

## II-1340 - IMPACTO DA IVERMECTINA INOCULADA EM BIOFERTILIZANTE NA PRODUTIVIDADE DA ALFACE (*LACTUCA SATIVA*)

### Gabriel Monteiro dos Santos<sup>(1)</sup>

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC/Florianópolis).  
Mestrando em Engenharia Ambiental pela UFSC/Florianópolis.

### Vitor Pereira Vaz<sup>(2)</sup>

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC/Florianópolis).  
Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC/Florianópolis. Doutorando em Engenharia Ambiental na UFSC/Florianópolis e em Ciências Ambientais na Université du Québec à Montréal (UQAM/ Montréal).

### Amanda Silva Nunes<sup>(3)</sup>

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR/Londrina).  
Mestra em Engenharia Ambiental pela UTFPR/Londrina. Doutoranda em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC/Florianópolis).

### Maria Elisa Magri<sup>(4)</sup>

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC/Florianópolis).  
Mestra e Doutora em Engenharia Ambiental pela UFSC/Florianópolis. Docente do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC/Florianópolis.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, GRUPO RReSSa – Recuperação de Recursos em Sistemas de Saneamento. Rua Delfino Conti - Trindade - Florianópolis - SC - CEP: 88.040-970 - Brasil - Tel: (48) 3721-7740 - e-mail: [monteiro.g142@gmail.com](mailto:monteiro.g142@gmail.com)

## RESUMO

O aumento do consumo da ivermectina durante a pandemia de COVID-19 levantou preocupações sobre seus possíveis impactos no meio ambiente como no solo, na biota ou nos corpos hídricos. Buscando entender esses efeitos o presente trabalho foi desenvolvido para avaliar os possíveis impactos da ivermectina na produtividade da *Lactuca sativa* quando presente em fezes estabilizadas usadas como biofertilizantes. Foram preparados 5 lisímetros, nos quais foi aplicado ao solo uma mistura de biofertilizante com a ivermectina, um sendo para controle, dois aplicando uma baixa concentração ( $3 \text{ ug g}^{-1}$ ) e os últimos dois aplicando uma alta concentração ( $30 \text{ ug g}^{-1}$ ). A produtividade da alface foi determinada através de medições semanais (tamanho de folha e número de folhas) e medidas realizadas ao final do ciclo (altura de planta, diâmetro de cabeça, diâmetro de caule, comprimento de raiz, massa fresca e massa seca). Em seguida foram feitas análises estatísticas para determinação da significância entre os tratamentos utilizados na pesquisa e foi realizado um cenário de aplicação das fezes estabilizadas com ivermectina em uma fazenda de 1,2 ha na qual uma família de 5 pessoas moraria e teria um cultivo de alface. Os resultados obtidos mostraram que não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) na produtividade da alface, entre o lisímetro de controle e os lisímetros que possuíam ivermectina. Os testes indicaram que a ivermectina inoculada em fezes estabilizadas durante um período de 30 dias não apresentou efeito na produtividade da *Lactuca sativa*.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biofertilizante. Contaminantes de preocupação emergentes. Ivermectina. *Lactuca sativa*. Saneamento Ecológico.

## INTRODUÇÃO

O crescente aumento populacional global, aliado aos hábitos de consumo da população, aumenta as atividades agroindustriais para produção de alimentos e conseqüentemente a demanda de fertilizantes para produção agrícola (ERTHAL; MOTA, 2022). Os fertilizantes minerais possuem desvantagens como elevado custo, baixa disponibilidade e esgotamento das fontes não renováveis, energia necessária para produzir e transportar tais fertilizantes, além de efeitos adversos causados no solo quando utilizados de forma incorreta, como o esgotamento dos macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) (WERNER, *et al.* 2004).

Uma das maneiras de se obter biofertilizantes é através da recuperação de recursos de sistemas de saneamento, como a coleta excretas de banheiros separadores que após tratamento e estabilização é possível reduzir patógenos (MAGRI, 2013). A utilização de excretas tratadas para cultivo de plantas e condicionamento do solo se destaca também por conta do seu potencial nutritivo, e sua abordagem ecossistêmica e de fechamento de ciclo de nutrientes (SIMHA; ZABANIOTOU; GANESAPILLAI, 2018).

