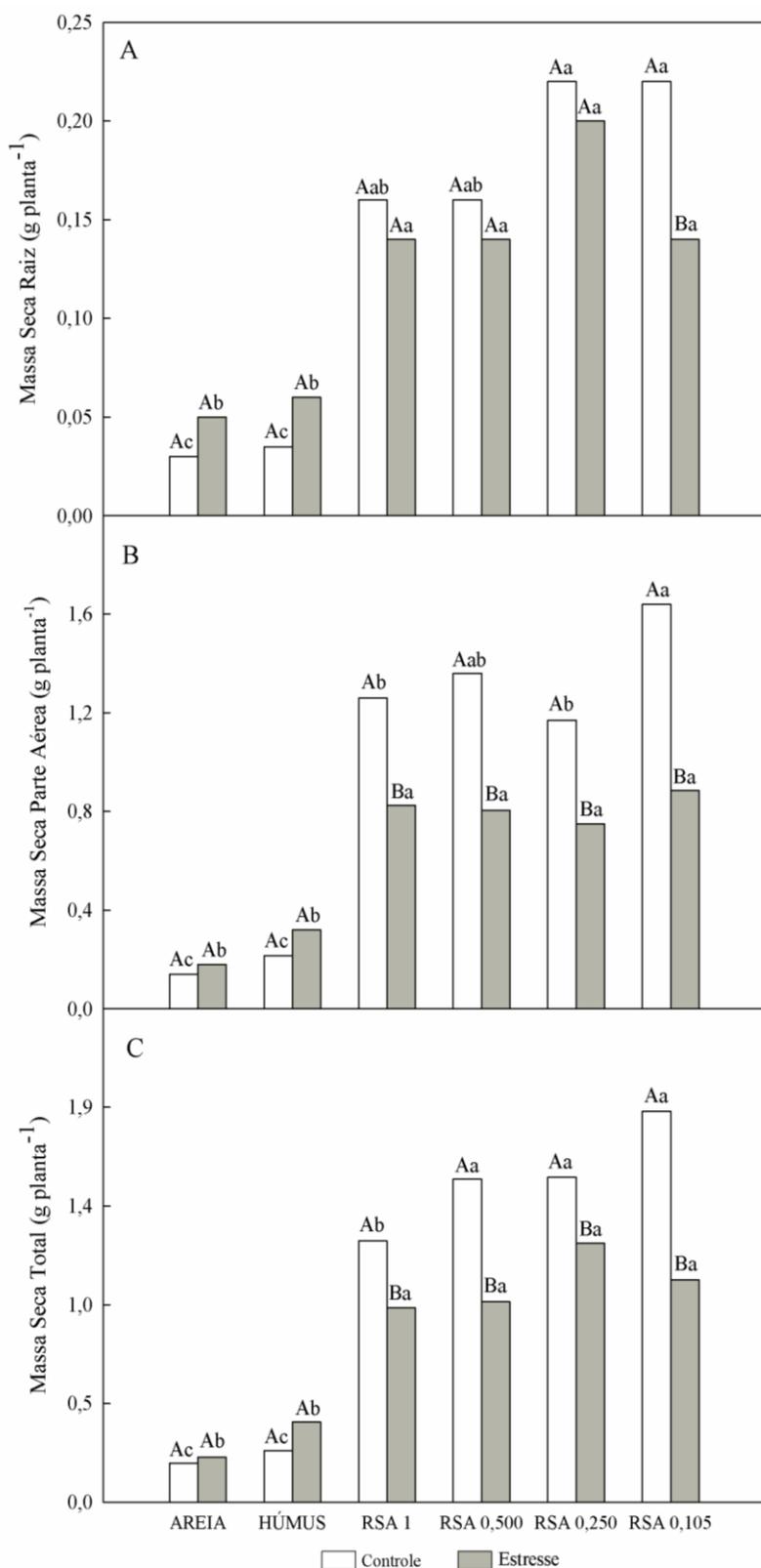
A aplicação de RSA em diferentes granulometrias proporcionou os maiores valores de massa seca em comparação aos vasos contendo apenas areia e húmus de minhoca. Para a massa seca das raízes (MSR) (Figura 2A), nas plantas submetidas a condições controle, os tratamentos RSA 0,250 e 0,105 mm obtiveram valores 6 e 5 vezes superiores às médias dos tratamentos areia e húmus, respectivamente. Entretanto, em plantas sob estresse hídrico, os tratamentos RSA 1, 500 e 0,250 mm apresentaram-se mais expressivos com valor médio de 0,18g, enquanto os tratamentos, areia e húmus, valor médio de 0,03g.

