

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS CÂMPUS
DE DRACENA**

AMANDA LETÍCIA DOS SANTOS

**TOLERÂNCIA DO MILHETO EM SOLOS COM VINHAÇA, TEBUTHIURON E
THIAMETHOXAM**

DRACENA-SP

NOVEMBRO - 2024

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS CÂMPUS
DE DRACENA**

AMANDA LETÍCIA DOS SANTOS

**TOLERÂNCIA DO MILHETO EM SOLOS COM VINHAÇA, TEBUTHIURON E
THIAMETHOXAM**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Tecnológicas – Unesp, Câmpus
de Dracena como parte das exigências para
graduação em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Renato Matos Lopes

Co-orientador: Me. Victor Hugo Cruz

DRACENA-SP

NOVEMBRO - 2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
UNESP – CÂMPUS DE DRACENA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: **Tolerância do milho em solos com vinhaça, tebuthiuron e thiamethoxam**

Modalidade: Trabalho de **Atividades de pesquisa**

Autora: **Amanda Letícia dos Santos**

Orientador: **Paulo Renato Matos Lopes**

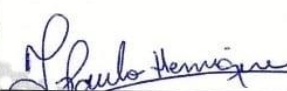
Co-orientador: **Victor Hugo Cruz**

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 19/11/2024


Paulo Renato Matos
Lopes


Fernando Shitake
Galindo


Paulo Henrique Frata
Ferreira

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Amanda Letícia dos Santos nascida em 24 de janeiro de 2002 na cidade de Adamantina/SP. Ingressou no curso de graduação em Engenharia Agrônômica da Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Unesp, Câmpus de Dracena, em 2020. Durante graduação, participou do Centro de Estudos em Biometria Aplicada à Fitotecnia (CEBAF) em 2021, do Núcleo de estudos e experimentação florestal (NEEFLOP) em 2022 e 2023 e do Grupo de Ação em Impactos Ambientais (GAIA) de 2021 até o momento, contribuindo para o desenvolvimento de soluções voltadas à sustentabilidade agrícola, com ênfase em biorremediação, além de projetos de educação ambiental. Foi bolsista PIBIC/CNPq em 2022- 2023 com trabalho intitulado “Milheto (*pennisetum glaucum* L.) na fitorremediação de solos com vinhaça, tebuthiuron e thiamethoxam”. Além disto participou como ouvinte e apresentadora em eventos científicos e cursos na área, e publicou trabalhos em anais de eventos como primeira autora e como colaboradora.

DEDICATÓRIA

À minha avó Maria (in memoriam), que sempre esteve ao meu lado, me ensinando valores que levarei por toda a vida; e à minha mãe, Antonia, que sempre apoiou meus sonhos, nunca me deixando desistir.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que tornou possível a realização dos meus objetivos, ajudando-me a superar os obstáculos ao longo de todos os meus anos de estudo.

Aos meus pais, Antonia e João, e ao meu irmão, João Jr., por me incentivarem nos momentos difíceis, sempre me apoiando, encorajando e compreendendo a minha trajetória na universidade, entendendo os meus limites.

Agradeço especialmente ao meu padrinho Marcos e às minhas madrinhas Adenir e Vanessa, que estiveram ao meu lado em momentos desafiadores, oferecendo apoio e incentivo quando mais precisei.

À Universidade, por ser o cenário onde meus sonhos se concretizaram, e que me transformou, não apenas em uma profissional qualificada, mas também em uma pessoa melhor.

Ao professor Paulo Lopes, meu orientador, e ao meu coorientador Victor Cruz, pelos conselhos, paciência e auxílio ao longo deste trabalho. Agradeço também ao grupo de estudos GAIA, do qual faço parte, e aos alunos presentes, que contribuíram para a realização do projeto.

À Turma 020 de Eng. Agrônoma, por compartilhar essa trajetória acadêmica comigo, e à República Pé Preto, por todo o apoio e companheirismo ao longo do curso.

Ao grupo NETA e ao Professor Evandro Prado, pela ajuda prestativa na aplicação dos defensivos que foram essenciais para este trabalho. Agradeço também aos técnicos de laboratório e de campo, por toda a colaboração.

