

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS TRINDADE - CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Gabriel Monteiro dos Santos

**IMPACTO DA IVERMECTINA INOCULADA EM BIOFERTILIZANTE ORIUNDO
DE FEZES ESTABILIZADAS NA PRODUTIVIDADE DA ALFACE (*LACTUCA
SATIVA*)**

Florianópolis

2022

Gabriel Monteiro dos Santos

**IMPACTO DA IVERMECTINA INOCULADA EM BIOFERTILIZANTE NA
PRODUTIVIDADE DA ALFACE (LACTUCA SATIVA)**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental

Orientador: Eng. Vitor Pereira Vaz, MSc.

Coorientadora: Eng. Amanda Silva Nunes, MSc.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

DOS SANTOS, GABRIEL
IMPACTO DA IVERMECTINA INOCULADA EM BIOFERTILIZANTE
ORIUNDO DE FEZES ESTABILIZADAS NA PRODUTIVIDADE DA ALFACE
(LACTUCA SATIVA) / GABRIEL DOS SANTOS ; orientador, Vitor
Pereira Vaz, coorientador, Amanda Silva Nunes, 2022.
49 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,
Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2.
Biofertilizante. 3. Ivermectina. 4. Lactuca sativa. 5.
Saneamento Ecológico. I. Pereira Vaz, Vitor . II. Silva
Nunes, Amanda. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.
IV. Título.

Gabriel Monteiro dos Santos

**IMPACTO DA IVERMECTINA INOCULADA EM BIOFERTILIZANTE NA
PRODUTIVIDADE DA ALFACE (LACTUCA SATIVA)**

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II
Florianópolis, 15 de agosto de 2022.

Maria Elisa Magri, Prof.^a Dr.^a
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Vitor Pereira Vaz, MSc.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina
(UFSC)

Amanda Silva Nunes, MSc.
Coorientadora
Universidade Federal de Santa Catarina
(UFSC)

Thuanne Braúlio Hennig, MSc.
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina
(UFSC)

Fernanda Daniela Gonçalves Ferreira, MSc.
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina
(UFSC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas, pessoas, familiares e colegas que estiveram presente durante a minha jornada na graduação, mas principalmente aos seguintes:

Ao departamento e aos Professores do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental pela estrutura e pelo conhecimento repassado;

Ao meu orientador Vitor e a minha coorientador Amanda, por toda paciência, carinho, apoio e ensinamentos nesse último ano;

A professora Maria Elisa Magri pela orientação e contribuição dedicadas a este trabalho.

À equipe do RReSSa e da sala de pesquisadores do LABEFLU por todo apoio e companheirismo nesses últimos meses,

À equipe do LIMA por ter me apresentado o porquê da minha escolha em querer continuar cursando sanitária, apoio e palavras de conforto nesses últimos anos;

Ao meu pai por sempre incentivar meus estudos na forma de amor, apoio emocional e financeiro em todos os meus anos de vida;

A minha mãe (*in memorian*) e às minhas avós (*in memorian*), pois delas foi que obtive os grandes ensinamentos da vida e por depositarem seu amor mais puro.

Aos meus amigos: Ana Carla, Arthur, Guilherme, Ingrid, Lucas, Luis Guilherme, Luiz Eduardo, Marcos, Mateus, Rodrigo, Tainara e Veridiana por todo apoio, amizade e parceria durante todos esses anos.

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 ug g^{-1}) e os últimos dois aplicando uma alta concentração (30 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*. O cenário demonstrou que seria segura a utilização de fezes estabilizadas com ivermectina desde que as condições sejam semelhantes a esse experimento e que as práticas de segurança e do tratamento do biofertilizantes sejam corretamente seguidas.

Palavras-chave: Biofertilizante. Contaminantes de preocupação emergentes. Ivermectina. *Lactuca sativa*. Saneamento Ecológico.

ABSTRACT

The increase in consumption of ivermectin during the COVID-19 pandemic raised worries about the possible impacts caused on the environment. Among these, the risks to soil, biota, and hydric bodies stand out. In this regard, this study was conducted to evaluate the impacts of ivermectin on the growth of *Lactuca sativa* when present in stabilized feces. Five lysimeters were prepared to use in this research, in which 4 of them a mixture of biofertilizer and inoculated ivermectin were applied, one of them for control, two for low concentration values (3 ug g^{-1}) e other two for higher concentration values (30 ug g^{-1}). The productivity of lettuce was set through weekly measures (leave height and leaves quantity) and measures made at the end of the cycle (plant height, stalk height, shoot diameter, root length, and shoot biomass), and statistical analyses were made to ascertain the significance between the treatments used on this research and was made an application scenario of the stabilized feces with ivermectin on a farm of 1.2 ha which a family of five people would live and would have a lettuce cultivation. There were no significant differences ($P>0,05$) in the productivity of the *Lactuca sativa*. The tests determined that the ivermectin inoculated in stable feces for a period of 30 days did not have any impact on the productivity of the *Lactuca sativa*. The scenario demonstrated that would be safe to utilize the stabilized feces with ivermectin provided that the conditions would be similar with this experiment and the practices of safety and of biofertilizer treatment would be correctly followed.

Palavras-chave: Biological fertiliser. Ecological sanitation. Contaminant of emerging concern. Ivermectina. *Lactuca sativa*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura molecular da ivermectina	20
Figura 2 - Vista superior dos lisímetros	29
Figura 3 - Parte do sistema de drenagem	29
Figura 4 - Lisímetros utilizados no experimento.....	29
Figura 5 - Cultura após 2 semanas de cultivo	29
Figura 6 - Desenvolvimento semanal do número de folhas	35
Figura 7 - Desenvolvimento semanal de tamanho de folha	36
Figura 8 - Dados finais da produtividade da cultura	37
Figura 9 - Dados de correlação dos Tamanhos da Folha	46
Figura 10 - Dados de correlação dos Números de Folha	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro resumo dos organismos pela ivermectina	23
Quadro 2 - Quadro resumo dos ambientes impactados pela ivermectina	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características Físico-químicas da ivermectina	20
Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos do solo e interpretação de resultados.....	28
Tabela 3 - Síntese dos resultados discutidos	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETRE – Centro de Treinamento da Epagri

EPAGRI – Empresa de Pesquisas Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

EC₁₀ – Concentração Efetiva que causa efeito em 10% dos organismos-teste

EC₅₀ – Concentração Efetiva que causa efeito em 50% dos organismos-teste

LIMA – Laboratório Integrado do Meio Ambiente

K – Potássio

N – Nitrogênio

P - Fósforo

RReSSa – Grupo de Pesquisas – Recuperação em Sistemas de Saneamento

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	SANEAMENTO ECOLÓGICO.....	18
2.2	IVERMECTINA.....	19
2.2.1	Aplicações	19
2.2.2	Risco potencial à saúde humana e ao meio ambiente.....	21
2.3	LIXIVIAÇÃO DE POLUENTES.....	23
2.3.1	Potencial de contaminação no solo.....	24
2.4	<i>LACTUCA SATIVA</i>	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
3.1.1	Localização e Clima.....	27
3.1.2	Caracterização dos lisímetros	27
3.2	PLANTIO E APLICAÇÃO DO BIOFERTILIZANTE	29
3.3	MONITORAMENTO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS	30
3.3.1	Crescimento e Produtividade da <i>Lactuca sativa</i>	30
3.3.2	Análise estatística.....	31
3.4	CENÁRIOS DE APLICAÇÃO	31
3.4.1	Área.....	32
3.4.2	Excretas coletadas.....	32
3.4.3	Biofertilizante.....	32
4	Resultados.....	34
4.1	CICLO DO CULTIVO	34

4.2	DADOS DE CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA <i>LACTUCA SATIVA</i>	34
5	Discussão.....	38
5.1	CÁLCULOS DO POSSÍVEL CENÁRIO DE APLICAÇÃO.....	39
5.1.1	Caso: Família de 5 pessoas.....	39
6	CONCLUSÃO.....	41
7	RECOMENDAÇÕES.....	42
8	REFERÊNCIAS.....	43
9	APENDÍCE I.....	46

1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento populacional global, aliado aos hábitos de consumo da população, aumenta as atividades agroindustriais para produção de alimentos e consequentemente 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 carbono).

Uma das maneiras de se obter biofertilizantes é através da recuperação de recursos de sistemas de saneamento, no qual se coleta excretas através de banheiros separadores, então, estas são tratadas para a redução de patógenos e estabilização (WERNER *et al.*, 2004). Utiliza-se as excretas tratadas para cultivo de plantas e condicionamento do solo, por conta do seu potencial nutritivo, no qual é seguido uma abordagem ecossistêmica e de fechamento de ciclo de materiais (SIMHA; ZABANIOTOU; GANESAPILLAI, 2018).