A separação das fezes e da urina humana faz com que seu tratamento e reciclo individuais possibilitem formas mais eficientes de aproveitamento dos seus componentes, além de facilitar a remoção de patógenos (predominantes nas fezes) e contaminantes de preocupação emergente (principalmente resíduos de hormônios e fármacos – predominantes na urina) (ESREY *et al.*, 2001).

A ivermectina é um fármaco antiparasitário de uso humano e veterinário contra uma ampla variedade de nematoides, ácaros e insetos (LIEBIG *et al.*, 2010). Esse produto e os fármacos de mesma família podem chegar ao solo e às culturas agrícolas através de diferentes meios de aplicação, como através do uso de biofertilizantes, seja lodo, esterco de gado, fezes humanas estabilizadas ou mesmo através da disposição inadequada de dejetos (DIONISIO; RATH, 2016). Devido aos seus usos antiparasitários, é encontrado principalmente nas fezes, nas quais ocorrem 99% de sua eliminação (CANGA *et al.*, 2008).

Considerando o uso de biofertilizantes na agricultura e da ocorrência de ivermectina neste subproduto, existe uma preocupação a respeito das implicações da ivermectina no meio ambiente e sobre os seus impactos aos organismos não alvo (DIONISIO; RATH, 2016).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi o de identificar o impacto da ivermectina inoculada em biofertilizante na produtividade da *Lactuca sativa*. Para demonstrar a aplicabilidade e confiabilidade do uso de fezes estabilizadas como biofertilizante.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em Florianópolis, município do estado de Santa Catarina (27° 35' 49" Sul e 48° 32' 58" Oeste). No total, cinco unidades experimentais para o cultivo de hortaliças, chamados aqui de lisímetros, com volume de 1 m<sup>3</sup>, área superior de 1,79 m<sup>2</sup> e profundidade de 0,76 m foram utilizadas. O solo utilizado para preenchê-lo foi classificado como Argissolo Vermelho-amarelo Distrófico e Cambissolo Háplico Tb Distrófico.

- Plantio e aplicação de biofertilizantes

Fezes humanas estabilizadas com uréia e carbonatos provenientes de banheiro seco com separação de urina foram utilizadas como biofertilizante (MAGRI, 2013). Para adubação, foram utilizados 2,5 kg de fezes por lisímetro (CARLON, 2021). As fezes foram contaminadas com ivermectina para fins de avaliação do fármaco. Os cálculos para as concentrações do mesmo consideraram uma casa de uma família de cinco pessoas em que uma fazia o uso de dose única de ivermectina equivalente a 150 µg g<sup>-1</sup> e esse número foi dividido por residente para atingir a concentração de 30 µg g<sup>-1</sup> do contaminante nas fezes excretadas, que seriam usadas como biofertilizante.

Foram utilizados cinco lisímetros: um controle (C) em que foi aplicado o biofertilizante, dois lisímetros com inoculações de baixa concentração de 3 µg g<sup>-1</sup> de ivermectina por grama de fertilizante (B1 e B2) e nos últimos dois foram realizadas inoculações de alta concentração no valor de 30 µg g<sup>-1</sup> de ivermectina por grama de fertilizante (A1 e A2).

A cultura utilizada para o experimento foi a alface crespa (*Lactuca sativa*), com o plantio de 16 mudas por lisímetro realizado no dia 13 de maio de 2022 e monitorado até o dia 10 de junho de 2022.

- Monitoramento das unidades experimentais

Foram realizadas medições semanais de produtividade de acordo com Carlon (2021), selecionando semanalmente quatro alfaces aleatórias de cada lisímetro, na qual nenhuma alface foi selecionada para medição mais de uma vez. As medidas semanais foram altura de planta e número de folhas. Para as medidas de produtividade ao final do ciclo foram coletadas uma alface de cada lisímetro e avaliados os parâmetros altura de planta, diâmetro do caule, diâmetro da cabeça, massa fresca (MF) e massa seca (MS). As medidas de

MS fizeram uso de pesagem da parte aérea da cabeça de alface após secagem em estufa (SOLAB – SL100) à 65 °C por 96 horas.

