

Toxicidade do herbicida 2,4-D sobre germinação de sementes de *Beta vulgaris* L. (beterraba)

Roberta Sorhaia Samaya Sousa Rocha de França¹, Jean Carlo Possenti² & Asser Botelho Santana¹

¹ Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados - MS, Brasil

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Doiz Vizinhas - PR, Brasil

Correspondência: Roberta Sorhaia Samayara Sousa Rocha de França, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados - MS, Brasil. E-mail: robertassrf@hotmail.com

Recebido: Novembro 20, 2022

Aceito: Dezembro 13, 2022

Publicado: Janeiro 01, 2023

DOI: 10.14295/bjs.v2i1.218

URL: <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i1.218>

Resumo

O herbicida 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético) destaca-se como um dos ingredientes ativos (IA) mais vendidos no Brasil pelo baixo preço. O 2,4-D faz parte da classe dos herbicidas que tem um papel fundamental no controle de ervas daninhas na agricultura no mundo, possui classificação toxicológica I sendo considerado extremamente tóxico. A beterraba (*Beta vulgaris*) é uma raiz tuberosa originária do Oriente Médio que vem se espalhando por todo o mundo, das Américas à Europa e Ásia a Oceania. É um ingrediente funcional no desenvolvimento de várias refeições na culinária inclusive brasileira, e também representa uma fonte de nutrientes altamente renovável e de baixo custo. O presente trabalho avaliou o efeito da toxicidade do herbicida 2,4-D na germinação de sementes de *B. vulgaris*. O experimento seguiu delineamento inteiramente casualizado, utilizando uma testemunha e três concentrações do herbicida 2,4-D (0,04; 0,08 e 0,12 mg mL⁻¹). Foi utilizado como substrato papel germinativo, alocado em caixa germinadora. A contagem das sementes germinadas, foi realizada aos 7 e 14 dias. A germinação da beterraba foi comprometida, tendo apenas a testemunha apresentado efetiva taxa de germinação. Nas caixas de germinação contendo doses-respostas de 2,4-D as sementes apresentaram atrofia e fungos, com baixo desenvolvimento inferior a 10%, apenas a testemunha apresentou germinação saudável com 65% de taxa de germinação. O 2,4 D demonstrou nas concentrações usuais nesse estudo ser tóxico para as sementes de *Beta vulgaris*.

Palavras-chave: Fitotoxicidade, Família Chenopodiaceae, Taxa de germinação, Ácido 2,4-diclorofenoxiacético, Má formação de plântulas.

2,4-D herbicide toxicity on *Beta vulgaris* L. (beet) seed germination

Abstract

The herbicide 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) stands out as one of the most sold active ingredients (AI) in Brazil due to its low price. 2,4-D is part of the class of herbicides that play a key role in controlling weeds in agriculture worldwide, it has toxicological classification I and is considered extremely toxic. Beetroot (*Beta vulgaris*) is a tuberous root originating in the Middle East that has been spreading throughout the world, from the Americas to Europe and Asia to Oceania. It is a functional ingredient in the development of several meals in Brazilian cuisine, and also represents a highly renewable and low-cost source of nutrients. The present work evaluated the effect of the toxicity of the 2,4-D herbicide on the germination of *B. vulgaris* seeds. The experiment followed a completely randomized design, using a control and three concentrations of the 2,4-D herbicide (0.04; 0.08 and 0.12 mg mL⁻¹). Germinative paper was used as substrate, placed in a germinator box. The count of germinated seeds was performed at 7 and 14 days. Beet germination was compromised, with only the control presenting an effective germination rate. In the germination boxes containing doses-responses of 2,4-D the seeds showed atrophies and fungi, with low development below 10%, only the control showed healthy germination with 65% of germination rate. 2,4 D was shown to be toxic to *Beta vulgaris* seeds in the usual concentrations in this study.

Keywords: Phytotoxicity, Chenopodiaceae family, Germination rate, 2,4-dichlorophenoxyacetic Acid, Poor seedling formation.