A separação das fezes e das urinas humanas, faz com que seu tratamento e reciclo individual 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). Por isso, nas excretas estabilizadas é possível encontrar diversos tipos de patógenos e fármacos seja como composto ativo, metabólitos ou conjugados.

À medida que os fármacos entram em contato com o solo podem gerar efeitos tanto nas suas características físico-químicas quanto em sua biota. Consequentemente, o solo exerce a função de meio de exposição para estes contaminantes (DUARTE; PEREIRA; KORNDÖRFER, 2013) ocasionando no contato deles com corpos hídricos e outras biotas.

A ivermectina é um fármaco antiparasitário de uso humano ou veterinário contra uma ampla variedade de nematoides, ácaros e insetos (LIEBIG *et al.*, 2010). Esse produto e os fármacos de mesma família pode, chegar ao solo e às culturas agrícolas através de diferentes meios de aplicação, como através do uso de biofertilizantes, seja lodo, fezes humanas estabilizadas ou mesmo através disposição inadequada (DIONISIO; RATH, 2016), pois é encontrado principalmente nas fezes tendo em vista que 99% de sua eliminação ocorre por essa via (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). Por esta razão, neste sentido, torna-se relevante entender a dinâmica da ivermectina em diferentes tipos de solo, bem como a sua interação com diferentes organismos a fim de identificar possíveis cenários de risco, bem como para assegurar o uso seguro de biofertilizantes nas plantações.

1.1 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste TCC.

1.1.1 Objetivo Geral

Investigar os impactos do contaminante de preocupação emergente ivermectina inoculada em biofertilizante na produção de *Lactuca sativa*.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar possíveis efeitos do contaminante em diferentes concentrações (3 ug g^{-1} e 30 ug g^{-1}) sobre o rendimento e características de crescimento da cultura de *Lactuca sativa*.
- Avaliar cenário (residência unifamiliar) da aplicação de fezes estabilizadas inoculadas com ivermectina na plantação da *Lactuca sativa*;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O solo vem sendo afetado negativamente pela utilização de agrotóxicos, fertilizantes, fármacos, compostos orgânicos e despejos irregulares de resíduos (BANDEIRA, 2019). Efeitos também podem ser observados pelas mudanças climáticas que alteram as propriedades do solo e também acarretam nas modificações nos contaminantes (KROGH *et al.*, 2009), prejudicando assim a qualidade, a fauna e a flora dos solos do mundo (BANDEIRA, 2019).

No entanto, um dos problemas que vem surgindo nos últimos anos é o aumento da concentração de fármacos no esgoto, devido ao seu risco ecotoxicológico e do seu contínuo despejo no meio ambiente. Como são compostos químicos, trazem problemas pois para serem efetivos no seu propósito terapêutico, possuem tenacidade para conseguir manter suas propriedades químicas (BILA; DEZOTTI, 2003). Portanto, cerca de 50% a 90% de uma dosagem do fármaco é eliminado de forma inalterada e persiste no meio ambiente podendo chegar no lodo das estações de tratamento de esgoto (BILA; DEZOTTI, 2003).

Um dos possíveis meios de exposição do solo a esses contaminante é através do lodo e de excretas utilizadas como biofertilizantes, que por muitas vezes contém concentrações consideráveis de fármacos utilizados para o crescimento e cuidado dos animais (DE OLIVEIRA *et al.*, 2016) e a presença de fármacos utilizados por humanos (BILA; DEZOTTI, 2003). Os organismos e os microrganismos presentes no solo são afetados pelos medicamentos, podendo ter sua abundância inibida e diversidade prejudicadas, implicando na redução da biodisponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, na perda de qualidade do solo (ZHAO *et al.*, 2022). Além disso, exposições a altas doses de antibióticos e hormônios podem aumentar a abundância de bactérias patogênicas às plantas (ZHAO *et al.*, 2022).

2.1 SANEAMENTO ECOLÓGICO

O tratamento de esgoto tradicional trouxe benefícios a população na melhoria da saúde pública, uma vez que os dejetos humanos possuem grande potencial de transmissão de doenças. Apesar dessas vantagens, possui um alto custo atrelado ao transporte, energia e com a água utilizada, podendo gerar impactos ambientais (SIMHA; GANESAPILLAI, 2017). Esse tipo de tratamento também mineraliza os principais nutrientes que estão presentes no esgoto, como o fósforo e o nitrogênio. Uma das alternativas a esse tipo de tratamento é o saneamento ecológico, também conhecido como saneamento focado em recursos, uma abordagem holística, visto que

no saneamento ecológico, as excretas e os efluentes das residências são considerados recursos, portanto devem ser utilizados para reciclo (CARLON, 2021).

A reutilização das excretas é encorajada por possuir um potencial nutritivo para cultivo de plantas e condicionamento do solo, uma vez que recupera elementos como o nitrogênio, fósforo elementos-traços e compostos orgânicos (SENECAL; VINNERÅS, 2017). Esses mesmos macronutrientes estão presentes também nos fertilizantes industriais, todavia a utilização desse tipo de fertilizante demanda alto custo, baixa disponibilidade, esgotamento de fontes não renováveis, energia necessária para produzir e transportá-los e a possível risco de causar efeitos adversos no solo (CARLON, 2021). Outra motivação da utilização das excretas humanas é a abordagem circular e sustentável que promove ciclos fechados de recursos e nutrientes, sendo possível substituir os fertilizantes industriais pelos recuperados de excretas humanas (SIMHA; GANESAPILLAI, 2017).

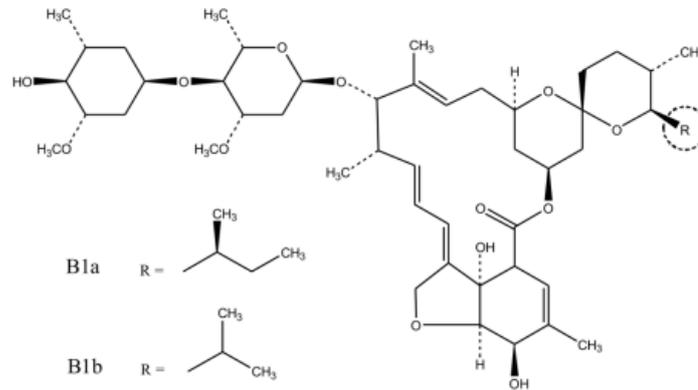
As principais formas de excreção de contaminante emergentes do corpo são as urinas e as fezes, o que pode causar preocupações ao se utilizar excretas humanas para cultivo (SIMHA; GANESAPILLAI, 2017), pois nem sempre é possível a remoção dos contaminantes de maneira convencional. Com a presença desses no biofertilizantes podem causar algum tipo de impacto no solo, na cultura e no corpo hídrico mais próximo, riscos parecidos quando se utiliza os fertilizantes indústrias de forma incorreta.

2.2 IVERMECTINA

2.2.1 Aplicações

A ivermectina é um fármaco do grupo das avermectinas, estas que são adquiridas através da fermentação dos fungos do gênero *Streptomyces* e possuem em sua estrutura uma lactona macrocíclica ligada a dois açúcares (SANTOS, 2013). A ivermectina é uma mistura de duas avermectinas, 80% ivermectina B1a, ($C_{48}H_{74}O_{14}$) e massa molecular 875 g/mol e 20% ivermectina B1b ($C_{47}H_{72}O_{14}$), como mostra a Figura 1, e massa molecular 861 g/mol.

Figura 1 - Estrutura molecular da ivermectina



R = CH₂CH₃ Ivermectina B1_a(5-O-dimetil-22,23-di-hidroavermectina A 1_a)

R = CH₃ Ivermectina B1_b(5-O-dimetil-25-di(1-metilpropil)-25-(1-metiletil)-22,23-di-hidroavermectina A1_a)

Fonte: (SANTOS, 2013)

O composto é insolúvel em água, mas é completamente solúvel em metanol e em etanol 95% (US FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2007). Seu uso veterinário é um dos maiores e conta com mais de 2,5 bilhões de doses distribuídas nos últimos 30 anos (MEGA, 2020). Na tabela 1 a seguir pode se observar as demais características físico-químicas da ivermectina.