Comportamento semelhante ao obtido com a massa seca da raiz foi encontrado para a variável massa seca da parte aérea (MSPA) (Figura 2B), com as maiores médias para os tratamentos com RSA. Nas plantas com suplemento e sempre irrigadas, os valores se mostraram superiores quando comparado aos valores das plantas sujeitas a estresse hídrico, havendo diferença significativa entre as frações de RSA para os dois tipos de irrigação. Dessa forma, foi identificado para os tratamentos com o resíduo e suspensão da irrigação o decréscimo de 66%, em média, quando comparado com o tratamento controle.

Na Figura 2C para a variável massa seca total (MST), assim como foi observado para a MSR e a MSPA, houve a presença de melhores valores para os vasos das plantas cultivadas em substrato contendo RSA em comparação aos demais tratamentos avaliados. Com destaque para RSA 0,500, 0,250 e 0,105 mm que, no tratamento controle, diferiram significativamente dos demais tratamentos. O estresse promoveu redução da variável de crescimento apenas nos substratos com resíduo de suplemento animal, em comparação com o controle.

Os resultados corroboram com Sousa et al. (2017), que afirmam que uma menor disponibilidade hídrica tem como resposta as limitações no crescimento vegetativo, conforme verificado nas variáveis massa seca da folha e massa seca da

Figura 2. Massa seca da raiz (A), da parte aérea (B) e total (C) de plântulas de girassol aos 23 dias após a semeadura sob condições controle (barras brancas) e três dias de suspensão de rega (barras cinzas).



Conforme o teste de Tukey a 5% de probabilidade, diferentes letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos hídricos (controle e estresse) enquanto diferentes letras minúsculas diferenças significativas entre os substratos (areia, húmus e frações de RSA). As barras representam os valores das médias de cinco repetições.

raiz de plantas de sorgo em diferentes lâminas de irrigação, na qual a menor produção deu-se em função das menores ofertas hídricas.

O aproveitamento de resíduo industrial no cultivo de plantas também foi comprovado por Castro et al. (2016), ao utilizar doses crescentes de silicato de alumínio na composição do substrato de mudas de *Corymbia citriodora*. O efeito do uso do resíduo causou baixa redução na produção de MSPA à medida que as proporções do resíduo industrial foram elevadas.

Os maiores valores de massa seca, obtidos com a suplementação do RSA, constataram que a alta concentração de macronutrientes e boa porosidade proporcionada pelas diferentes granulometrias são fatores benéficos e aplicáveis nas produções agrícolas. Kratz e Wendling (2016), trabalhando com substratos de materiais renováveis, avaliam que a utilização de casca de arroz carbonizada em diferentes granulometrias mostra-se tecnicamente viável para a produção de mudas de *Eucalyptus camaldulensis*.

A massa seca atingiu menores valores no tratamento em que foi utilizada a maior peneira de 1 mm, em virtude da maior porosidade do substrato, e conseqüentemente, de menor retenção de água e nutrientes em decorrência das regas. Conforme Massad et al. (2016), aeração, estrutura e capacidade de retenção de água no substrato podem desempenhar influências positivas ou negativas no desenvolvimento de espécies. Assim, nas variáveis analisadas, a utilização do RSA para minimização das limitações impostas ao estresse foi benéfica.