Agradeço a todos do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Unesp, Bolsa PIBIC, no ano de 2022/2023, pelo apoio financeiro, que foi fundamental para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou este trabalho.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa, o meu sincero agradecimento.

“Não vou dizer que é fácil e que nunca deu vontade de desistir, mas vale muito mais a pena continuar.”

(Caio Fernando Abreu).

RESUMO

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) é uma planta amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais, valorizada por sua rusticidade e capacidade de adaptação a solos pobres e condições climáticas adversas. No Brasil, seu uso tem se concentrado na alimentação animal e como adubo verde, mas há registros crescentes de sua aplicação na alimentação humana, especialmente em comunidades tradicionais. Globalmente, o milheto é fundamental para a segurança alimentar em países como África e Índia, onde é amplamente consumido devido ao seu alto valor nutritivo e resistência à seca. O objetivo deste trabalho foi determinar a capacidade e o crescimento do milheto para neutralizar contaminantes presentes no solo. O estudo foi realizado em solos com e sem a aplicação de tebuthiuron, thiamethoxam e vinhaça, sendo conduzido em casa de vegetação em delineamento experimental inteiramente casualizado, com sete repetições e controle. Foram adicionados 400 mL de vinhaça manualmente, e, no dia seguinte, aplicaram-se os defensivos, preparados separadamente, com 2 litros de solução para cada um, contendo 25,6 mL de tebuthiuron (dose de 2000 mL ha⁻¹) e 12,80 g de thiamethoxam (dose de 1000 g ha⁻¹). Após sete dias da aplicação dos defensivos, realizou-se a semeadura, seguida de desbaste após dez dias, mantendo uma planta vigorosa por vaso. O desenvolvimento foi avaliado aos 20, 30, 40, 45 e 60 dias após o desbaste (DAS), considerando parâmetros como nível de clorofila, diâmetro do colo, altura da parte aérea, comprimento das raízes e biomassa fresca e seca. Os resultados mostraram que o tebuthiuron impactou negativamente o crescimento do milheto em comparação aos outros tratamentos, com desenvolvimento significativamente menor na sua presença. Por outro lado, a aplicação isolada de vinhaça, bem como sua combinação com thiamethoxam, apresentou um efeito positivo no crescimento em altura das plantas.

PALAVRAS-CHAVE: crescimento, desenvolvimento, manejo de pesticidas no solo, *Pennisetum glaucum*.

ABSTRACT

Pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) is a widely cultivated crop in tropical and subtropical regions, valued for its hardiness and adaptability to poor soils and adverse climatic conditions. In Brazil, its primary uses are animal feed and green manure, although there is a growing interest in its application as human food, particularly in traditional communities. Globally, millet plays a crucial role in food security in countries like Africa and India, where it is extensively consumed due to its high nutritional value and drought resistance. The aim of this study was to assess the ability and growth of millet in neutralizing soil contaminants. The study was conducted on soils with and without the application of tebuthiuron, thiamethoxam, and vinasse, in a completely randomized design with seven replications and a control. A volume of 400 mL of vinasse was manually added, followed by the application of the pesticides on the next day. Each pesticide was prepared separately, with 2 liters of solution containing 25.6 mL of tebuthiuron (dose of 2000 mL ha⁻¹) and 12.80 g of thiamethoxam (dose of 1000 g ha⁻¹). Seven days after pesticide application, sowing was performed, followed by thinning 10 days later, leaving one vigorous plant per pot. Development was evaluated at 20, 30, 40, 50 and 60 days after thinning (DAT), considering parameters such as chlorophyll content, collar diameter, shoot height, root length, and fresh and dry biomass. The results showed that tebuthiuron negatively affected millet growth compared to other treatments, with significantly reduced development in its presence. In contrast, the isolated application of vinasse and its combination with thiamethoxam demonstrated a positive effect on plant height growth.