Tabela 1- Características Físico-químicas da ivermectina

Parâmetro	Ivermectina
Massa molecular (g/mol)	874,7
Solubilidade em água (mg/L)	4,0; 4,1 e 2,0
Pressão de Vapor (Pa)	<1,5 x 10 ⁻⁹
pKa	Neutro em todos os valores de pH
Ponto de Fusão (°C)	349,8
Constante de Henry	4,8 x 10 ⁻²⁶
Log K _{ow}	3,2
Log K _{oc} (L/kg)	3,6-4,4

Fonte: Adaptado de Santos (2013) e Liebig *et al.* (2010)

A ivermectina é um antiparasitário de amplo espectro, combate endoparasitas e ectoparasitas, é efetiva contra helmintos, miíase e sarna e outros parasitas, com aplicação humana e animal (ASHOUR, 2019). Além disso, a ivermectina é efetiva na inibição de um amplo espectro de bactérias, DNA e RNA vírus (ZAHEER *et al.*, 2021), também expressando resultados positivos contra um amplo número de vírus (ÕMURA, 2008) e pode ser utilizada para o tratamento de malária.

O contato humano com a ivermectina pode derivar do seu consumo na forma de medicamento, na ingestão do leite materno, no contato com água, leite e carne contaminados. Estes três últimos provêm do elevado uso da ivermectina no meio agrícola, principalmente na produção de carne (ZHANG *et al.*, 2022). Durante a pandemia da COVID-19 também houve um aumento do consumo da população da América Latina, verificando-se no mês de maio de 2020 a distribuição de mais de 350 mil doses de ivermectina para a população do norte da Bolívia e que no mesmo mês a polícia peruana apreendeu aproximadamente 20 mil frascos de ivermectina para animais de grande porte que seriam vendidas no mercado negro como um tratamento para o COVID-19 (MEGA, 2020). Enquanto em junho de 2020 foram vendidas 12 milhões de doses do fármaco para o Brasil (MOLENTO, 2021) representando 4,8% do total de vendas dos últimos 30 anos.

2.2.2 Risco potencial à saúde humana e ao meio ambiente

A utilização em larga escala de ivermectina pode gerar parasitas e vetores resistentes e tolerantes a própria ivermectina e as avermectinas. Um exemplo disso, é o uso do medicamento para a inibição da transmissão da malária que, segundo Zaheer *et al.* (2021), trouxe problemas, pois maiores doses do fármaco vem sendo requeridas para matar o mosquito *Aedes aegypti*, transmissor da doença.

Zhang *et al.* (2022) avaliaram, após estudo *in vitro* em células HeLa, que a utilização prolongada do fármaco é citotóxica induzindo dano ao DNA, apoptose em macrófagos, disfunção imune nos mesmos e por isso apresenta imunotoxicidade. A ivermectina é um fármaco que apresenta potencial de contaminação do solo pelos seus efeitos negativos. O antiparasitário é um causador de problemas ambientais, pois ao ser excretada pelo gado pode afetar o solo e a biota no meio. Verdú *et al.* (2018) demonstram que a ivermectina impactou nas funções dos *Scarabaeinae* conhecidos como besouros do esterco na realocação e distribuição

de estrume bovino. Também afetou a biodiversidade dos besouros e causou uma menor qualidade do solo pela mineralização do carbono, nitrogênio e do fósforo, isso prejudica na degradação da matéria orgânica e no funcionamento do solo (VERDÚ *et al.*, 2018).

A ingestão de leite ou carne contaminada por ivermectina podem acabar aumentando a resistência à droga (ZHANG *et al.*, 2022). Santos (2013) traz que menos de 2% da ivermectina pode ser eliminada pelo leite materno, porém, segundo (RODARI *et al.*, 2020), as concentrações encontradas no leite materno não trazem riscos ao bebê.

Sanderson *et al.* (2007) avaliaram os riscos da ivermectina no ambiente aquático e verificaram que o contaminante representa riscos para o ecossistema aquático em diferentes períodos e quantidades de exposição (agudo e crônico) para variadas espécies de zooplâncton. As espécies da ordem dos Cladocera - ordem de pequenos crustáceos que incluem as pulgas aquáticas - e copépodes -subclasse de pequenos crustáceos aquáticos- sofreram uma redução na abundância e diversidade no teste de toxicidade aguda e se observou impacto semelhante no zooplâncton.

No teste crônico as cladoceras e os copépodes tiveram sua diversidade reduzida, dos macroinvertebrados o *Ephemeroptera sp.* foi o único grande invertebrado que apresentou claras reduções na sua diversidade e abundância – são organismos que habitam o substrato de fundo (sedimento, macrófitas, algas filamentosas, galhos, entre outros substratos naturais e artificiais), durante pelo menos parte do seu ciclo de vida (TELES *et al.*, 2005). O único a apresentar uma mudança clara e significativa foi o *Ephemeroptera sp.* – uma ordem de insetos aquáticos também conhecidos como efemérides – que teve sua abundância reduzida.

Observou-se que o oxigênio dissolvido e o pH sofreram impactos nessa fase do teste, no qual a presença do contaminante na água estava abaixo do limite de detecção (1 ng L^{-1}), mas no sedimento sua presença foi de 25 ng kg^{-1} apresentando riscos para os zooplânctons e para os parâmetros funcionais do ecossistema. No quadro 1 a seguir, é possível visualizar de maneira resumida os ambientes impactados pela ivermectina e seus efeitos.

Quadro 1 - Quadro resumo dos organismos pela ivermectina

GRUPOS DE ORGANISMOS IMPACTADOS	EFEITO	REFERÊNCIAS
PARASITAS E VETORES	Aumento da resistência à ivermectina e as avermectinas	(ZAHEER <i>et al.</i> , 2021)
HUMANO	Citotóxico	(ZHANG <i>et al.</i> , 2022)
	Dano ao DNA	
	Apoptose e disfunção imune dos macrófagos	
	Imunotoxicidade	
	Aumento da resistência à ivermectina e as avermectinas	
ORGANISMOS DO SOLO	Diminuição da diversidade e impacto nas funções deles	(VERDÚ <i>et al.</i> , 2018)
CLADOCERA, COPÉPODES E EPHEMEROPTERA SP.	Diminuição da diversidade e abundância	(SANDERSON <i>et al.</i> , 2007)

Fonte – O autor (2022)

Quadro 2 - Quadro resumo dos ambientes impactados pela ivermectina

AMBIENTES IMPACTADOS	EFEITO	REFERÊNCIAS
SOLO	Menor qualidade do solo orgânico C	(VERDÚ <i>et al.</i> , 2018)
	Aumento da produção de N e P mineral	
ÁGUA	Variação negativa dos índices de oxigênio dissolvido e pH	(SANDERSON <i>et al.</i> , 2007)

Fonte – O autor (2022)

2.3 LIXIVIAÇÃO DE POLUENTES

A contaminação do solo pode se dar de diversas maneiras, como a utilização do lodo contaminado, aplicação de pesticidas, aplicação demasiada de fertilizante, vazamentos de

oleodutos, descarte irregular de resíduos e contaminação por metais pesados. Estes contaminantes podem causar impactos na composição solo, nos organismos presentes, nas plantas e podendo chegar até as camadas mais profundas atingindo águas subterrâneas (DUARTE; PEREIRA; KORNDÖRFER, 2013).

Os poluentes podem ser carregados até camadas mais profundas do perfil do solo, através do movimento de terra, precipitação e da irrigação (DUARTE; PEREIRA; KORNDÖRFER, 2013). A lixiviação também é impactada pelo clima, tendo em vista suas relações com a umidade, temperatura e precipitação. Outros elementos que influenciam na lixiviação de poluentes são as características físicas, como condutividade hidráulica, porosidade total e macroporos e as características químicas, como pH, capacidade de troca catiônica e matéria orgânica (DE OLIVEIRA *et al.*, 2016). O pH do solo é um potencializador da lixiviação, pois acaba tendo mais influência que capacidade de troca catiônica e matéria orgânica, influenciando principalmente na adsorção do solo (BREWER; DROR; BERKOWITZ, 2022) e nas funcionalidades das substâncias presentes no solo e nos contaminantes (QIN *et al.*, 2021).

2.3.1 Potencial de contaminação no solo

O potencial de contaminação do solo pode ter algumas variáveis, tais como: clima-precipitação, temperatura e umidade, o tipo de contaminante, o tipo de solo e, as características físico-químicas do local. Essas variáveis podem influenciar na toxicidade do contaminante, podendo deixá-lo não tóxico em uma situação para tóxico em outro.