1. Introdução

No Brasil, a extensa área ocupada com atividades agropecuárias, pelo clima predominantemente tropical em grande parte do seu território e o caráter exportador da agricultura, pode-se esperar que as taxas elevadas de crescimento sobre o consumo de agrotóxicos sejam mantidas nos próximos anos. Haja vista a expansão das lavouras de grãos em áreas do norte e centro-oeste do país e a adoção de técnicas de cultivos baseadas no uso de herbicidas (Monquero; Silva, 2021) (Campo et al., 2021).

Os herbicidas são os pesticidas mais empregados na agricultura brasileira (Mendes et al., 2019), representando 41% das vendas (Sindag, 2009), destes, o ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) ganha papel de destaque por ser um dos mais utilizados no setor agrícola (Merini et al., 2007). O 2,4-D ($C_8H_6Cl_2O_3$ massa molecular = 221,0 $g \cdot mol^{-1}$) (Amarante Junior et al., 2002) pertence ao grupo de ácidos orgânicos com pKa de 2,6 e pouca solubilidade em água (Silva; Stets, 2006) estando inseridos na família dos organoclorados, compostos extremamente tóxicos e de longa persistência no ambiente (Higarashi, 1999). A polaridade do 2,4-D está relacionada ao modo como se apresenta comercialmente, sendo que sua maior polaridade é obtida nas formas salinas (Sbano et al., 2013). Este é um herbicida sistêmico usado no controle de plantas daninhas de folhas largas (eudicotiledôneas) conforme discutido por Fontana (2021).

O primeiro produto para controle de plantas daninhas sintetizado pela indústria, como herbicida seletivo foi o herbicida 2,4-D (Oliveira Júnior, 2001), largamente utilizado em diversas culturas agrícolas, e sua atividade fitotóxica decorre do desbalanço hormonal que promove nas células e o consequente crescimento desordenado do tecido (Minozzi, 2022). Além disso, causam desdiferenciação das atividades meristemáticas de células maduras e inibição da divisão celular de células jovens (Islam et al., 2017). Tais anomalias alteram o ritmo normal de crescimento da plântula, provocando sua morte. Algumas espécies foram estudadas e tiveram sua germinação e desenvolvimento comprometidos pela presença de 2,4-D diluído no substrato, como exemplo *Scenedesmus quadricauda* (Wong, 2000).

Por estas razões, o controle de produção e aplicação deste herbicida está entre as prioridades nas legislações ambientais em todo o mundo, sendo que as concentrações do mesmo no meio ambiente, são determinantes para o estabelecimento da forma de uso da área, seja para fim residencial, recreativo ou industrial (Friedrich et al., 2021).

As sementes se desenvolvem à partir de óvulos fertilizados, que passam por uma série de transformações morfológicas, fisiológicas e funcionais até que a maturidade fisiológica seja atingida, quando cessa a translocação de assimilados da planta para a sementes (Taiz et al., 2021). Na beterraba (*Beta vulgaris* L.), a estrutura tecnologicamente denominada de semente, é normalmente multigérmica, apresentando entre dois a cinco aquênios formados pela junção de várias unidades florais, constituindo um espesso pericarpo corticoso (Silva et al., 2005).

Beterraba, é uma espécie tuberosa de cultura anual ou bienal de *Beta vulgaris* subsp., inclui uma variedade de raízes tuberosas no formato globular que se desenvolve quase superficialmente no solo, sendo comestíveis e de origem do Oriente Médio (Agency cfi, 2012; Sousa Filho et al., 2021), que vem se espalhando por todo o mundo, das Américas à Europa e Ásia a Oceania (Wruss et al., 2015). Pertencente a família Chenopodiaceae, é amplamente consumida na culinária tradicional ocidental por ser rica em carboidratos (açúcares). Representa uma fonte de nutrientes altamente renovável e de baixo custo. Podem ser cultivadas em solos com escassa matéria orgânica, com pouca luz e baixo teor de água (Ninfali; Angelino, 2013). O vegetal contém em suas raízes, uma elevada concentração de sacarose na faixa entre 16 a 21% do conteúdo de fotossimilados do metabolismo especial, além de conter uma importante fonte de Fe e vitaminas A, B1 e B2 e C (Ramos et al., 2016) (Sousa Filho et al., 2021). Devido a esse teor de sacarose é comumente utilizada para produção de açúcar e álcool (Ferreira et al., 2015).