KEYWORDS: development, growth, pesticides management in the soil, *Pennisetum glaucum*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. Objetivo geral	13
2.2. Objetivos específicos	13
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1. Tebuthiuron e Thiamethoxam: Vantagens e Riscos Ambientais	14
3.2. Vinhaça: Vantagens e Riscos Ambientais.....	15
3.3. Uso de Milheto na Agricultura	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1. Solo, vinhaça, pesticidas e milheto	18
4.2. Delineamento experimental e preparo das unidades experimentais.....	19
4.3. Avaliação do desenvolvimento vegetal	21
4.4. Análise de dados.....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1. Fitotoxicidade	25
5.2. Índice de clorofila foliar.....	26
5.3. Altura da planta, diâmetro do colo e comprimento de raiz	28
5.4. Biomassa fresca e seca	31
6. CONCLUSÕES.....	33
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

A incorporação do milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) como parte da rotação de culturas da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) desempenha um papel de destaque, sendo utilizado não apenas como uma alternativa comercial viável, mas também como uma valiosa fonte de adubo verde, contribuindo para a melhoria da produtividade e da sustentabilidade do sistema agrícola.

Além disso, o uso da vinhaça na fertirrigação dos canaviais tem se mostrado uma prática vantajosa, notadamente devido à sua riqueza em potássio, que é um dos principais nutrientes presentes nos fertilizantes usados na agricultura, o que possibilita uma significativa redução nos custos associados à aquisição desses fertilizantes (Martins; Oliveira, 2016). No entanto, é importante ressaltar que a vinhaça apresenta características desafiadoras, como uma elevada concentração de matéria orgânica e propriedades ácidas e corrosivas (Fuess, 2013).

Estas características peculiares da vinhaça podem resultar em impactos ambientais indesejáveis, principalmente ao solo (Martinez, 2022). O uso incorreto da vinhaça pode causar a acidez e a degradação do solo, prejudicando sua qualidade e impactando negativamente a produção agrícola (Lima *et al.*, 2016). Portanto, é imperativo adotar estratégias eficazes de gestão e tratamento da vinhaça a fim de mitigar esses impactos negativos.

Além disso, um frequente problema encontrado nos canaviais é infestação de plantas daninhas. A presença delas diminui a produtividade da cana-de-açúcar, sendo necessário a aplicação de herbicidas. Um herbicida amplamente utilizado é o tebuthiuron, que atua como um produto sistêmico não seletivo, inibindo o fotossistema II (Combine 500 SC, 2019). Uma característica marcante desse herbicida é a sua meia-vida prolongada, que pode alcançar aproximadamente 360 dias, resultando em um impacto residual significativo no ambiente (Faria, 2016).

Além dos desafios relacionados ao manejo de plantas daninhas, os insetos-praga representam outro fator que pode impactar negativamente a produtividade da cana-de-açúcar (Moraes; Ávila, 2014). Entre as abordagens para controlar essas pragas nas plantações de cana-de-açúcar, o uso de

inseticidas sistêmicos tem demonstrado ser uma das mais promissoras. Nesse contexto, o thiamethoxam tem se destacado como eficaz no controle da cigarrinha, levando a um aumento na produtividade agrícola (Dinardo-Miranda *et al.*, 2003), além de possuir um efeito bioativador, que promove o vigor e o desenvolvimento das plantas, mesmo na ausência de pragas (Pereira, 2010). No entanto, é importante ressaltar que o thiamethoxam possui um efeito residual de longa duração, que pode se estender até 618 dias (Scorza Júnior; Rigitano, 2012), o que pode acarretar perigos para o meio ambiente, incluindo a poluição do solo e de fontes de água, efeitos adversos sobre espécies benéficas e a possibilidade de surgimento de resistência em pragas, o que enfatiza a importância de um uso responsável e monitorado do produto.

O uso da vinhaça e de outros defensivos, como o tebuthiuron e o thiamethoxam, em culturas agrícolas de interesse, suscita preocupações relacionadas aos potenciais riscos para o ecossistema. A partir dessa perspectiva, surgiu o conceito de fitorremediação, que envolve a utilização de plantas para extrair e mitigar a presença de compostos poluentes no solo e na água (Vasconcellos; Pagliuso; Sotomaior, 2012).

A agricultura moderna enfrenta um desafio complexo de equilibrar a necessidade de maximizar a produtividade com a preservação do meio ambiente. O Consumo e Produção Responsáveis, que encoraja o uso de técnicas ecológicas; Estratégias sustentáveis, como a busca por alternativas de controle de pragas e plantas daninhas de menor impacto ambiental e a promoção de métodos de remediação, são cruciais para mitigar os impactos negativos e preservar a saúde do ecossistema enquanto se atende às demandas da produção agrícola.