A toxicidade dos contaminantes pode variar, dependendo não somente de suas características, mas também por conta das características físicas e químicas do solo (QIN *et al.*, 2021). Qin *et al.* (2021) trazem as diferenças de toxicidade do zinco entre solos não lixiviados e lixiviados. Dezesesseis solos de regiões diferentes da China foram testados. Para solos não lixiviados foram testados todos os 16 solos, já para solos lixiviados foram feitos testes com 7 dos 16 solos que participaram dos testes. Os níveis de toxicidade variaram entre os tipos de solo, não lixiviados, de 18,5 mg kg⁻¹ a 1618,7 mg kg⁻¹ e 277,9 mg kg⁻¹ a 3179,8 mg.kg⁻¹ para a EC₁₀ e EC₅₀ respectivamente, que é a concentração efetiva de zinco adicionado que diminuiu o alongamento da raiz da cevada em 10% e 50%. Para os solos lixiviados a variação foi de 32.0–2162.2 mg kg⁻¹ e 876.1–3576.4 mg kg⁻¹. Assim podemos visualizar a redução da

toxicidade do zinco em solo lixiviados, variando de 0,1 à 8,3 vezes para a EC₁₀ de redução e de 0 à 2,2 vezes para a EC₅₀, dependendo de qual solo estamos tratando.

O potencial de contaminação do solo também pode variar com a capacidade de lixiviação e sorção do contaminante, em De Oliveira et al. (2016) mostram que o despejo suíno que continha hormônios dos tipos, estrona, 17β-estradiol, 17α-ε-etinilestradiol e dos antimicrobianos, sulfadimina, clortetraciclina, oxitetraciclina e doxiciclina, foram despejados em solo Latossolo Vermelho Distrófico. Após 60 dias foram encontrados ainda presentes no solo estrona, 17β-estradiol, 17α-ε-etinilestradiol e sulfadimina e em até 80 cm de profundidade. Isto demonstra que, o tipo de contaminante, do solo e o tipo de despejo pode influenciar na profundidade no solo em que os poluentes podem chegar e o potencial de contaminação de corpos hídricos.

Segundo Litskas et al. (2021), a eprinomectina teria pouca mobilidade, dado que foi aplicada na superfície de três tipos de solos, 2 sendo franco siltosa (50-80% de lodo e 12-27% de argila) e um sendo areia franca (70-90% de areia e 10-30% de lodo e argila) e submetida à um cenário de elevada irrigação (645,9 mm durante um intervalo de 30 dias). O estudo demonstrou que o contaminante ficou principalmente localizado nos primeiros 5 cm do solo, isso pode ser devido a sua pouca mobilidade, característica lipofílica, e que o composto apresenta uma forte adsorção. Portanto para esses tipos de solos aos fármacos da mesma família da eprinomectina provavelmente não acarretariam perigo as águas subterrâneas.

Krogh et al. (2009) demonstram o comportamento da ivermectina em diferentes tipos de solo, York, Madrid, Tastrup e Artificial e condições, aeróbica e anaeróbica. Em circunstâncias aeróbicas a dissipação do composto foi rápida, variando de 16 a 36 dias nos solos naturais, já em solo artificial foi maior que 500 dias. Enquanto sobre condições anaeróbicas não houve dissipação significativamente do fármaco entre os dias 14 e 120. O grau de sorção é dependente das características do solo, como pH e troca catiônica (KROGH *et al.*, 2009). Outro dado importante, é a dependência da sorção à temperatura, dado que em temperaturas próximas de 20°C a sorção foi menor do que se comparado com à 6°C, isso sobre condições anaeróbicas.

2.4 LACTUCA SATIVA

A alface (*Lactuca sativa*) é uma planta da família das Chicoriaceae, é uma das hortaliças mais cultivadas em hortas domésticas do Brasil e uma das mais consumidas no país (PAULO; HENZ; SUINAGA, 2009). Originária da região central da Ásia, chegou no Brasil através dos

portugueses no século XVI. Sendo uma planta herbácea, com um caule pequeno ao qual as folhas se prendem, a parte comestível sendo as folhas, que podem ser lisas ou crespas e suas cores podem variadas do verde-amarelado, verde-escuro e até roxa (TRANI *et al.*, 2005). Provinda de clima temperado, com isso existe uma dificuldade em se devolver em períodos mais quentes do ano (WREGGE *et al.*, 2012) .

Plantas são consideradas excelentes bioindicadores para detecção de substâncias tóxicas no solo, uma vez que possuem características que possibilitam a análise de vários parâmetros, como germinação, crescimento e alterações no seu material genético (DE SOUZA; JOSÉ; GUIMARÃES, 2022). Além de serem importantes na cadeia alimentar, são fáceis de manusear e de se manter no ambiente laboratorial, são baratas e não possuem barreiras éticas (DE SOUZA; JOSÉ; GUIMARÃES, 2022). A alface é utilizada como cultura teste pelo seu fácil cultivo e rápido período de crescimento, em média 55 dias (CARLON, 2021).

Adeel *et al.* (2018) realizaram testes com a aplicação de estradiol (17β -E2) e de etinil estradiol (EE2) na alface. Em baixas concentrações (0,1 e 50 $\mu\text{g L}^{-1}$) foi observado um aumento dos pigmentos fotossintéticos, do crescimento da raiz e da biomassa aérea, enquanto em maiores concentrações (10 mg L^{-1}) foi visto uma redução significativa do crescimento da raiz e do desenvolvimento da planta.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico serão descritos os procedimentos metodológicos empregados a fim de cumprir os objetivos propostos. A parte experimental da presente pesquisa contempla duas etapas. A primeira etapa refere-se à realização de atividades em campo, limpeza dos lisímetros, preparo da mistura biofertilizante e contaminante, plantio da cultura de alface e a irrigação dos lisímetros. A segunda etapa compreende a realização de análises laboratoriais, com vista a produtividade da alface.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Localização e Clima

O trabalho foi desenvolvido em Florianópolis na região do litoral do Estado de Santa Catarina, na bacia hidrográfica do Itacorubi, no Centro de Treinamento (CETRE) da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). A classificação climática da região é a Cfa segundo a classificação de Köppen-Geiger, sendo assim um clima subtropical mesotérmico úmido com verões quentes e invernos amenos. A média de precipitação acumulada anual desta região é da ordem de 1468 mm. A temperatura média anual é de 20,5°C, dados reunidos pela estação de meteorológica 1006 da EPAGRI, localizada no CETRE (WREGE *et al.*, 2012).

3.1.2 Caracterização dos lisímetros

Os lisímetros utilizados no presente estudo foram instalados no CETRE em 2020, como parte da pesquisa de mestrado de Priscila Carlon (CARLON, 2021). No total, 5 unidades experimentais com volume de 1 m³, área superior de 1,79 m² 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, proveniente do município de Antônio Carlos, SC (CARLON, 2021).

Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos do solo e interpretação de resultados

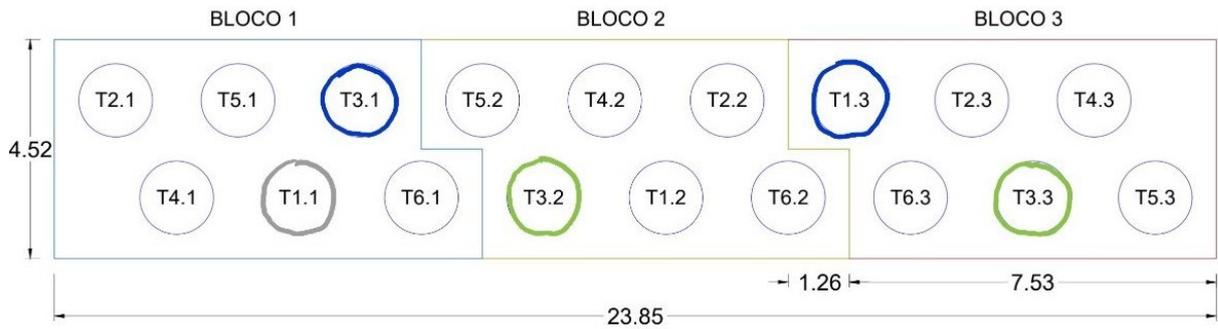
Parâmetro	Resultado	Interpretação ^a
Classe textural	4	
pH em água	4,7	M. baixo
Matéria orgânica	0,2%	Baixo
% Argila m/v	4%	
Fósforo total	2,4 mg.dm ⁻³	M. baixo
Potássio	8,8 mg.dm ⁻³	M. baixo
NH ₃ total	0,0 g.dm ⁻³	
Alumínio	1,6 cmolc.dm ⁻³	
Cálcio	0,2 cmolc.dm ⁻³	Baixo
Magnésio	0,1 cmolc.dm ⁻³	Baixo
Índice SMP	5,1	
H + Al	11,8 cmolc.dm ⁻³	
CTC pH7,0	12,12 cmolc.dm ⁻³	Médio
Saturação por bases	2,66%	M. baixo
Saturação por alumínio	83,31%	Alto
Granulometria	Argila	0,0%
	Areia	47,6%
	Silte	52,4%

^a Interpretação segundo CQFS-RS/SC (2016)

Fonte: (CARLON, 2021)

Cada lisímetro conta com sistema de irrigação por fitas de gotejamento (16 mm) e um sistema de drenagem composto por tubulações de PVC (3/4 polegadas), mangueiras e registros. Este sistema de drenagem conduz o lixiviado até reservatórios de polietileno com capacidade de 50 litros. Para melhor compreensão, uma sequência ilustrada dos lisímetros, mostrando vista lateral, sistema de irrigação e sistema de drenagem é apresentada nas Figuras 3, 4 e 5. Os lisímetros foram denominados segundo suas concentrações de contaminantes. C é o lisímetro de controle, B1 e B2 são os de baixa concentração e A1 e A2 os de alta concentração.