Como uma fonte rica e nutritiva, acredita-se que possui características de promoção a saúde, efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios conforme citados por (Giorgiev et al. 2010), atividades anticancerígenas e antidiabéticas e propriedades hepatoprotetoras, hipotensoras e cicatrizantes (Clifford et al., 2015; Domínguez et al., 2017) e doenças cardiovasculares (Ramos et al., 2016). A beterraba é composta por vários grupos fitoquímicos biologicamente ativos, incluindo betalainas exemplo, betacianinas e betaxantinas), flavonoides, polifenóis, saponinas (Baião et al., 2017) e nitrato inorgânico (NO_3^-); é também uma rica fonte de diversos minerais como K, Na, P, Ca, Mg, Cu, Zn e Mn (Singh, 2014).

Portanto, a beterraba está atualmente sendo indicada como ingrediente funcional no desenvolvimento de várias

refeições (Chhikara et al., 2018; Domínguez et al., 2018). Sendo o herbicida 2,4-D, um dos herbicidas mais utilizados em todo o mundo (Cattaneo, 2009), apesar de sua atividade fitotóxica, e dada a importância da beterraba e sua ampla utilização, o presente trabalho objetivou analisar o efeito de diferentes concentrações do herbicida 2,4-D sobre a germinação de *B. vulgaris* L.

2. Material e Métodos

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Análises de Sementes da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Estado do Paraná, Brasil, campus Dois Vizinhos. Foram utilizadas sementes de *B. vulgaris* orgânica, desprovida de tratamento químico e acondicionadas em embalagens herméticas em câmara fria à 10 °C e 20% de umidade relativa do ar (U.R.). Antes do ensaio, as sementes foram desinfestadas com solução aquosa de hipoclorito concentração 3% (v/v) por 10 min, e em seguida, lavadas em água destilada.

O experimento seguiu escala estatística por delineamento inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e quatro repetições, onde os tratamentos constaram com 3 concentrações de 2,4-D e uma testemunha controle (testemunha = 0; 0,04; 0,08 e 0,12 mg mL⁻¹). Para cada tratamento, foram realizadas quatro repetições com 100 sementes cada. Para obtenção dos tratamentos, foram diluídas as concentrações do herbicida 2,4-D, utilizando água destilada, onde o volume final foi igual a 50 mL para cada tratamento.

Foi utilizado como substrato papel germinador “Germitest” estéril. Este, foi alocado em Caixa de Germinação acrílica transparente “Gerbox” e umedecido com a solução do herbicida e/ou água destilada (controle) de acordo com cada tratamento, em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco, adaptado (Bernardi, 2016).

Após a aplicação dos tratamentos no substrato, foram dispostas sementes de modo uniforme sem sobreposição, de forma que todas entrassem em contato direto com o herbicida. Finalizada esta etapa, as caixas germinadoras foram devidamente tapadas e alocadas em câmara de germinação do tipo B.O.D. com temperatura estabelecida para 25 °C, sem fotoperíodo por um período de 14 dias.

A contagem das sementes germinadas foi realizada aos 7 dias e 14 dias, contados após a instalação do experimento, sendo consideradas sementes germinadas as que apresentavam emissão de radícula. Assim, a porcentagem de germinação foi obtida pela razão do número de sementes germinadas, pelo número de sementes alocadas inicialmente na caixa germinadora.

Os dados obtidos foram submetidos utilizando o programa RStudio ao teste de normalidade (Shapiro-Wilki) com $p < 0,05$ de significância, sem normalidade. De acordo com os pressupostos, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis quando se apresenta diferença estatística, com $p < 0,05$ de significância, e posteriori pelo teste de Dunn, pois a hipótese nula foi rejeitada com diferença entre os grupos.