- Análise dos dados

O software *GraphPad 9.4.0.* foi o utilizado para fazer as análises dos dados semanais.

## RESULTADOS OBTIDOS

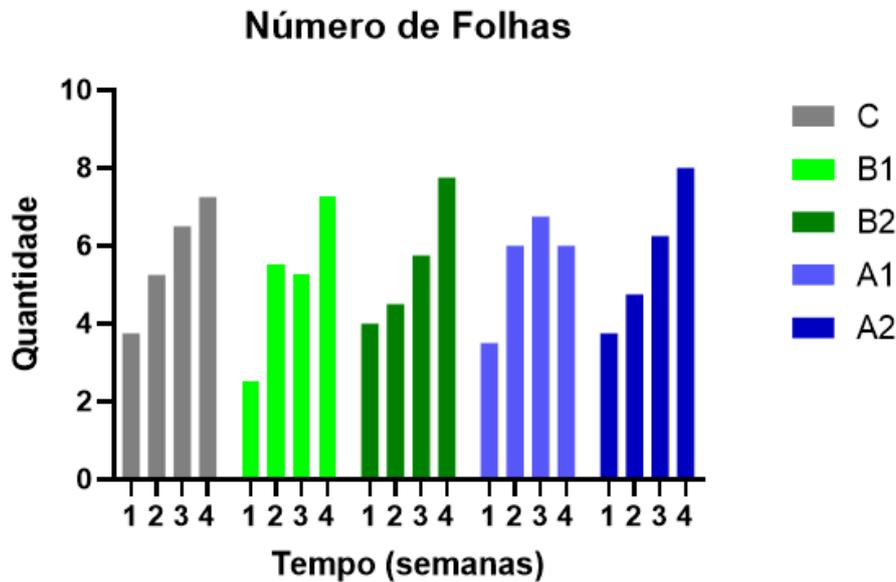
O cultivo perdurou dos dias 13 de maio de 2022 a 10 de junho, de 2022 nesse período a temperatura média do ar foi de 17,1 °C, com mínima de 10,7 °C (9º dia de cultivo) e máxima de 20,5 (11º dia de cultivo) °C. A precipitação máxima acumulada ocorreu no dia 29 de maio, com 29,4 mm e a soma da precipitação durante os 30 dias foi de 144 mm. A média relativa do ar foi de 83,3%, com mínima de 52,4% (7º dia de cultivo) e máxima de 98,3 (12º dia de cultivo) °C (EPAGRI/CIRAM, 2022).

**Tabela 1: Síntese dos resultados discutidos (C: controle; B1 e B2: baixa concentração (3 µg g<sup>-1</sup>); A1 e A2: alta concentração (30 µg g<sup>-1</sup>)).**

	C	B1	B2	A1	A2
Nº de Folhas	<b>7,00 ± 0,50</b>	<b>7,00 ± 0,96</b>	<b>8,00 ± 0,50</b>	<b>6,00 ± 0,82</b>	<b>8,00 ± 0,82</b>
Tamanho da Folha (cm)	<b>10,40 ± 0,48</b>	<b>10,60 ± 0,85</b>	<b>10,50 ± 1,55</b>	<b>9,80 ± 0,91</b>	<b>11,30 ± 1,50</b>
Diâmetro de Cabeça (cm)	<b>12,00</b>	<b>14,00</b>	<b>15,00</b>	<b>13,50</b>	<b>15,30</b>
Comprimento da Raiz (cm)	<b>11,00</b>	<b>13,00</b>	<b>9,00</b>	<b>12,00</b>	<b>8,00</b>
Massa Fresca (g)	<b>19,05</b>	<b>21,61</b>	<b>19,61</b>	<b>22,39</b>	<b>19,51</b>
Massa Seca (g)	<b>0,95</b>	<b>0,90</b>	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>1,02</b>
Diâmetro do Caule (cm)	<b>7,98</b>	<b>8,03</b>	<b>9,64</b>	<b>6,95</b>	<b>8,40</b>
Altura de Planta (cm)	<b>13,00</b>	<b>15,00</b>	<b>16,00</b>	<b>15,00</b>	<b>18,00</b>