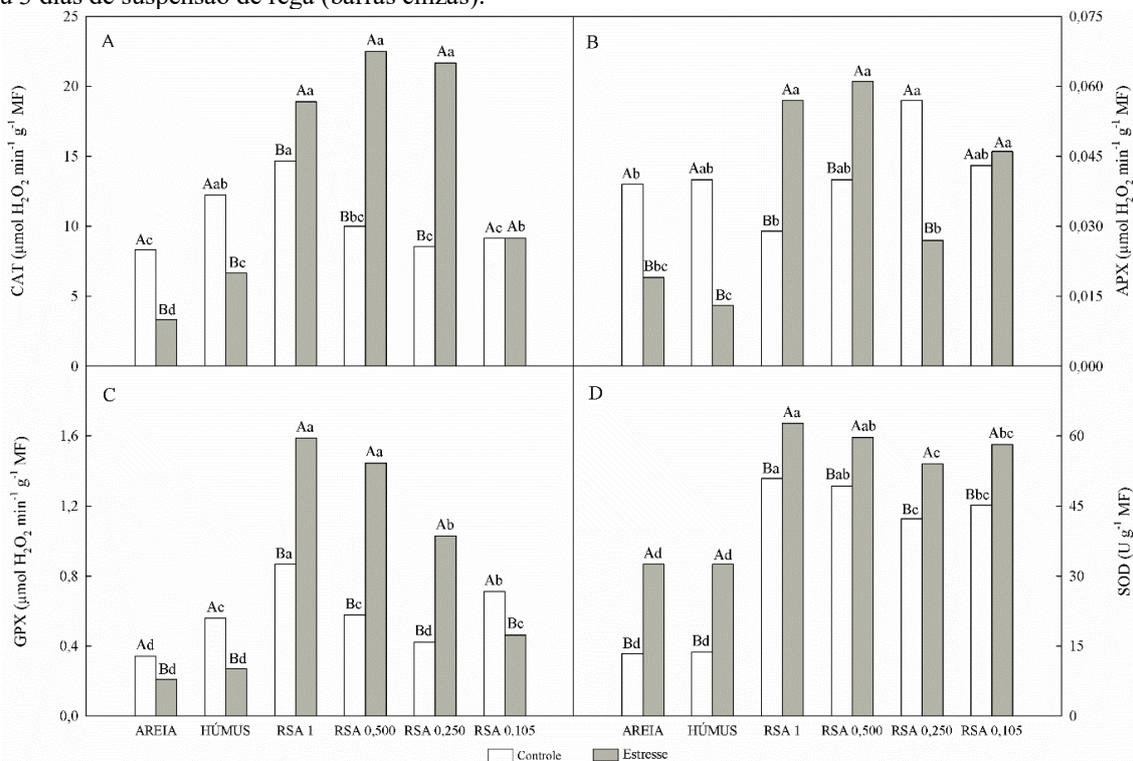
Como uma das respostas de defesa vegetal aos estresses bióticos e abióticos está a produção de espécies reativas de oxigênio, podendo muitas vezes agir como moléculas sinalizadoras de defesa vegetal. Além das EROs, as enzimas antioxidativas atuam no estímulo de componentes antioxidantes, causando assim, o aumento de suas atividades (SOARES; MACHADO, 2007).

A atividade da enzima catalase (CAT) nas folhas, sob estresse hídrico, foi maior em substratos contendo RSA, sobretudo nas frações peneiradas a 1, 0,500 e 0,250 mm, sendo os valores médios encontrados de 18,88, 22,5 e 21,66 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1}\text{g}^{-1}$ MF. Enquanto o tratamento apenas com areia foi de 3,33 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1}\text{g}^{-1}$ MF e o tratamento com húmus de minhoca, 6,66 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1}\text{g}^{-1}$ MF. Para as plantas suplementadas com RSA 0,250 mm, a variação positiva entre a irrigação sob estresse foi de 153% no que diz respeito às plantas irrigadas diariamente no mesmo tratamento (Figura 3A). Em condições controle, a mais elevada atividade da peroxidase do ascorbato (APX) foi identificada nas plantas que cresceram em substrato contendo RSA 0,250 mm, sendo 46% superior à atividade em vasos contendo apenas areia e 42% maior em vasos com areia + húmus de minhoca. Em condições de estresse,

pode-se observar maiores valores da atividade da APX para os tratamentos RSA 1, 0,500 e 0,105 mm sendo, em média, 295% superiores aos tratamentos areia e húmus (Figura 3B), o que

pode estar associado, possivelmente, à composição salina do resíduo industrial utilizado.

Figura 3. Atividade das enzimas catalase - CAT (A), peroxidase do ascorbato - APX (B), peroxidase do guaiacol - GPX (C) e superóxido dismutase - SOD (D) em folhas de plântulas de girassol aos 23 dias após a semeadura sob condições controle (barras brancas) ou 3 dias de suspensão de rega (barras cinzas).



Conforme o teste de Tukey a 5% de probabilidade, diferentes letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos hídricos (controle e estresse) enquanto diferentes letras minúsculas diferenças significativas entre os substratos (areia, húmus e frações de RSA). As barras representam os valores das médias de cinco repetições.