3. Resultados e Discussão

O comportamento germinativo das sementes de *B. vulgaris* foi influenciado pela interação entre herbicida e dose resposta. Nos sete primeiros dias, os tratamentos com concentrações do herbicida 2,4-D não manifestaram germinação. Aos 14 dias apresentaram medianas variáveis sobre a taxa de germinação, principalmente quando comparadas a testemunha: entre 100 sementes, a média de Germinação foram 61 e no tratamento com concentração 0,08 do herbicida, essa média foi de 5% germinação, apresentando diferença significativa. Nos demais tratamentos é possível verificar que a diferença na concentração de 0,04 de 2,4-D houve uma taxa inferior a 10% de germinação conforme observado na (Figura 1).

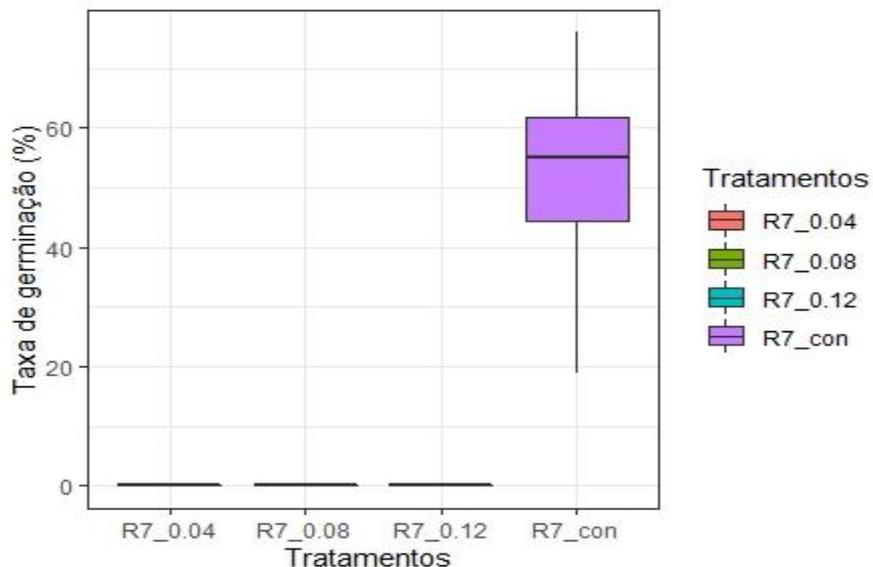


Figura 1. Taxa de germinação de sementes de beterraba (*Beta vulgaris*), por tratamento ao longo de 7 dias. Fonte: autores, 2022.

No controle, cerca de 80% das sementes de *B. vulgaris* germinaram ao final dos 14 dias (Figura 2), no entanto, os demais tratamentos a taxa foram inferiores a 10% sobre a taxa germinativa.

O teste da posteriori de Dunn demonstrou que as concentrações do herbicida 0.08; 0.04 e 0.12 mg mL⁻¹ não diferem entre si, embora o controle tenha diferido das demais concentrações 0.04; 0.08 e 0.12 mg mL⁻¹.