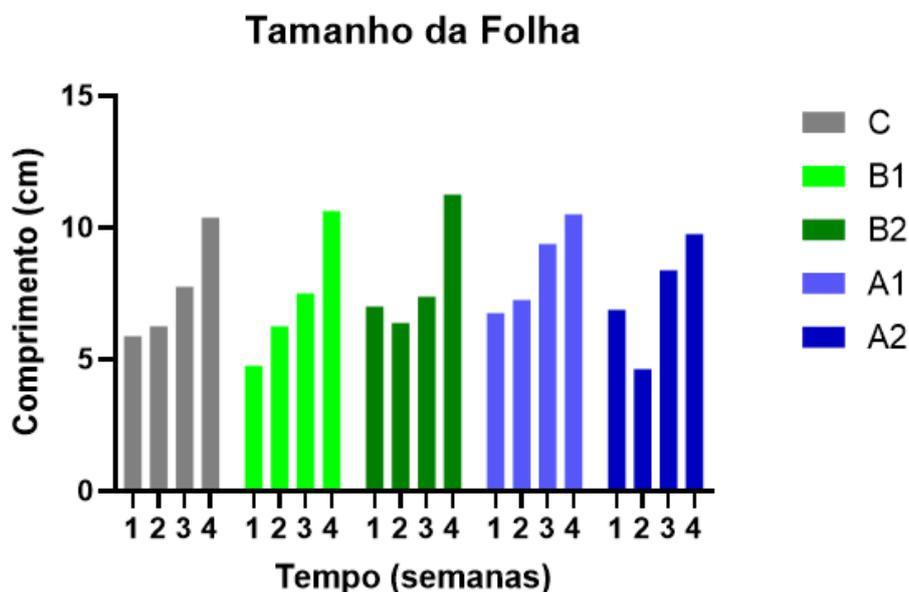
Nenhuma das alfaces colhidas dos cultivos do trabalho apresentaram distúrbios fisiológicos ou alterações morfológicas causadas pela ivermectina. Os resultados obtidos pela análise estatística mostraram que não houve diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre o lisímetro de controle para com os outros lisímetros. O mesmo resultado foi encontrado na comparação, entre os lisímetros de baixa concentração e alta concentração, em nenhum dos estágios de observação e das análises, ou seja, a presença de ivermectina não afetou negativamente o crescimento e produtividade da alface. O aumento do número de folhas e do tamanho das folhas em cada tratamento foi normal ao comparar-se com o trabalho feito por CARLON (2021) realizado no mesmo local com o mesmo tipo de fertilizante. A maior média do número de folhas observado foi de  $8,00 \pm 0,50$  e de  $8,00 \pm 0,82$  nos lisímetros B2 e A2 respectivamente, enquanto nos lisímetro C, B1 e A1 as quantidades de folhas foram de  $7,00 \pm 0,50$ ,  $7,00 \pm 0,96$  e  $6,00 \pm 0,82$  respectivamente. Como observado na figura 1.