A maior atividade da enzima peroxidase do guaiacol (GPX) foi verificada em condições de estresse hídrico nos tratamentos RSA 1 e 0,500 mm obtendo valores médios de 1,58 e 1,44 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, representando acréscimo em relação ao tratamento areia, que teve valor médio de 0,21 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ assim como o tratamento húmus com valor médio de 0,27 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$. No que se refere às plantas irrigadas, no tratamento RSA 1 mm a atividade da enzima foi maior em relação aos demais tratamentos (Figura 3C). As características físicas do resíduo de suplemento animal condicionaram esses resultados, considerando que sua composição, o tamanho e arranjo das partículas influenciam na retenção de umidade de cada um dos tratamentos.

Para a superóxido dismutase (SOD), a exposição ao estresse propiciou incremento nas médias dos valores nos diferentes substratos utilizados. Ademais, nas folhas das plântulas de girassol suplementadas com RSA 1 e 0,500 mm, sob condições de estresse, a atividade de SOD foi superior em 23 e 21% em relação à condição controle (Figura 3D), estando correlacionado à fatores como as maiores granulometrias adotadas e ao estresse abiótico.

Na Figura 4A, a atividade da CAT nas raízes em condição controle mostrou-se superior para os tratamentos comparando com a condição de estresse, exceto para o RSA 1 mm, que obteve valores médios sem diferença estatística na condição de estresse. Nas plantas suplementadas com RSA 1 mm peneirado a 0,500 mm, a diferença estatística foi três vezes maior entre as plantas sob condição controle em relação às plantas submetidas

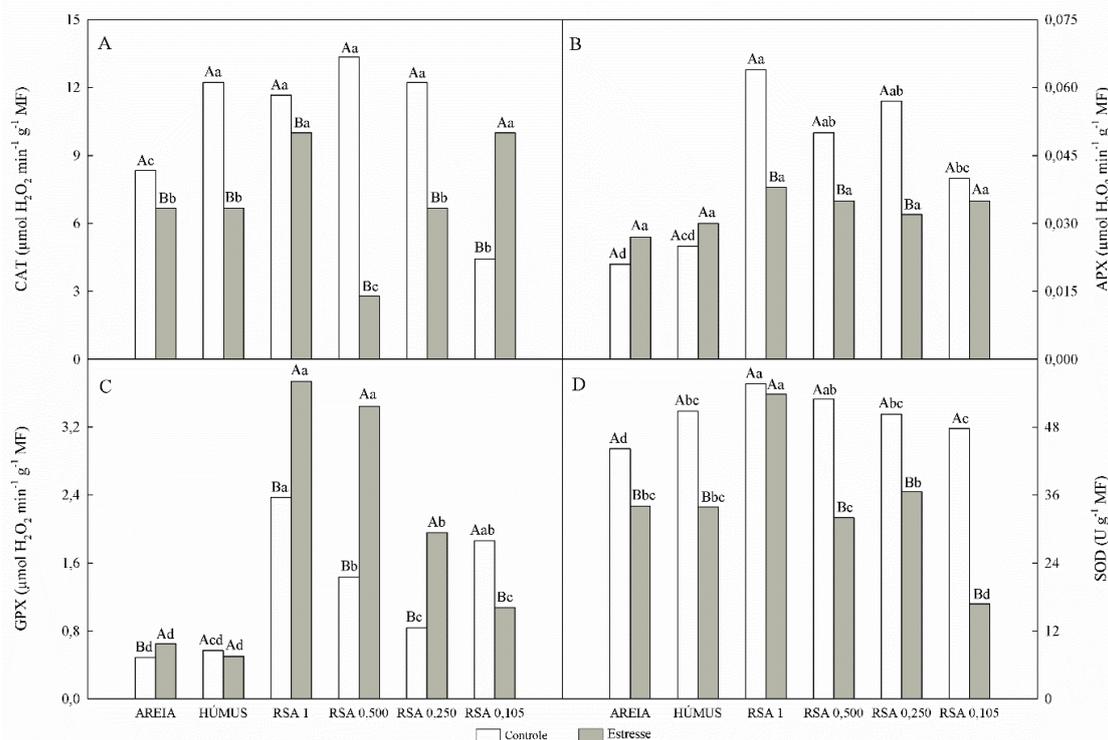
a estresse.