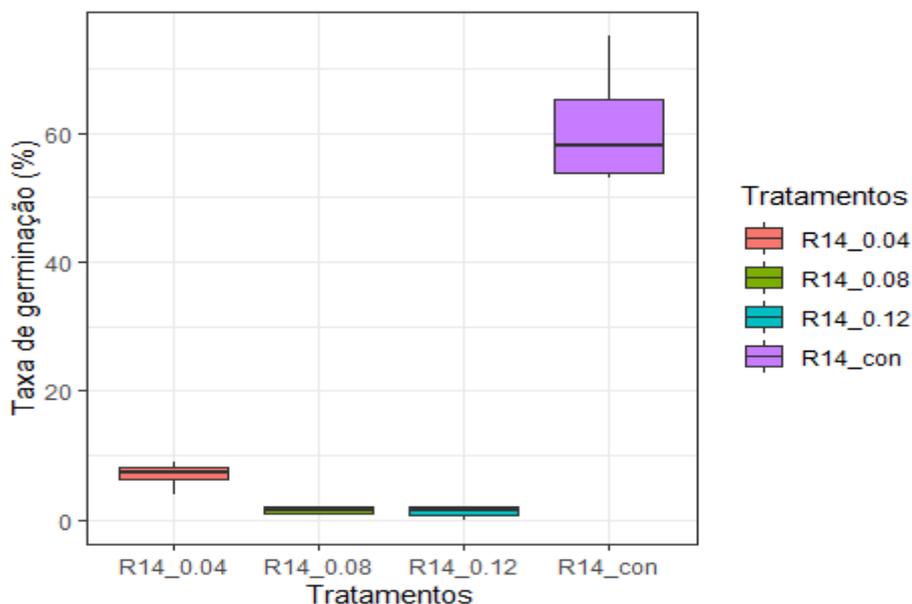


Figura 2. Taxa de germinação de sementes de beterraba (*Beta vulgaris*) por tratamento, ao longo de 14 dias. Fonte: Autores, 2022.

A diferença entre as medianas dos grupos 7 e 14 dias foi de 42,5%, apresentando variância para *B. vulgaris*. Na Figura 3 (a) estão apresentadas plântulas atrofiadas pela ação do herbicida 2,4-D após 7 dias de experiment, Figura 3 (b) visão geral especial apresentando caixa de germinação (tratamento com concentração 0,12 mg mL⁻¹

do herbicida) algumas sementes com fungos foram observadas, mas nenhuma plântula viva ao final do experimento (14 dias), e na Figura 3 (c) testemunha, com plântulas de aparência saudável e bem desenvolvidas.



O herbicida 2,4-D apresenta pontos favoráveis dentre eles, ser um herbicida auxínico de grande eficiência no controle de plantas daninhas e seletivo para gramíneas por apresentar baixo custo de aquisição entre os Produtores rurais, e pontos negativos, como alto tempo de exposição nos ambientes naturais. Embora existam poucos estudos com 2,4-D sobre hortaliças, estudos com grandes culturas por exemplo, sorgo (*Sorghum bicolor*), demonstram que esse herbicida apresenta baixa fitointoxicação e não interfere na biomassa em plântulas pós-emergência (Furquim et al., 2019). Prati et al. (1999) verificaram que doses de 2,4-D demonstram aptidão para estímulo sobre o enraizamento de estacas de limão. Efeitos deletérios sobre sementes de hortaliças são observados e descritos por Teixeira & Paulino (2020) onde verificaram que a composição com 2,4-D + Picloram apresentou atraso de 48 h sobre a taxa de germinação de sementes de *Lactuca sativa* (alface). Embora tenham observado taxas de germinação em diferentes concentrações, o desenvolvimento radicular foi afetado sobre as doses-dependentes do herbicida. Plantas de *Conyza bonariensis* em campo tratadas com a dose de 2,4-D (1.005 g ha⁻¹) apresentou toxicidade de 75% aos 7 dias de experimento e de 85% aos 15 dias e com 30 dias 90% (Vargas et al., 2007). Já Silva & Paulino (2020) verificaram para 2,4-D sobre a taxa de germinação de *Capsicum annuum* entre as concentrações 1 a 10% atraso no tempo de germinação de 24 h, quando comparado ao controle com germinação em 120 h. Além disso, nas maiores concentrações do herbicida, a taxa de germinação diminuiu consideravelmente após o 5º dia. No grupo 10% de 2,4-D não houve germinação. Comparando os estudos com sementes diversas, observa-se que nossos achados são similares aos relatos da literatura, onde o herbicida 2,4-D age sobre a taxa de germinação e má formação de plântulas.

Oliveira et al. (2011) discute que o herbicida 2,4-D dificulta a divisão e o alongamento celular devido ao desequilíbrio hormonal que é promovido dentro da célula vegetal, este, a partir do aumento da biossíntese do gás etileno, dos fitohormônios giberélico, das citocininas e do ácido abscísico (ABA), onde essa interferência ocasiona um desenvolvimento desordenado na planta, ponderando nas atividades meristemáticas.