Figura 2 - Vista superior dos lisímetros



Legenda: O lisímetro T1.1 é o controle, lisímetros T3.2 e T3.3 baixas concentração e os de alta concentração T1.3 e T3.1

Fonte: (CARLON, 2021)

Figura 3 - Parte do sistema de drenagem



Fonte: Arquivo RReSSa

Figura 4 - Lisímetros utilizados no experimento



Fonte: O autor (2022)

Figura 5 - Cultura após 2 semanas de cultivo



Fonte: O autor (2022)

3.2 PLANTIO E APLICAÇÃO DO BIOFERTILIZANTE

O biofertilizante utilizado no experimento foram fezes humanas estabilizadas, que provêm do banheiro seco instalado em 2011 como parte do projeto de doutorado de Maria Elisa Magri (2013). O cálculo utilizado foi o mesmo utilizado em Carlon (2021), este se baseia nas concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio disponíveis no solo. Foram determinados 2,5 kg de biofertilizante por lisímetro, colocados em um recipiente no qual foi adicionada a ivermectina e então, homogeneizada, assim foi colocado no solo dos lisímetros e espalhado até ficar nivelado. Em cada lisímetro foram aplicadas diferentes quantidades de ivermectina, os cálculos para a alta e baixa concentração consideraram uma casa de uma família de cinco pessoas em que uma fazia o uso de dose única de ivermectina que é equivalente a $150 \mu\text{g g}^{-1}$ e

esse número foi dividido por cinco para chegarmos a alta concentração de $30 \mu\text{g g}^{-1}$ do contaminante nas fezes excretadas que seriam usadas para fazer o biofertilizante.

Cada lisímetro foi utilizado para diferentes tratamentos, esses sendo: um para controle (Lisímetro C) em que foi aplicado o biofertilizante sem a inoculação da ivermectina. Em dois (Lisímetros B1 e B2) foram feitas inoculações de baixa concentração no valor de $3 \mu\text{g g}^{-1}$ de ivermectina por grama de fertilizante e nos últimos dois (Lisímetros A1 e A2) foram realizadas inoculações de alta concentração no valor de $30 \mu\text{g g}^{-1}$ de ivermectina por grama de fertilizante.

A cultura utilizada para o experimento foi a *Lactuca sativa*, popularmente conhecida como alface, a qual já foi utilizada para outros experimentos do RReSSa. A espécie do experimento foi a alface crespa, proveniente da cidade de Rio dos Cedros. Optou-se por essa variedade de hortaliça folhosa, visto que apresenta ciclo vegetativo mais curto (cerca de um mês). O plantio foi realizado no dia 13 de maio e monitorado até o dia 10 de junho e em cada lisímetro foram plantadas 16 mudas.

A irrigação foi feita em períodos em que não havia ocorrido precipitação nos dias anteriores, quando necessário foram realizadas até três irrigações por semana, durante o período do dia 13 de maio a 10 de junho. O sistema de irrigação era ligado por um período de 30 minutos.

3.3 MONITORAMENTO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS

3.3.1 Crescimento e Produtividade da *Lactuca sativa*

A metodologia e as variáveis utilizadas para avaliar a produtividade e o crescimento da cultura, foram as mesmas que Carlon (2021):

- Medições semanais, aonde foram selecionadas semanalmente 4 alfaces aleatórias de cada lisímetro para as medições, na qual nenhuma alface foi selecionada para medição mais de uma vez.
- Altura de planta em centímetros: medida desde a superfície do solo até a folha mais alta, utilizando fita métrica;
- Número de folhas: contagem dos números de folhas saudáveis, excluindo as folhas secas;
- Avaliação dos dados de produtividade ao final do ciclo, na qual foi coletada uma alface de cada lisímetro:

- Altura de planta em centímetros: medida da base do caule até a folha mais alta, utilizando régua graduada;
- Diâmetro do caule em centímetros: utilizando paquímetro analógico;
- Diâmetro da cabeça em centímetros: medido no sentido longitudinal e transversal, utilizando régua graduada. O valor final foi calculado a partir da média aritmética dos dois valores;
- Massa fresca (MF), em gramas: pesagem da parte aérea da cabeça de alface, após separação das raízes, em balança analítica;
- Massa seca (MS), em gramas: pesagem da parte aérea da cabeça de alface após secagem em estufa (SOLAB – SL100) à 65 °C por 96 horas em balança analítica até atingir peso constante;

As medições semanais sempre foram realizadas no CETRE e as avaliações de produtividade ao final do ciclo foram realizadas nas dependências do LIMA e do RReSSa.

3.3.2 Análise estatística

O *software* utilizado para as análises foi o *GraphPad 9,4,0*. Para análise dos dados semanais da produtividade da alface, foi utilizado a análise de variância (*two way ANOVA*),. A escolha dos métodos estatísticos para cada tipo de dado foi definida com a ajuda do “*canal pesquisa*” da Universidade Federal de São Paulo (USP). Todas as séries tiveram sua normalidade e lognormalidade verificadas. Os dados de correlação podem ser visualizados nos Apêndice I.

3.4 CENÁRIOS DE APLICAÇÃO

Para avaliar a possibilidade de uso das fezes estabilizadas com ivermectina, provenientes de banheiros separadores no cultivo da cultura de alface em um período de 30 dias foram realizados cálculos para dois casos: um de uma família de 5 pessoas e um para uma comunidade de 100 pessoas.

Para esse propósito foram realizados cálculos para determinação da área de cultivo, da quantidade de fezes necessária para produzir o biofertilizante, da quantidade necessária de biofertilizante aplicada e qual seria a concentração de ivermectina.

3.4.1 Área

A área foi estimada a partir de um estudo promovido por Mesquita *et al.* (2019) no qual se avalia a produção de hortaliças em uma agricultura familiar no loteamento “Distrito Verde” em Naviraí, Mato Grosso do Sul. O local inicialmente com 43,4 hectares foi distribuído para 34 famílias, 1,2 hectares por família essa sendo a área definida para o caso de uma família de 5 pessoas. Segundo Mesquita *et al.* (2019). Após três anos, 20 famílias permaneceram no local para continuar com o cultivo, com isso extrapolaremos que cada família possui 5 pessoas e com isso é formada uma comunidade de 100 pessoas.

3.4.2 Excretas coletadas

Para calcular a quantidade de biofertilizante necessária para a área de cultivo antes é necessário conhecer a capacidade produtiva da família e/ou a comunidade e verificar a possibilidade de ser autossuficiente em biofertilizante. No estudo feito por Magri (2013) é definido uma quantidade média de fezes excretadas anualmente por pessoa de 47 kg por ano.

3.4.3 Biofertilizante

Na produção de fezes estabilizadas por Magri (2013) a cada defecação foi adicionado um aditivo alcalinizante natural, 150%, composto de cinzas e conchas de ostras (1:1) e uréia (1%), ou seja, para cada 1 kg de fezes é produzido aproximadamente 2,5 kg de biofertilizante, sendo que o tempo de armazenamento para o tratamento foi de 12 meses.