Foi verificado que os tratamentos RSA 1, 0,500 e 0,250 mm apresentaram médias 68, 42 e 78% maiores na condição controle do que em relação a de estresse durante a atividade da APX. O maior valor, obtido no RSA 1 mm, foi de 0,064 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, enquanto nos tratamentos areia e húmus foram, respectivamente, 0,021 e 0,025 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, em condições controle. Sob condições de estresse, os valores foram, em média, de 0,033 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, não havendo diferença estatística (Figura 4B).

Conforme observado em atividades de enzimas, para a atividade da GPX nas raízes, as médias mais elevadas foram identificadas nos tratamentos RSA 1 e 0,500 mm, sendo 57 e 140% superiores entre si em condições de estresse do que em condições controle. Em comparação com os tratamentos areia e húmus de minhoca, o incremento do RSA 1 mm foi, em média, 3,5 vezes maior nas plantas irrigadas normalmente e 5,4 vezes superior para as que tiveram interrupção de rega (Figura 4C).

Para a atividade de SOD nas raízes, verificou-se diferença estatística entre as condições de irrigação de cada tratamento empregado, com maiores médias para plantas controle, exceto para o RSA 1 mm, que não diferiu significativamente entre si. No entanto, em comparação com os tratamentos areia e húmus, o tratamento RSA 1 mm foi 26 e 58% superior em condição controle, bem como aproximadamente 59% em condição de estresse (Figura 4D).

Figura 4. Atividade das enzimas CAT (A), peroxidase do ascorbato - APX (B), peroxidase do guaiacol - GPX (C) e superóxido dismutase - SOD (D) em raízes de plântulas de girassol aos 23 dias após a semeadura sob condições controle (barras brancas) ou 3 dias de suspensão de rega (barras cinzas).



Conforme o teste de Tukey a 5% de probabilidade, diferentes letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos hídricos (controle e estresse) enquanto diferentes letras minúsculas diferenciam significativamente entre os substratos (areia, húmus e frações de RSA). As barras representam os valores das médias de cinco repetições.

Resultados similares foram encontrados por outros autores como Godoi Neto et al. (2020), que constataram incrementos nos valores das atividades de APX e CAT no cultivo de cana-de-açúcar sob níveis crescentes de salinidade na água de irrigação. Barros et al. (2021), também verificaram aumentos significativos nas atividades de CAT, APX, GPX e de SOD em feijão-caupi sujeitos ao déficit hídrico, o que corrobora o fato de que a exposição de plantas a diferentes estresses potencializam as reações de defesa por meio do aumento dos teores das enzimas antioxidantes.

No entanto, ainda não existem trabalhos que associem a utilização em diferentes granulometrias de resíduo de suplemento animal no cultivo de plantas de girassol com a mensuração das atividades enzimáticas. De forma geral, nas folhas das plântulas suplementadas com RSA 0,500 e 0,250 mm as atividades das enzimas avaliadas mostraram-se superiores aos tratamentos com areia e húmus, sob situações de controle e de estresse, em função de serem granulometrias intermediárias e da composição do resíduo.

Complementarmente, as atividades das enzimas CAT e APX nas raízes para os tratamentos contendo substrato mais poroso, RSA 1 e 0,500 mm, sob condições controle, foram maiores do que sob condições de estresse hídrico. A atenuação das atividades de APX e CAT decorrem do fato da menor severidade de estresse nas plantas que não possuem uma dessas enzimas (KAPOOR et al., 2015).

CONCLUSÕES

A utilização do resíduo de suplemento animal (RSA), em condições de estresse, com granulometrias de 0,500, 0,250 e 0,105 mm promovem incrementos na produção de massa seca total de plântulas de girassol.