O acúmulo de ABA e gás etileno, é responsável pela maior interferência nos sistemas orgânicos dos vegetais, quando abordados pelo herbicida 2,4-D, causando efeitos deletérios como o estresse oxidativo induzido pela alta produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), o mais comum Oxigênio Singleto. Este feito tem sido relatado como um efeito da superconcentração do fitohormônio auxina, levando à homeostase da auxina e interações com outros fitohormônios (Grossmann, 2010).

Além de modificar a mobilidade dos peroxissomos e mitocôndrias no ambiente intracelular, quando modificada a plasticidade da parede celular, o 2,4-D apresenta ação deletéria na estrutura do citoesqueleto de actina, contribuindo na epinastia (anormal curvatura) dos órgãos vegetais. À medida que essas organelas se movem ao longo da célula, por compartilharem diversos metabólitos entre si e com os cloroplastos, o desequilíbrio da actina altera no metabolismo dos peroxissomos e das mitocôndrias. Visto que os peroxissomos são organelas antioxidantes. Sua grande função é diminuir o conteúdo de EROs em desiguais fragmentos das células (Rodríguez-Serrano et al., 2014).

Segundo Saad (1978) os principais sintomas sofridos pelas plantas susceptíveis à aplicação do 2,4-D referem-se ao crescimento anormal, folhas murchas, folhas enroladas na parte inferior, caule curvando-se em direção ao solo e endurecendo (às vezes rachando) ou aumentando de volume ao longo da maior parte de seu comprimento, a casca começa a se partir e dentro dessas rachaduras aparecem galhos e raízes, os brotos tem seu desenvolvimento interrompido. Adjunto com órgãos malformados com frutos sem sementes e mal desenvolvidos, o vegetal começa a perder sua cor de origem, ficam amarelas (clorose) e morrem (Foloni, 2016).

4. Conclusões

As sementes de beterraba (*Beta vulgaris*) apresentaram baixa taxa de germinação, manifestando anomalias, epinastia, atrofia e murchas vasculares em concentrações similares baixas de 2,4-D (mg mL⁻¹). Deste modo, a fisiologia das sementes foi afetada pela aplicação do herbicida 2,4-D demonstrando efeito deletério desse produto agrícola sobre a taxa de germinação e desenvolvimento de sementes de *B. vulgaris*.

5. Referências

- Agency CFI. (2012) The Biology of Beta vulgaris L. (Sugar Beet). Canadian Food Inspection Agency; Canada: Government of Canada; Disponível em: <<http://www.inspection.gc.ca/plants/plants-with-novel-traits/applicants/directive-94-08/biology-documents/beta-vulgaris-1/eng/1330725373948/1330725437349>> Acesso em 29 jul. 2022.
- Amarante Júnior, O. P., Brito N. M., Santos T. C. R. (2002) Estudo da adsorção/dessorção de 2,4-D em solos usando técnica cromatográfica. *Revista Eclética Química*, 27, 253-261. <https://doi.org/10.1590/S0100-46702002000200021>.
- Baião, D. D. S., da Silva, D. V., Del Aguila, E. M., & Paschoalin, V. M. F. (2017) Nutritional, Bioactive and Physicochemical Characteristics of Different Beet Formulations. *Aditivos alimentares*. 6(6). <https://doi.org/10.5772/intechopen.69301>.
- Bernardi, D. (2016) Qualidade fisiológica de sementes de milho com tratamento inseticida antes e após o armazenamento. (Dissertação de mestrado) Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel-PR. 73p.
- Campos, A. L., Ignacio, A. R. A., Junior, E. S. O., & Lázaro, W. L. (2021) O avanço do agrotóxico no Brasil e seus impactos na saúde e no ambiente. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 14(1), 1-15. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n1.e007934>
- Cattaneo R. (2019). *Parâmetros metabólicos e histológicos de jundiás (rhamdia quelen) expostos à formulação comercial do herbicida 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)*. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas: Bioquímica Toxicológica Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS.
- Chhikara, N., Kushwaha, K., Sharma, P., Gat, Y., & Panghal, A. (2018) Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: a critical review. *Food Chem.* 272, 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.022>
- Clifford, T., Howatson, G., West, D. J., & Stevenson, E. J. (2015) The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*, 7(4), 2801–2822.
- Domínguez, R., Cuenca, E., Maté-Muñoz, J. L., García-Fernández, P., Serra-Paya, N., Estevan, M. C. L., ... & Garnacho-Castaño, M. V. (2017) Effects of beetroot juice supplementation on cardiorespiratory endurance in athletes. A systematic review. *Nutrients*, 9(1), 43. <https://doi.org/10.3390/nu9010043>
- Domínguez, R., Maté-Muñoz, J. L., Cuenca, E., García-Fernández, P., Mata-Ordoñez, F., Lozano-Estevan, M. C., ... & Garnacho-Castaño, M. V. (2018) Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts. *J Int Soc Sports Nutr.*, 15(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0204-9>
- Ferreira J. C., Martins J. M., Finzer J. R. D. (2015) *Fermentação de sacarose extraída da Beterraba Sacarina (Beta vulgaris L.)*. 9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015. Uberaba – MG.
- Foloni, L. L. (2016) *O herbicida 2,4-D: Uma visão geral*. Ribeirão Preto, Brazil: Labcom Total.
- Fontana, N. (2021). Efeitos da deriva simulada de 2, 4-D sobre feijão, soja, tomateiro e videira. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Fraser, P. D., Truesdale, M. R., Bird, C. R., Schuch, W., & Bramley, P. M. (1994) Carotenoid biosynthesis during