A ONU possui objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para promover uma melhora na qualidade de vida e alguns estão alinhados a este projeto como por exemplo Fome Zero e Agricultura Sustentável, que incentiva práticas agrícolas mais seguras e produtivas; Água Potável e Saneamento, que evita a contaminação das águas subterrâneas.

Nesse contexto, este trabalho busca investigar o potencial de tolerância do milheto, avaliando sua capacidade de descontaminar solos afetados por herbicidas e resíduos agrícolas, como o tebuthiuron, thiamethoxam e a vinhaça.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a tolerância, crescimento e desenvolvimento do milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) em solo com presença e ausência de tebuthiuron, thiamethoxam e vinhaça.

2.2. Objetivos específicos

Monitorar a emergência e desenvolvimento das plântulas de milheto ao longo do tempo, incluindo a avaliação de altura, diâmetro do caule, comprimento das raízes, e biomassa fresca e seca.

Avaliar o impacto da exposição a defensivos e vinhaça no desenvolvimento das plantas por meio da análise de fitotoxicidade e índice de clorofila.

Elaborar modelos de crescimento para descrever a dinâmica temporal do desenvolvimento das plantas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Tebuthiuron e Thiamethoxam: Vantagens e Riscos Ambientais

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), com uma participação próxima a 37% no volume total produzido (Silva; Freire, 2024). O país apresenta uma área estimada em 8.333,9 mil hectares, com um rendimento médio de 85.580 kg/ha, e concentra sua produção significativa de açúcar e etanol na região Centro-Sul (CONAB, 2024). No entanto, para manter a lucratividade, é crucial que os empresários agrícolas adotem práticas de manejo atualizadas e estejam atentos às condições climáticas, patógenos, pragas e plantas daninhas que podem afetar a produtividade da cana-de-açúcar (Bassey *et al.*, 2021).

Nesse sentido, para o controle de plantas daninhas, as usinas normalmente utilizam o herbicida tebuthiuron. O tebuthiuron é um herbicida eficaz na pré-emergência, pertencente ao grupo das fenilureias, que atua inibindo o fotossistema II (PSII) e interrompendo o transporte de elétrons no mecanismo do PSII (Oliveira Júnior, 2011).

Embora o tebuthiuron tenha vantagens agronômicas, seu uso indiscriminado pode causar sérios danos ambientais. É altamente solúvel em água (log KOW de 1,79) e pode ser transportado facilmente no solo (Mercurio *et al.*, 2016). Sua baixa capacidade de adsorção no solo, devido ao baixo Kd (Coeficiente de sorção: 0,1 e 0,7 mL g⁻¹), torna-o altamente móvel e propenso à lixiviação em ecossistemas aquáticos e terrestres (IBAMA, 2019). O longo período residual do herbicida (12 a 18 meses), embora benéfico para o controle de plantas daninhas, pode prejudicar culturas comerciais em rotação com a cana-de-açúcar (Mehdizadeh *et al.*, 2019).

Outro fator que afeta a produtividade é o surgimento de pragas, onde a mais comum na cana-de-açúcar é a cigarrinha-das-raízes (*Mahanarva fimbriolata*), e para realizar o seu controle é feito a aplicação do inseticida thiamethoxam (Garcia, 2013). De ação sistêmica, o thiamethoxam atua nos receptores de acetilcolina nicotínica da membrana dos insetos, causando danos ao sistema nervoso e, conseqüentemente, levando à morte (Scorza Júnior; Rigitano, 2012). Estudos indicam que o thiamethoxam não apenas reduz danos causados por insetos-praga, mas também promove efeitos fisiológicos nas

plantas, resultando em um aumento na produção de cana-de-açúcar. Esses efeitos benéficos, como a melhoria da nutrição mineral, aumento do vigor da planta e resistência a adversidades, foram documentados em diversos trabalhos na literatura (Soares, 2006; Pereira; Fernandes; Veloso, 2010; Pereira *et al.*, 2010; Leite *et al.*, 2012).