Figura 1: Desenvolvimento semanal do número de folhas



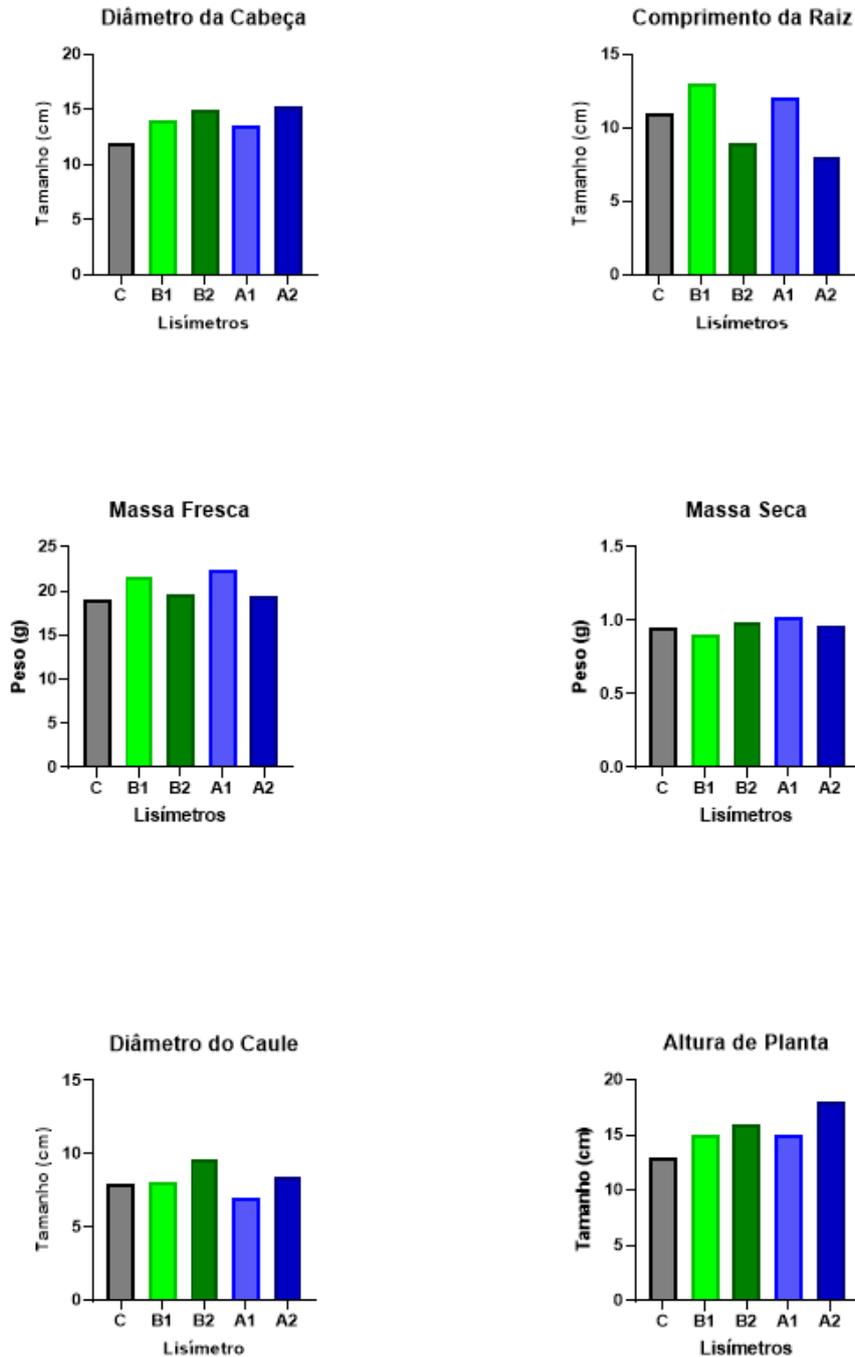
A maior média do tamanho da folha observado foi no lisímetro A2 com  $11,30 \pm 1,50$  cm, enquanto para C, B1, B2 e A1 foram encontrados  $10,40 \pm 0,48$  cm,  $10,60 \pm 0,85$  cm,  $10,50 \pm 1,55$  cm e  $9,80 \pm 0,91$  cm respectivamente. Como mostrado na figura 2.