- tomato fruit development' evidence for tissue-specific gene expression. *Plant Physiology*, 105, 405–413. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00061820>.
- Friedrich, K., Silveira, G. R. D., Amazonas, J. C., Gurgel, A. D. M., Almeida, V. E. S. D., & Sarpa, M. (2021) Situação regulatória internacional de agrotóxicos com uso autorizado no Brasil: potencial de danos sobre a saúde e impactos ambientais. *Cadernos de Saúde Pública*, 37. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00061820>.
- Furquim, L. T., Monquero, P. A. & Silva, R. P. (2019). Efeito de herbicidas no crescimento inicial do sorgo sacarino. *Nativa*, 7(1), 37-42. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i1.6441>
- Georgiev, V. G., Weber, J., Kneschke, E. M., Denev, P. N., Bley, T., & Pavlov, A. I. (2010). Antioxidant activity and phenolic content of Betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the red beetroot *Beta vulgaris* cv. Detroit dark red. *Plant Foods Hum Nutr.*, 65(2), 105–11. <https://doi.org/10.1007/s11130-010-0156-6>.
- Halevy, S., Koth, H., Guggenheim, K. (1957) The vitamin and mineral content of fruits and vegetables grown in Israel. *British Journal of Nutrition*, 11, 409–413.
- Higarashi, M. M. (1999). *Processos Oxidativos Avançados Aplicados à Remediação de Solos Brasileiros Contaminados com Pesticidas*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 96p.
- Mendes, C. R. A., Mendes, C. E. P., Dos Santos, F. S. E., Luz, K. S. R., & Santana, L. P. (2019). Agrotóxicos: principais classificações utilizadas na agricultura brasileira-uma revisão de literatura. *Revista Maestria*, 17, 95-107.
- Minozzi, G. B. *Eficácia, absorção e translocação de glifosato e 2,4-D em Spermatoce verticillata (L.)*. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Monquero, P. A. & Silva, P. V. (2021) Comportamento de herbicidas no ambiente. *Matologia: Estudos sobre Plantas Daninhas*, 253-294.
- Ninfali, P., Angelino, D. (2013) Nutritional and functional potential of *Beta vulgaris* cicla and rubra. *Fitoterapia*, 89, 188-199.
- Oliveira JR, R. S. (2011) Mecanismos de ação de herbicidas – In: Oliveira JR, R. S.; Constantin, J., Inoue, M. H. *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba-PR.
- Oliveira Júnior, R.S. (2001) Mecanismos de ação de herbicidas. In: Oliveira Júnior, R.S.; Constantin, J. *Plantas daninhas e seu manejo*. Guaíba: Agropecuária, p.207-260.
- Prati, P., Mourão Filho, F. A. A., Dias, C. T. S. & Scarpare Filho, J. A. (1999). Estaquia semi-lenhosa: um método rápido e alternativo para a produção de mudas de lima ácida 'tahiti'. *Scientia Agrícola*, 56(1). <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161999000100025>
- Ramos, J. A., Daiuto, É. R., Fujita, É., Carvalho, L. R. & Vieites, R. L. (2016). Acceptability of beetroot pre-processed under different cooking methods. *Nativa*, 4(4), 211-216. <https://doi.org/10.31413/nativa.v4i4.3012>
- Rodríguez-Serrano, M., Pazmiño, D. M., Sparkes, I., Rochetti, A., Hawes, C., Romero-Puertas, M. C., & Sandalio, L. M. (2014) 2,4-diclorophenoxyacetic acid promote S-nitrosylation and oxidation of actin affecting cytoskeleton and peroxisomal dynamic. *Journal of Experimental Botany*, 50(17), 4783-4793.
- Sbano, A., Ferreira, J. V. R., Peckle, B. A., Macrae, A., & Direito, I. C. N. (2013). Otimização de método cromatográfico para quantificação do herbicida ácido 2,4-diclorofenoxyacético (2,4-D). *Acta Scientiae & Technicae*, 1(2).
- Silva, D. C. & Paulino, M. G. (2020). Efeitos da toxicidade na germinação e crescimento de *Capsicum annum*. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, 1(1), 86. <https://editoraime.com.br/revistas/index.php/rema/article/view/148>
- Silva, J.B.; Vieira, R.D.; Cecílio Filho, A.B. (2005) Superação de dormência em sementes de beterraba por meio de imersão em água corrente. *Horticultura Brasileira*, 23(4), 990-992. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000400026>
- Sindag (2009). Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/portal/page?_pageid=33,2789141&_dad=portal&_schema=PORTAL>. Acesso em: 28 de abril de 2022.