Baseado nos dados de concentração de nutrientes no solo e nos biofertilizantes de Carlon (2021), foi calculada a quantidade de fertilizante necessária para cada caso. A CQFS-RS/SC (2016) recomenda para o cálculo do cultivo da alface levar em conta a concentração de nutrientes no solo, correspondendo a 180 kg N ha⁻¹, 240 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 240 kg K₂O ha⁻¹. Posto isto, foi revisado qual nutriente limitante, utilizado a equação 1.

$$(1) \quad A = \frac{QD \times 100}{C_{biof} \times D} \quad (\text{CQFS- RS/SC, 2016})$$

No qual: A é quantidade de biofertilizante a ser aplicado em kg ha^{-1} ; QD é a taxa de adubação recomendada para a cultura; $C_{\text{biof.}}$ é a concentração de fósforo (P), nitrogênio (N) ou potássio (K) no fertilizante em porcentagem; e D é o índice de eficiência de cada nutriente em função do fertilizante.

No manual não são apresentados índices para as fezes estabilizadas, logo utilizou-se o índice de esterco suíno que é um fertilizante orgânico semelhantes, sendo 0,6 para N, 0,8 para P e 1,0 para K segundo CQFS-RS/SC (2016). O cálculo foi fixado quando estabelecido o nutriente que necessita a menor quantidade de biofertilizante, para que a cultura não recebesse de forma demasiada os outros nutrientes (CARLON, 2021). O manual ainda recomenda em certas situações o complemento de N, P e K, pois as concentrações desses elementos são diferentes nos fertilizantes orgânicos se comparado no demandado pela planta, porém no biofertilizante utilizado nesse trabalho não houve complementação.

4 RESULTADOS

4.1 CICLO DO CULTIVO

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 (9° dia de cultivo) e máxima de 20,5 (11° 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% (7° dia de cultivo) e máxima de 98,3 (12° dia de cultivo) °C (EPAGRI/CIRAM, 2022) .

4.2 DADOS DE CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA *LACTUCA SATIVA*

Tabela 3 - Síntese dos resultados discutidos

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

Legenda: C: controle; B1 e B2: baixa concentração (3 µg g⁻¹); A1 e A2: alta concentração (30 µg g⁻¹).

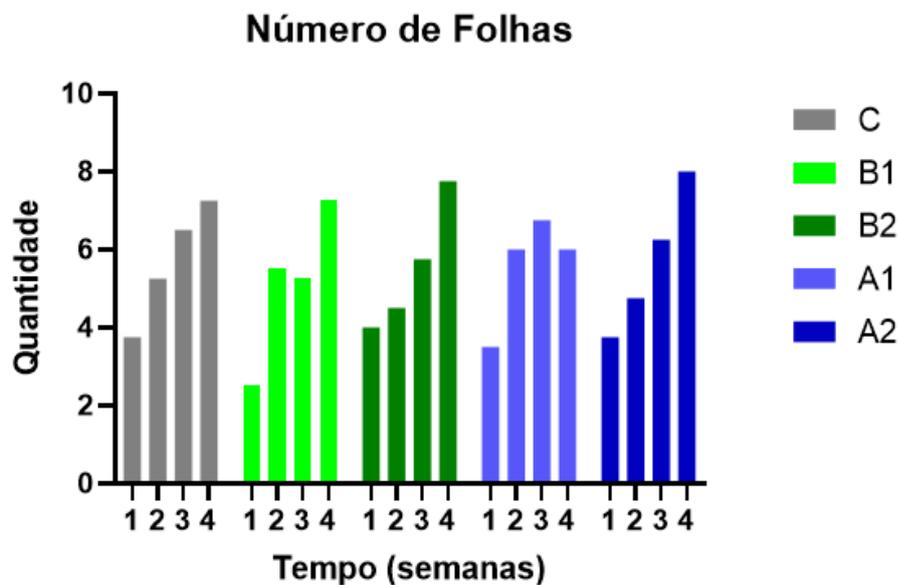
Fonte: O autor (2022).

Todas as alfaces colhidas dos cultivos desse trabalho não apresentaram distúrbios fisiológicos ou alterações morfológicas causados 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. Os dados de correlação estatística podem ser encontrados no Apêndice I. 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 crescimento e produtividade da alface. O aumento do número de folhas e o tamanho das folhas em cada tratamento foi normal. Os dados podem ser visualizados na tabela 2 acima.

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 5.

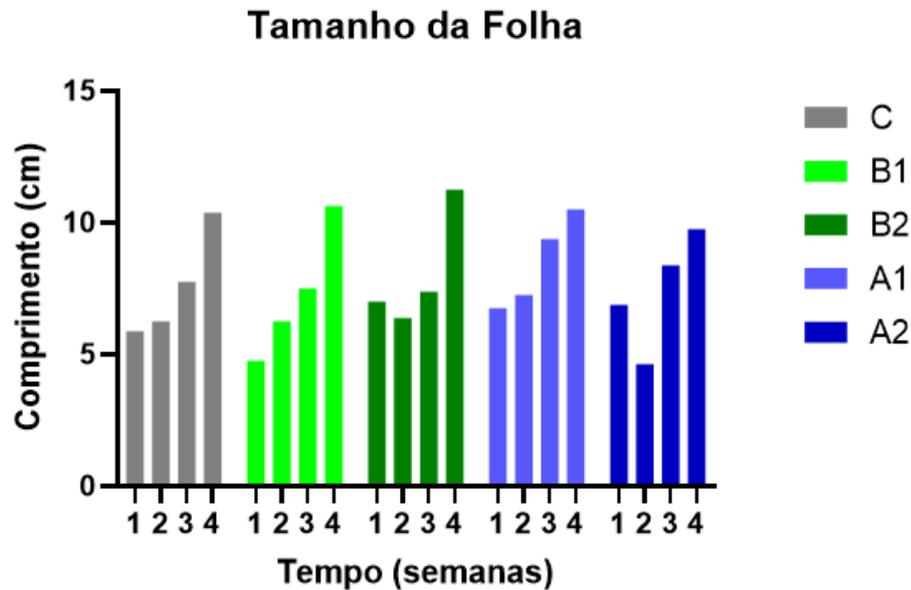
Figura 6 - Desenvolvimento semanal do número de folhas



Fonte: O Autor (2022)

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 7 a seguir.

Figura 7 - Desenvolvimento semanal de tamanho de folha

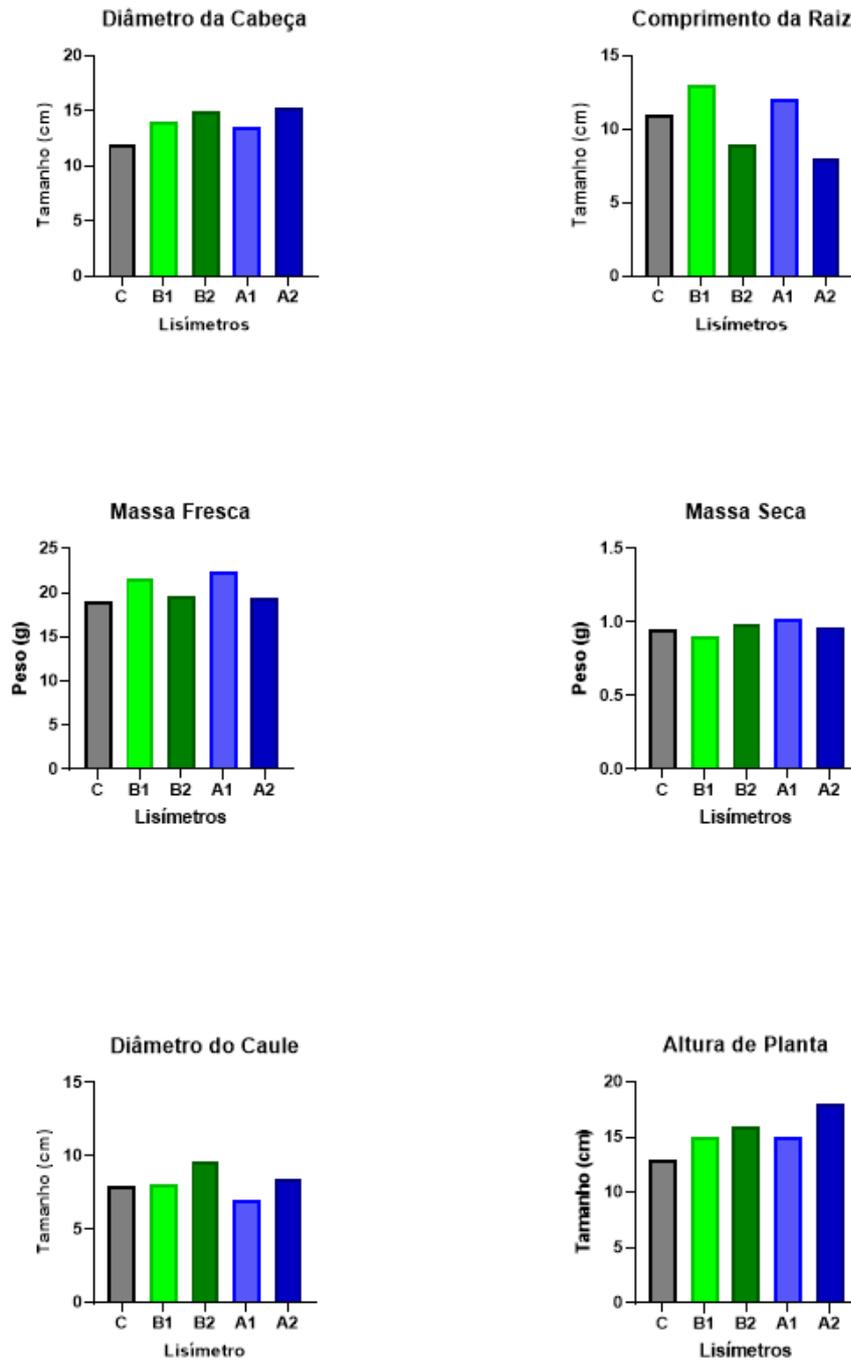


Fonte: O Autor (2022)