Figura 2: Desenvolvimento semanal de tamanho de folha



Acerca dos dados de produtividade ao final do ciclo, para o diâmetro de cabeça o maior resultado foi encontrado em A2 com 15,30 cm, enquanto para C, B1, B2 e A1 foram identificados 12,00 cm, 14,00 cm, 15,00 cm e 13,50 cm respectivamente. O maior comprimento de raiz analisado foi o de B1 com 13 cm, enquanto nos outros C, B2, A1 e A2 foram encontrados 11,0 cm, 9,00 cm, 12,00 cm e 8,00 cm respectivamente. Com relação a massa fresca o maior dado mensurado foi o do A1 com 22,39 g, já para C, B1, B2 e A2 foram mensurados 19,05 g, 21,61 g, 19,61 g e 19,51 g respectivamente. Para a massa seca o maior dado encontrado foi o do A1 com 1,02 g, para C, B1, B2 e A2 foram encontrados 0,95 g, 0,90 g, 0,95 g, 0,97g. Os resultados identificados relacionados ao diâmetro do caule para C, B1, B2, A1 e A2 foram 7,98 cm, 8,03 cm, 9,64 cm, 6,95 cm e 8,40 cm respectivamente. Para a altura de planta os dados mensurados foram 13,00 cm, 15,00 cm, 16,00 cm, 15,00 cm e 18,00 cm, respectivamente para C, B1, B2, A1 e A2. Os dados podem ser visualizados na figura 3.

**Figura 3: Dados finais de produtividade da cultura.**



Os resultados analisados do lisímetro de controle foram comparados aos do primeiro ciclo de cultivo do trabalho desenvolvido por Carlon (2021), no qual uma das culturas de alface foi fertilizada com fezes estabilizadas e submetida a condições semelhantes de temperatura e de precipitação. Os dados semanais e finais da produtividade da cultura não mostraram diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) aos apresentados por Carlon (2021).

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

É possível avaliar que as concentrações aplicadas de contaminante possivelmente não foram suficientes para afetar a produtividade da cultura. Alguns trabalhos demonstram a não ocorrência de efeitos em alface com fármacos, como em AHMED *et al.* (2015) no qual a cultura de alface, cultivada por 45 dias, em estufa com temperatura (25 °C) e umidade (70%) controladas, foi enriquecida com 6 tipos de antibióticos (tetraciclina, oxitetraciclina, clortetraciclina, sulfametazina, sulfametoxazol e sulfadimetoxina) à três concentrações diferentes (5, 10 e 20 mg kg<sup>-1</sup> solo). Para as concentrações de 5 e 20 mg kg<sup>-1</sup> foram observados impactos negativos nos parâmetros produtivos da alface, como número de folhas, tamanho da folha e massa da cultura, mas na concentração de 10 mg kg<sup>-1</sup> não foram observadas alterações significativas dos mesmos.

Outro indicativo trazido pelo estudo é predominância da assimilação e o transporte de fármacos da alface pelo fluxo de água interno e não por suas características lipofílicas, o que poderia acarretar em uma dificuldade para a ivermectina, que possui características de baixa solubilidade em água (LIEBIG *et al.*, 2010) e uma alta lipossolubilidade (MUÑOZ *et al.*, 2018), com isso não apresentando interferência na produtividade da alface no período de teste.

Outro motivo sobre a não influência da ivermectina na alface seria o tempo de exposição da alface ao contaminante. Com base na pesquisa de Chuang *et al.* (2019), o tempo de 1 mês não é suficiente para a assimilação do contaminante pela cultura, no qual foi observado em que moléculas maiores que 400 g mol<sup>-1</sup> (ivermectina 874,7 g mol<sup>-1</sup>) conseguem se fixar na raiz da planta, mas tem seu transporte para as folhas dificultada por mecanismos da cultura, podendo levar de 5 a 7 semanas para atingirem as folhas. A alface tem seu cultivo médio de 55 dias, ou seja, a ivermectina poderia levar mais tempo para atingir as folhas do que o próprio período necessário para colheita, e no caso deste trabalho o estudo foi realizado em um período de 30 dias.