- Singh, B., Hathan, B. S. (2014) Composição química, propriedades funcionais e processamento de beterraba - uma revisão. *Int J Sci Eng Res.*, 5(1), 679-684.
- Sousa Filho, P. H., Donato, F., Oliveira, M. E., Santana, M. J. & Pereira, D. P. (2021). Fator de disponibilidade de água no solo e adubação nitrogenada para a cultura da beterraba. *Nativa*, 9(2), 222-228. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i2.11693>
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. (2021). *Fundamentos de Fisiologia Vegetal-6*. Artmed Editora.
- Teixeira, R. L. & Paulino, M. G. (2020). Efeitos da toxicidade do solo por 2,4-D + picloram: Bioensaios de germinação e desenvolvimento em *Lactuca sativa*. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, 1(1), 85. <https://editoraime.com.br/revistas/index.php/rema/article/view/147>
- Vargas, L., Bianchi, M. A., Rizzardi, M. A., Agostinetto, D. & Dal Magro, T. (2007). Buva (*Conyza bonariensis*) resistente ao glyphosate na região Sul do Brasil. *Planta Daninha*, 25(3), 573-578. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582007000300017>
- Wong, P.K. (2000). Effects of 2,4-D, glyphosate and paraquat on growth, photosynthesis and chlorophyll-a synthesis of *Scenedesmus quadricauda* Berb. *Chemosphere*, 41(1), 177-182. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00408-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00408-7)
- Wruss, J., Waldenberger, G., Huemer, S., Uygun, P., Lanzerstorfer, P., Müller, U., ... & Weghuber, J. (2015). Compositional characteristics of commercial beetroot products and beetroot juice prepared from seven beetroot varieties grown in Upper Austria. *J Food Compos Anal.* 42, 46-55. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.03.005>

Copyrights

Copyright for this article is retained by the author(s), with first publication rights granted to the journal.

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).