O aproveitamento do resíduo de suplemento animal (RSA), com granulometria de 0,500 mm na fertilização do solo, promove a minimização dos impactos ambientais gerados pela destinação inadequada e ocasiona redução de custos com a adubação tradicional.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2013. [10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507)
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6.502: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14.725: Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ. Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônomicos. Jaboticabal, FCAV/UNESP. 396p, 2015.
- BARROS, J. R. A.; GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; MELO, N. F. D.; ANGELOTTI, F. Water restriction in

- different phenological stages and increased temperature affect cowpea production. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 45, e022120, 2021. [10.1590/1413-7054202145022120](https://doi.org/10.1590/1413-7054202145022120)
- BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, v. 44, n. 1, p. 276-287, 1971. [10.1016/0003-2697\(71\)90370-8](https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8).
- CALDERÓN, A.; SEVILLA, F.; JIMÉNEZ, A. Redox protein thioredoxins: function under salinity, drought and extreme temperature conditions. In: *Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants*. Springer, Cham, p. 123-162, 2018. [10.1007/978-3-319-75088-0_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0_7)
- ČAMAGAJEVAC, I. Š.; PFEIFFER, T. Ž.; MARONIĆ, D. Š. Abiotic stress response in plants: the relevance of tocopherols. In: *Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants*. Springer, Cham, p. 233-251, 2018. [10.1007/978-3-319-75088-0_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0_11)
- CASTRO, E. B.; SANTOS, L. D. T.; FERNANDES, L. A.; TAJIMA, C. Y. Silicato de Alumínio em Substrato para Produção de Mudas de *Corymbia citriodora*. *Floresta Ambient.* v. 23, n. 2, p. 229-236, 2016. [10.1590/2179-8087.106814](https://doi.org/10.1590/2179-8087.106814)
- CORREA, B. A.; PARREIRA, M. C.; MARTINS, J. dos S.; RIBEIRO, R. C.; SILVA, E. M. Reaproveitamento de resíduos orgânicos regionais agroindustriais da Amazônia Tocantina como substratos alternativos na produção de mudas de alface. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 9, n. 1, p. 97-104, 2019. [10.21206/rbas.v9i1.7970](https://doi.org/10.21206/rbas.v9i1.7970).
- EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja Londrina – PR. Indicações técnicas para o cultivo do girassol. Londrina, 1983.
- FERNANDES, C. F.; VIEIRA JUNIOR, J. R.; SILVA, D. S. G.; ALVES, R. C. Estresse oxidativo e o mecanismo de defesa de plantas contra patógenos. *Embrapa Rondônia-Documentos (INFOTECA-E)*, 2013.
- GODOI NETO, A. H.; SILVA, E. F. F.; MORAIS, J. E.; ANDRADE, L. G. L.; CUTRIM, W. O.; LACERDA, C. F. Water potential, biochemical indicators and yield of sugarcane irrigated with brackish water and leaching. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 5, p. 312-318, 2020. [10.1590/1807-1929/agriambi.v24n5p312-318](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n5p312-318)
- HAVIR, E.; McHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalases in tobacco leaves. *Plant Physiology*, v. 84, n. 2, p. 450-455, 1987. [10.1104/pp.84.2.450](https://doi.org/10.1104/pp.84.2.450).
- KAPOOR, D.; SHARMA, R.; HANDA, N.; KAUR, H.; RATTAN, A.; YADAV, P.; GAUTAM, V.; KAUR, R.; BHARDWAJ, R. Redox homeostasis in plants under abiotic stress: role of electron carriers, energy metabolism mediators and proteinaceous thiols. *Frontiers in Environmental Science*, v. 3, n. 13, p. 1-12, 2015. [10.3389/fenvs.2015.00013](https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00013).
- KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, v. 57, n. 2, p. 315-319, 1976. [10.1104/pp.57.2.315](https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315).
- KRATZ, D.; WENDLING, I. Crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* em substratos à base de casca de arroz carbonizada. *Revista Ceres*, v. 63, n. 3, p. 348-354, 2016. [10.1590/0034-737X201663030011](https://doi.org/10.1590/0034-737X201663030011).
- LEAL, C. C. P.; TORRES, S. B.; BRITO, A. A. F. de; FREITAS, R. M. O. de; NOGUEIRA, N. W. Emergência e desenvolvimento inicial de plântulas de *Cassia grandis* L. f. em função de diferentes substratos. *Ciência Florestal*, v. 26, n. 3, p. 727-734, 2016. [10.5902/1980509824196](https://doi.org/10.5902/1980509824196).
- LIMA, R. L.; ENKE, D. B. S.; BRAUN, N.; FRACALOSSO, D. B. Redução do fósforo pela peneiragem da farinha de resíduos de peixes. *Ciência Rural*, v. 44, n. 10, p. 1841-1844, 2014. [10.1590/0103-8478cr20130935](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130935).
- LOOSE, L. H.; HELDWEIN, A. B.; SILVA, J. R. da; BORTOLUZZI, M. P. Yield and quality of sunflower oil in Ultisol and Oxisol under water regimes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 23, n. 7, p. 532-537, 2019. [10.1590/1807-1929/agriambi.v23n7p532-537](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n7p532-537).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. [S.l.: s.n.], 1997.
- MASSAD, M. D.; DUTRA, T. R.; CARDOSO, R. L. R.; SANTOS, T. B.; SARMENTO, M. F. Q. Produção de mudas de *Anadenanthera peregrina* em resposta a substratos alternativos com bagaço de cana. *Revista Ecologia e Nutrição Florestal - ENFLO*, v. 4, n. 2, p. 45-53, 2016. [10.5902/2316980X24308](https://doi.org/10.5902/2316980X24308)
- MORAIS, T. de C.; PINHEIRO, D. T.; MARTINEZ, P. A. H.; FINGER, F. L.; DIAS, D. C. F. dos S. Physiological and antioxidant changes in sunflower seeds under water restriction. *Journal of Seed Science*, v. 42, e202042008, 2020. [10.1590/2317-1545v42225777](https://doi.org/10.1590/2317-1545v42225777).
- MOREIRA, L. M.; MOURA, L. F.; ALMEIDA, F. B. B. de; PONTES FILHO, R. A.; GONDIM, F. A. Efeitos de diferentes concentrações de resíduo industrial de suplemento mineral para animal sobre o crescimento de plantas de girassol. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 14, n. 1, p. 4-8, 2019. [10.33240/rba.v14i1.22873](https://doi.org/10.33240/rba.v14i1.22873).
- NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant & Cell Physiology*, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981. [10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232).
- NUNES JUNIOR, F. H.; GONDIM, F. A.; FREITAS, V. S.; BRAGA, B. B.; BRITO, P. O. B. de; MARTINS, K. Crescimento foliar e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico. *Revista Ambiente & Água*, v. 12, n. 1, p. 71-86, 2017. [10.4136/ambi-agua.1964](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1964).
- OLIVEIRA, M. S.; CARVALHO, D. F. de; GOMES, D. P.;