## CONCLUSÕES

Os resultados das medidas semanais e ao final do ciclo permitiram concluir que durante o período de 30 dias do cultivo não houve efeito da ivermectina inoculada no biofertilizante nas características analisadas da cultura de alface. Portanto, as fezes estabilizadas mesmo com a presença da ivermectina apresentam potencial para reuso agrícola na plantação da cultura da alface quando considerado somente esse fármaco, desde que as condições semelhantes às utilizadas nesse trabalho e que as práticas de segurança e do tratamento do biofertilizante sejam corretamente utilizadas. Sendo assim o uso de biofertilizantes com a presença de contaminantes de preocupação emergente precisa ser avaliado para outros cenários, estudando-se melhor a interação das fezes estabilizadas com outros tipos de contaminantes, sob efeitos de diferentes condições climáticas, em diferentes tipos de solo e analisar os efeitos gerados em outras culturas para assim promover o seu uso de forma segura e eficiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMED, M. B. M., RAJAPAKSHA, A. U., LIM, J. E., VU, N. T., KIM, I. S., KANG, H. M., LEE, S. S., & OK, Y. S. *Distribution and accumulative pattern of tetracyclines and sulfonamides in edible vegetables of cucumber, tomato, and lettuce. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(2), 398–405. (2015).
2. CANGA, A. G., PRIETO, A. M. S., DIEZ LIÉBANA, M. J., MARTÍNEZ, N. F., SIERRA VEGA, M., & GARCÍA VIEITEZ, J. J. *The pharmacokinetics and interactions of ivermectin in humans - A mini-review. AAPS Journal*, 10(1), 42–46. (2008).
3. CHUANG, Y. H., LIU, C. H., SALLACH, J. B., HAMMERSCHMIDT, R., ZHANG, W., BOYD, S. A., & LI, H. *Mechanistic study on uptake and transport of pharmaceuticals in lettuce from water. Environment International*, 131, 104976. (2019).
4. CARLON, PRISCILA. *Aplicação de biofertilizantes de excretas humanas para o cultivo de alimentos: eficiência agrônômica e comportamento microbiológico.*, 2021.
5. DIONISIO, A. C., & RATH, S. *Abamectin in soils: Analytical methods, kinetics, sorption and dissipation. Chemosphere*, 151, 17–29. (2016).
6. ESREY, S. A., ANDERSSON, I., HILLERS, A., & SAWYER, R. *Ecological sanitation for food security. In Water Resources*. (2001).
7. ERTHAL, K. T., & MOTA, E. P. da. *Tendências mercadológicas no segmento de fertilizantes na produção de grãos.* (2022).

8. LIEBIG, M., FERNANDEZ, Á. A., BLÜBAUM-GRONAU, E., BOXALL, A., BRINKE, M., CARBONELL, G., EGELER, H., FENNER, K., FERNANDEZ, C., FINK, G., GARRIC, J., HALLING-SØRENSEN, B., KNACKER, T., KROGH, K. A., KÜSTER, A., DIRK LÖFFLER, COTS, M. Á. P., POPE, L., PRASSE, C., DUISY, K. *Environmental risk assessment of ivermectin: A case study. Integrated Environmental Assessment and Management*, 6(SUPPL. 1), 567–587. (2010).
9. MAGRI, M. E., PHILIPPI, L. S., & VINNERÅS, B. *Inactivation of pathogens in feces by desiccation and urea treatment for application in urine-diverting dry toilets. Applied and Environmental Microbiology*, 79(7), 2156–2163. (2013).
10. MUÑOZ, J., BALLESTER, M. R., ANTONIJOAN, R. M., GICH, I., RODRÍGUEZ, M., COLLI, E., GOLD, S., & KROLEWIECKI, A. J. *Safety and pharmacokinetic profile of fixed-dose ivermectin with an innovative 18mg tablet in healthy adult volunteers. PLoS Neglected Tropical Diseases*, 12(1), 1–16. (2018).
11. SIMHA, P., ZABANIOTOU, A., & GANESAPILLAI, M. *Continuous urea–nitrogen recycling from human urine: A step towards creating a human excreta based bio–economy. Journal of Cleaner Production*, 172, 4152–4161. (2018).
12. WERNER, C., FALL, P. A., SCHLICK, J., & MANG, H.-P. *Reasons for and principles of ecological sanitation* (Issue JANUARY). (2004).