Embora o thiamethoxam tenha vantagens agronômicas, a classificação toxicológica e aos impactos ambientais desse inseticida é considerado moderadamente tóxico (Classe III) e apresenta potencial de periculosidade ambiental (Classe III - produto prejudicial ao meio ambiente). Ele tem baixa capacidade de retenção no solo, alta solubilidade em água (log KOW de 1,74), longa persistência no ambiente e é altamente tóxico para abelhas e outros insetos benéficos (Scorza Júnior; Rigitano, 2012).

3.2. Vinhaça: Vantagens e Riscos Ambientais

Além de ser fonte de açúcar e etanol, a cana-de-açúcar gera subprodutos valiosos, como bagaço, torta de filtro, vinhaça e melaço, que desempenham um papel crucial na agricultura e na agroindústria, impulsionando o desenvolvimento socioeconômico e ambiental em países em desenvolvimento (Huang *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2020).



Figura 1. Ciclo de produção de açúcar e etanol: produtos e subprodutos da cana-de-açúcar.

Fonte: Gerado por I.A.(2024).

A vinhaça, também conhecida como vinhoto, é particularmente rica em nitrato, potássio e matéria orgânica. Sua aplicação pode modificar positivamente as propriedades químicas do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas (Silva *et al.*, 2007). Além de suas vantagens econômicas, a vinhaça promove uma atividade microbiana robusta, que melhora a estrutura microbiológica do solo (Fuess, 2013).

No entanto, é importante observar que a aplicação inadequada da vinhaça, excedendo as doses recomendadas para o solo agrícola, pode resultar em impactos ambientais significativos. Isso ocorre devido ao seu baixo pH, alta corrosividade e elevada demanda bioquímica de oxigênio, tornando-a potencialmente poluente (Rossetto; Santiago, 2019).

3.3. Uso de Milheto na Agricultura

Em lavouras de cana-de-açúcar, a rotação de culturas com o milheto faz parte de uma estratégia mais ampla de manejo de solo sustentável. A diversificação de culturas, interrompendo os ciclos de pragas e doenças específicas, contribui diretamente para a manutenção da saúde do solo a longo prazo (Singh *et al.*, 2019).

Além disso, o milheto é uma cultura de cobertura que cria uma camada densa de biomassa no solo. Isso ajuda a reduzir a erosão do solo causada pela chuva e previne a lixiviação de contaminantes para camadas mais profundas do solo, protegendo os lençóis freáticos (Misiunas; Kojienè, 2016). Com suas raízes vigorosas, o milheto promove a melhoria da estrutura do solo, reduzindo a compactação do solo e melhorando a capacidade de retenção de nutrientes (Liu *et al.*, 2015).

Para recuperar solos contaminados, a fitorremediação é um método importante. No entanto, antes de usá-la, é necessário fazer uma triagem, seleção das espécies vegetais para determinar sua resistência aos poluentes presentes no solo. Por exemplo, a rotação de culturas com o milheto, que não apenas ajuda a recuperar solos contaminados, mas também é uma estratégia eficaz para a remediação de solos contaminados, particularmente em áreas afetadas pela aplicação de vinhaça e herbicidas. Essa planta exhibe características de fitorremediação, o que significa que não apenas extrai

poluentes do solo, mas também pode transformar ou degradar alguns deles. A planta tem a capacidade de metabolizar e reduzir a toxicidade de compostos orgânicos no solo (Eapen; D'Souza, 2005).

Um estudo realizado por Silva Filho *et al.*, (2024) examinou a capacidade do milheto de remediar solos contaminados por herbicidas e demonstrou que ele é capaz de absorver e metabolizar substâncias tóxicas.

Além disso, é uma cultura de cobertura de crescimento rápido com sistemas radiculares extensos e profundos. Essas características permitem que a planta absorva e filtre poluentes do solo, como metais pesados e compostos orgânicos. Estudos mostraram que o milheto é eficaz na absorção de metais pesados, como cádmio, chumbo e zinco, do solo contaminado (Wu *et al.*, 2017).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Solo, vinhaça, pesticidas e milheto

O solo utilizado no estudo foi coletado na área experimental da UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), localizada em Dracena, SP, que não havia histórico de uso agrícola. As amostras de solo foram coletadas até uma profundidade de 20 cm, misturadas para padronização e, em seguida, submetidas a análises químicas.