PEREIRA, F. A. C.; MEDICI, L. O. Production of cut sunflower under water volumes and substrates with coconut fiber. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 12, p. 859-865, 2018. [10.1590/1807-1929/agriambi.v22n12p859-865](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n12p859-865).

SOARES, A. M. S.; MACHADO, O. L. T. Defesa de plantas: sinalização química e espécies reativas de oxigênio. *Revista Trópica-Ciências Agrárias e Biológicas*, v. 1, n. 1, p. 10, 2007.

SOUSA, P. G. R. de; VIANA, T. V. A.; CARVALHO, C. M. de; SILVA, L. S. da; BRASIL, S. O. S.; AZEVEDO, B. M. de. Desempenho agrônômico do sorgo em função de lâminas de irrigação e cobertura do solo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI*, v. 11, n. 8, p. 2194-2205, 2017. [10.7127/rbai.v11n800713](https://doi.org/10.7127/rbai.v11n800713).

TAGHIPOUR, M.; JALALI, M. Impact of some industrial solid wastes on the growth and heavy metal uptake of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under salinity stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 182, p. 109347, 2019. [10.1016/j.ecoenv.2019.06.030](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.06.030).

TÓTH, B.; MOLOI, M. J. The use of industrial waste materials for alleviation of iron deficiency in sunflower and maize. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, v. 8, p. 145-151, 2019. [10.1007/s40093-019-0284-4](https://doi.org/10.1007/s40093-019-0284-4).

WIROSOEDARMO, R.; ANUGROHO, F.; HANGGARA, S. D.; GUSTINASARI, K. Effect of adding chelating agents on the absorption of zinc from polluted soil sludge textile industrial waste by sunflower plant (*Helianthus annuus* L.). *Applied and Environmental Soil Science*, v. 2018, p. 1-8, 2018. [10.1155/2018/8259520](https://doi.org/10.1155/2018/8259520).

ZORZETO, T. Q.; DECHEN, S. C. F.; ABREU, M. F. de; FERNANDES JÚNIOR, F. Caracterização física de substratos para plantas. *Bragantia*, v. 73, n. 3, p. 300-311, 2014. [10.1590/1678-4499.0086](https://doi.org/10.1590/1678-4499.0086).