Os dados da produtividade ao final do ciclo não tiveram sua verificação através de análise estatística pela pequena quantidade amostral. Para o diâmetro de cabeça o maior resultado foi encontrado 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 os 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 8.

Figura 8 - Dados finais da produtividade da cultura



Fonte: O Autor (2022)

Os resultados analisados do lisímetro de controle foram comparados aos do primeiro ciclo de cultivo da tese desenvolvida 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).

5 DISCUSSÃO

A partir da falta de diferenças significativas entre os dados obtidos nesse trabalho e também sua comparação com a tese de Carlon (2021), foram levantadas algumas possíveis causas para identificar os motivos da não interferência do contaminante ivermectina para com a produtividade da cultura *Lactuca sativa*.

Foi observado de que as concentrações aplicadas do contaminante possivelmente não foram suficientes para afetar a produtividade da cultura, 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 e foi enriquecida com 6 tipos de antibióticos (tetraciclina, oxitetraciclina, clortetraciclina, sulfametazina, sulfametoxazol e sulfadimetoxina) à três concentrações diferentes (5, 10 e 20 mg kg⁻¹ solo). Para as concentrações de 5 e 20 mg kg⁻¹ 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⁻¹ não foram observadas alterações significativas dos mesmos, o que pode nos fazer crer que há certas concentrações e condições nas quais contaminantes não tem impacto no crescimento da alface.

Outra causa levantada seria de que a ivermectina não teria efeito negativo na alface, diferentemente de outros compostos da mesma família. Eichberg *et al.* (2016) realizaram testes para visualizar os efeitos da moxidectina, um fármaco da família da ivermectina, em 3 tipos de gramíneas (*Centaurea jacea L.*, *Galium verum L.* e *Plantago lanceolata*). Foram observados efeitos negativos do contaminantes, como redução do número de mudas, gerando um atraso na germinação das gramíneas, reduzindo assim a biomassa da planta e sua produção de flores. Comportamento este contrário ao encontrado neste trabalho.

Outra possível explicação surge com Carter *et al.* (2015) que, ao realizar um estudo para investigar o efeito da carbamazepina e do verapamil na cultura *Cucurbita pepo* (abobrinha), observaram uma redução da biomassa da planta. Em plantas na qual a concentração de carbamazepina foi maior que 4 mg kg⁻¹ e resultou na necrose das folhas mais velhas, gerando também uma redução da biomassa da parte aérea da planta, enquanto para o verapamil não foram observadas alterações na biomassa da planta. Carter *et al.* (CARTER *et al.*, 2015) também trazem que não havia precedência da assimilação do verapamil pelas plantas, mas que era esperado a ser menor do que a da carbamazepina, por sua natureza catiônica e lipofílica o que poderia ser análogo a ivermectina.

Outro indicativo trazido pelo estudo é que a assimilação e o transporte de fármacos da alface é governado pelo fluxo de água 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^{-1} (ivermectina $874,7 \text{ g mol}^{-1}$) conseguem se fixar na raiz da planta, mas tem seu transporte para as folhas dificultada por mecanismos da cultura, podendo levar a de 5 a 7 semanas para atingirem as folhas. O alface tem seu cultivo médio de 55 dias (CARLON, 2021), ou seja, a ivermectina poderia levar mais tempo para chegar nas folhas do que o próprio período necessário para colheita, e no caso desse trabalho o estudo foi realizado em um período de 30 dias.

Com base na observação de um estudo realizado no estado de São Paulo por Dionisio *et al.* (2016) no qual é analisado a degradação da abamectina, que pertence a família da ivermectina, em quatro solos diferentes, que mostrou que a sorção da abamectina está positivamente ligada com a quantidade de argila nos solos e negativamente ligada com a quantidade de areia e que a alta sorção estava correlacionada com o alto nível de matéria orgânica no solo. O solo presente nesse estudo possui quantidades de argila nula, uma quantidade de areia de 47,6% e baixa quantidade de matéria orgânica 0,2% (CARLON, 2021). Isso pode ter acarretado a baixa sorção da ivermectina no solo com a possibilidade do deslocamento dela para a solução do solo, mas uma vez que o contaminante é catiônico e lipofílico corre o risco de a cultura não o ter absorvido.

5.1 CÁLCULOS DO POSSÍVEL CENÁRIO DE APLICAÇÃO

5.1.1 Caso: Família de 5 pessoas

Como determinado no tópico 3.4.1 a área a ser utilizada para uma família de 5 pessoas será de 1,2 ha. Uma pessoa gera 3,92 kg de fezes por mês, se fosse coletado e aplicado o processo de estabilização constituiria de 9,80 kg de biofertilizante por pessoa, em uma família de 5 pessoas seriam 48,96 kg. Levando em conta que uma pessoa nesse período de coleta tomou

dose única de ivermectina 150 ($\mu\text{g g}^{-1}$), como demonstrado no tópico 3.2 a concentração de ivermectina no total das fezes seria de 30 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Em Carlon (2021) foi calculado os valores de fezes estabilizadas para os solos utilizados nesse experimento e conforme a recomendação do CQFS-RS/SC (2016) que seria de 15,98 kg.ha^{-1} , ou seja, para 1,2 ha seriam necessários 19,18 kg de biofertilizante. A concentração de ivermectina foi considerada constante, mesmo após o tratamento por ser considerado o pior cenário, no qual a concentração da ivermectina estaria mais alta.

Se esta família utilizasse desse biofertilizante para a sua produção de alface, pode se afirmar a não alteração da produtividade da alface durante 30 dias sob condições semelhantes de clima (CFb), temperatura média de 17,1 °C e em Argissolo Vermelho-amarelos Distróficos e Cambissolos Háplicos Tb Distróficos. Os casos podem ser expandidos para números maiores de pessoas se as proporções se mantiverem as mesmas.

6 CONCLUSÃO

A produtividade da *Lactuca sativa* foi caracterizada para avaliar os efeitos da influência da ivermectina na cultura. 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, tanto para pequenas famílias, como para comunidades maiores, desde que as condições semelhantes às utilizadas nesse trabalho e que as práticas de segurança e do tratamento do biofertilizantes 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 cultivo para assim promover o seu uso de forma segura e eficiente.

7 RECOMENDAÇÕES

- Aumentar o tempo de exposição para 60 dias;
- Realizar testes sob diferentes condições climáticas;
- Realizar testes com outros contaminantes emergentes;
- Quantificação da ivermectina no solo, na cultura e na lixiviação.

8 REFERÊNCIAS

AHMED, Mohamed Bedair M. *et al.* Distribution and accumulative pattern of tetracyclines and sulfonamides in edible vegetables of cucumber, tomato, and lettuce. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 2, p. 398–405, 2015.

BANDEIRA, Felipe Ogliari. INFLUÊNCIAS DO TIPO DE SOLO, UMIDADE E TEMPERATURA NA TOXICIDADE DO IMIDACLOPRID PARA INVERTEBRADOS EDÁFICOS., 2019.

BILA, Daniele Maia; DEZOTTI, Márcia. FÁRMACOS NO MEIO AMBIENTE. **Quim. Nova**, v. 26, n. 4, p. 523–530, 2003.

CANGA, Aránzazu González *et al.* The pharmacokinetics and interactions of ivermectin in humans - A mini-review. **AAPS Journal**, v. 10, n. 1, p. 42–46, 2008.