Para adequar o solo ao cultivo, foram realizadas correções com base na composição química descrita na **Tabela 1**. Foram realizadas as correções de acordo com o Boletim 100, onde foram incluídas a aplicação de calcário com um poder relativo de neutralização total (PRNT) de 95% na quantidade de 1.800 kg ha⁻¹, superfosfato simples na quantidade de 222 kg ha⁻¹, P₂O₅ na quantidade de 40 kg ha⁻¹ e cloreto de potássio na quantidade de 25 kg ha⁻¹. Essas correções foram aplicadas nos tratamentos que não continham vinhaça.

Atributos	Unidade	Valor	Situação
pH	-	4,2	Baixo
Matéria Orgânica	g dm ⁻³	7	Baixo
Potássio	mmolc dm ⁻³	0,6	Baixo
Cálcio		1	Baixo
Magnésio		9	Alto
Hidrogênio + Alumínio		18	Alto
Alumínio ³⁺		8	Médio
Fósforo	mg dm ⁻³	1	Baixo
Enxofre			
Boro		0,08	Baixo
Cobre		0,1	Baixo
Ferro		2	Baixo
Manganês		1,3	Médio
Zinco		0,5	Baixo
Soma de bases		10,6	Alto
Capacidade de troca catiônica		28,6	Alto
Saturação por bases	%	37	Baixo
Saturação por alumínio		43	Alto

Tabela 1. Análise química do solo.

Fonte: De autoria própria (2022).

A vinhaça, por sua vez, foi coletada em uma usina sucroalcooleira e uma amostra dela foi submetida à caracterização físico-química. A quantidade a ser utilizada da vinhaça foi calculada com base no teor de potássio no solo, seguindo as diretrizes da Norma Técnica P4.231 (CETESB, 2015).

No que diz respeito aos produtos químicos, foram utilizados o herbicida tebuthiuron (Combine® 500SC, Dow AgroSciences Industrial Ltda.) e o inseticida thiamethoxam (Actara® 750SG, Syngenta Proteção de Cultivos Ltda).

O milho foi escolhido devido à sua utilidade na rotação de culturas com a cana-de-açúcar e à sua capacidade de metabolizar e reduzir a toxicidade de compostos orgânicos no solo (Eapen; D'Souza, 2005).

As sementes da espécie *P. glaucum* (L.) utilizadas no presente trabalho são da variedade ADR300, da marca Atto Sementes.

4.2. Delineamento experimental e preparo das unidades experimentais

O experimento foi conduzido em uma estufa equipada sistema de irrigação automatizada, pertencente ao grupo de estudos GAIA, cujo principal foco de pesquisa são os impactos ambientais dos pesticidas. Seguindo um delineamento experimental inteiramente casualizado com sete tratamentos e o controle (**Tabela 2**), e quatro repetições, que eram eliminadas a cada tempo de análise (20, 30, 40, 50 e 60 DAS).

TRATAMENTO	VINHAÇA	HERBICIDA	INSETICIDA
T1	V	H	I
T2	V	H	-
T3	V	-	I
T4	V	-	-
T5	-	H	I
T6	-	H	-
T7	-	-	I
T8	-	-	-

Tabela 2. Identificação dos tratamentos conforme a sua sigla
Fonte: De autoria própria (2023).

No total, foram utilizados 160 vasos como unidades experimentais, cada um preenchido com cerca de 4 kg de solo. Em seguida, manual e uniformemente, adicionou-se 400 mL de vinhaça para simular a fertirrigação na

lavoura em tratamentos que incluíam esse composto. Qualquer variação nos volumes de adição de vinhaça entre os tratamentos foi compensada pela adição de um volume equivalente de água.

No dia seguinte, realizou-se a aplicação do herbicida Combine® 500 SC e do inseticida Actara® 750 SG (conforme ilustrado na **Figura 2a**). Isso foi feito por meio de um pulverizador de laboratório (**Figura 2b**) pressurizado por CO₂, equipado com seis pontas de jato plano XR 11002, operando a uma pressão de 200 kPa e com uma vazão de 0,65 L por minuto. As pontas estavam espaçadas em 0,5 m. As aplicações foram realizadas a uma velocidade constante de 5 km h⁻¹, mantendo o bico do pulverizador a uma altura de 0,75 m acima do topo dos vasos, resultando em um volume de aplicação de 156 L por hectare. As soluções de tebuthiuron e thiamethoxam foram preparadas separadamente, com 2 litros de solução para cada uma, contendo 25,6 mL de tebuthiuron (dose 2000 mL ha⁻¹) e 12,80g de thiamethoxam (dose 1000 g ha⁻¹).