CARLON, Priscila. Aplicação de biofertilizantes de excretas humanas para o cultivo de alimentos: eficiência agrônômica e comportamento microbiológico., 2021.

CARTER, Laura J. *et al.* Uptake of Pharmaceuticals Influences Plant Development and Affects Nutrient and Hormone Homeostases. **Environmental Science and Technology**, v. 49, n. 20, p. 12509–12518, 2015.

CQFS- RS/SC, 2016. **Manual de calagem e adubação**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. v. 91

DE SOUZA, Raphael B; JOSÉ, ·; GUIMARÃES, Roberto. Effects of Avermectins on the Environment Based on Its Toxicity to Plants and Soil Invertebrates-a Review., v. 233, p. 259, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05744-0>.

DIONISIO, Andreza Camilotti; RATH, Susanne. Abamectin in soils: Analytical methods, kinetics, sorption and dissipation. **Chemosphere**, v. 151, p. 17–29, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.058>.

DUARTE, Ivanielle Nahas; PEREIRA, Hamilton Seron; KORNDÖRFER, Gaspar Henrique. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 195–200, 2013.

EICHBERG, Carsten *et al.* The anthelmintic ingredient moxidectin negatively affects seed germination of three temperate grassland species. **PLoS ONE**, v. 11, n. 11, p. 1–13, 2016.

ELISA MAGRI, Maria; SÉRGIO PHILIPPI, Luiz; VINNERÅS, Björn. Inactivation of Pathogens in Feces by Desiccation and Urea Treatment for Application in Urine-Diverting Dry Toilets., 2013. Disponível em: <https://journals.asm.org/journal/aem>.

EPAGRI/CIRAM. Florianópolis - Cetre/Epagri: 1006 - mai-2022, p. 2022, 2022.

ERTHAL, Kessler Teixeira; MOTA, Edson Pereira da. Tendências mercadológicas no segmento de fertilizantes na produção de grãos, 2022.

ESREY, Steven A *et al.* **Ecological sanitation for food security**, 2001.

HENZ, Gilmar Paulo; SUINAGA, Fábio. Tipos de alface cultivados no Brasil. **Embrapa Hortaliças - Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, v. 75, n. 36477, p. 1–7, 2009. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/783588>.

LIEBIG, Markus *et al.* Environmental risk assessment of ivermectin: A case study. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 6, n. SUPPL. 1, p. 567–587, 2010. Disponível em: www.interscience.wiley.com.

MAGRI, Maria Elisa; PHILIPPI, Luiz Sérgio; VINNERÅS, Björn. Inactivation of pathogens in feces by desiccation and urea treatment for application in urine-diverting dry toilets. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 79, n. 7, p. 2156–2163, 2013. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/full/10.1128/AEM.03920-12>. Acesso em: 17 jun. 2022.

MEGA, Emiliano Rodríguez. EMBRACE OF UNPROVEN COVID TREATMENT HINDERS DRUG TRIALS. **Nature**, 2020.

MESQUITA, Daniel Zimmermann *et al.* Desafios Da Extensão Rural No Brasil : Estudo De Caso Do Distrito Verde Em Naviraí / Ms Challenges of Rural Extension in Brazil : Case Study of the Distrito Verde in Naviraí / Ms. p. 20–41, 2019.

MOLENTO, Marcelo Beltrão. Ivermectin against COVID-19: The unprecedented consequences in Latin America. **One Health**, v. 13, 2021.

MUÑOZ, Jose *et al.* Safety and pharmacokinetic profile of fixed-dose ivermectin with an innovative 18mg tablet in healthy adult volunteers. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 12, n. 1, p. 1–16, 2018.

QIN, Luyao *et al.* Effect of soil leaching on the toxicity thresholds (EC_x) of Zn in soils with different properties. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 228, p. 112999, 2021.

SANDERSON, Hans *et al.* Assessment of the environmental fate and effects of ivermectin in aquatic mesocosms. **Aquatic Toxicology**, v. 85, n. 4, p. 229–240, 2007.

SANTOS, FLÁVIA CÁSSIA MARIA DOS. Estudo De Pré-Formulação Da Ivermectina: Caracterização E Estabilidade Do Fármaco. **Programa De Pós Graduação Em Ciências Farmacêuticas**, [s. l.], p. 102, 2013.

SENECAL, Jenna; VINNERÅS, Björn. Urea stabilisation and concentration for urine-

diverting dry toilets: Urine dehydration in ash. **Science of the Total Environment**, v. 586, p. 650–657, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.038>.

SIMHA, Prithvi; GANESAPILLAI, Mahesh. Ecological Sanitation and nutrient recovery from human urine: How far have we come? A review. **Sustainable Environment Research**, v. 27, n. 3, p. 107–116, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.serj.2016.12.001>.

SIMHA, Prithvi; 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**, v. 172, p. 4152–4161, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.062>.

TELES, Herlânia F *et al.* Macroinvertebrados Bentônicos como Bioindicadores no Parque Nacional da Serra de Itabaiana , Sergipe , Brasil, v. 357, n. 2005, p. 123–137, 2005.

TRANI, Paulo Espíndola *et al.* **Alface (Lactuca sativa L.)**: Instituto Agrônômico - IAC, 2005.

VERDÚ, José R. *et al.* Ivermectin residues disrupt dung beetle diversity, soil properties and ecosystem functioning: An interdisciplinary field study. **Science of The Total Environment**, v. 618, p. 219–228, 2018.

WERNER, Christine *et al.* **Reasons for and principles of ecological sanitation**, 2004.

WREGGE, Marcos Silveira *et al.* **Atlas climático da região Sul do Brasil: Estado do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul** **Journal of Chemical Information and Modeling**, 2012. Disponível em: www.embrapa.br/liv. .

9 APENDÍCE I

Figura 9 - Dados de correlação dos Tamanhos da Folha

2way ANOVA ANOVA results		A	B	C	D	E
		Data Set-A	Data Set-B	Data Set-C	Data Set-D	Data Set-E
		Y	Y	Y	Y	Y
1	Table Analyzed	Tamanho da Folha				
2						
3	Two-way RM ANOVA	Matching: Stacked				
4	Assume sphericity?	No				
5	Alpha	0.05				
6						
7	Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?	Geisser-Greenhouse's epsilon
8	Row Factor x Column Factor	7.384	0.0639	ns	No	
9	Row Factor	63.50	<0.0001	****	Yes	0.8231
10	Column Factor	3.876	0.2858	ns	No	
11	Subject	10.48	0.0257	*	Yes	
12						
13	ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
14	Row Factor x Column Factor	29.02	12	2.418	F (12, 45) = 1.877	P=0.0639
15	Row Factor	249.6	3	83.19	F (2,469, 37.04) = 64,58	P<0.0001
16	Column Factor	15.23	4	3.808	F (4, 15) = 1.386	P=0.2858
17	Subject	41.20	15	2.747	F (15, 45) = 2.132	P=0.0257
18	Residual	57.98	45	1.289		
19						
20	Data summary					
21	Number of columns (Column Factor)	5				
22	Number of rows (Row Factor)	4				
23	Number of subjects (Subject)	20				
24	Number of missing values	0				

Fonte: o Autor (2022)

Figura 10 - Dados de correlação dos Números de Folha

2way ANOVA ANOVA results		A	B	C	D	E
		Data Set-A	Data Set-B	Data Set-C	Data Set-D	Data Set-E
		Y	Y	Y	Y	Y
1	Table Analyzed	Número de Folhas				
2						
3	Two-way RM ANOVA	Matching: Stacked				
4	Assume sphericity?	No				
5	Alpha	0.05				
6						
7	Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?	Geisser-Greenhouse's epsilon
8	Row Factor x Column Factor	10.99	0.0016	**	Yes	
9	Row Factor	71.55	<0.0001	****	Yes	0.8166
10	Column Factor	1.631	0.1902	ns	No	
11	Subject	3.482	0.6245	ns	No	
12						
13	ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
14	Row Factor x Column Factor	23.08	12	1.923	F (12, 45) = 3.336	P=0.0016
15	Row Factor	150.2	3	50.08	F (2,450, 36.75) = 86.88	P<0.0001
16	Column Factor	3.425	4	0.8563	F (4, 15) = 1.756	P=0.1902
17	Subject	7.313	15	0.4875	F (15, 45) = 0.8458	P=0.6245
18	Residual	25.94	45	0.5764		
19						
20	Data summary					
21	Number of columns (Column Factor)	5				
22	Number of rows (Row Factor)	4				
23	Number of subjects (Subject)	20				
24	Number of missing values	0				

Fonte: o Autor (2022)