Figura 2. Etapa de aplicação dos pesticidas. (a) Combine® 500 SC e Actara® 750 SG. (b) Pulverização do tebuthiuron e do thiamethoxam. Fonte: De autoria própria. (2023).

Sete dias após a aplicação dos defensivos agrícolas, as sementes de milho foram semeadas (conforme indicado na **Figura 3a**). No décimo dia após a semeadura (DAS), foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por vaso (**Figura 3b**). Os vasos foram irrigados diariamente com a quantidade de

água necessária para manter as condições ideais para desenvolvimento das plantas.



Figura 3. Etapa de cultivo inicial do milho. (a) Sementes de milho. (b) Desbaste de plântulas aos 10 DAS.
Fonte: De autoria própria. (2023).

4.3. Avaliação do desenvolvimento vegetal

O monitoramento do experimento abrangeu várias etapas importantes. Inicialmente, a emergência das plântulas foi acompanhada diariamente até a realização do desbaste, que ocorreu no 10º dia após a semeadura (DAS). Após essa fase, o desenvolvimento das plantas foi avaliado em múltiplos intervalos de tempo, nomeadamente 20, 30, 40, 50 e 60 dias após a semeadura (DAS). Nas avaliações do desenvolvimento das plantas, foram realizadas as seguintes análises:

(I) Fitotoxicidade: Avaliou-se a presença de sintomas de fitotoxicidade nas plantas relacionados à exposição a defensivos. Para essa avaliação, utilizou-se uma tabela específica (**Tabela 3**), na qual cada planta foi observada individualmente e classificada com base em seu grau de toxicidade. Essas classificações variaram de 0 a 100%, no qual 100% representavam uma planta morta ou em estado praticamente morto e 0% indicava uma planta completamente saudável.

Quadro 1. Nível de fitotoxicidade causado nas plantas.

0 %	Sem interferência	Plantas saudas.
25%	Baixa interferência	I) Pouca redução no nº de folhas e no desenvolvimento vegetal. II) Mínima detecção de clorose.
50%	Média interferência	I) Redução maior no desenvolvimento II) Clorose evidente. III) Manchas escuras nas bordas das folhas, com alguma queda.
75%	Alta interferência	I) Impacto maior no desenvolvimento. II) Clorose e/ou necrose. III) Poucas folhas, pequenas e /ou enrugadas. IV) Ponta do caule e /ou folhas “queimados”
100%	Total interferência	Planta morta ou praticamente.

Fonte: De autoria própria. (2023).

(II) Índice clorofila: A medição da clorofila nas folhas das plantas foi realizada com o uso de um clorofilômetro portátil marca ClorofiLOG, modelo CFL 1030 (Falker Automação AgrícolaSS), o qual é um instrumento portátil que oferece resultados instantâneos.

(III) Diâmetro do colo (em mm): Utilizando um paquímetro, mediu-se o diâmetro da parte mais espessa do caule das plantas, fornecendo informações sobre o crescimento e espessura do caule.

(IV) Altura da planta (em cm): A altura das plantas foi medida com o auxílio de uma trena, considerando a distância entre o colo da planta e a folha mais alta, fornecendo uma estimativa precisa do crescimento vertical.

(V) Comprimento de raiz (em cm): Utilizando uma trena, mediu-se o comprimento das raízes, partindo do colo da planta, oferecendo informações sobre o desenvolvimento radicular.

(VI) Biomassa fresca e seca (em g): Após a conclusão de todas as medições para os diversos parâmetros, as partes aéreas (MFPA) e radiculares (MFR) das plantas foram inicialmente pesadas para quantificar a biomassa fresca. Posteriormente, essas amostras foram submetidas a um processo de secagem em uma estufa a 65 °C por um período de 72 horas. Após a secagem, as amostras foram pesadas novamente, o que possibilitou a determinação da biomassa seca (MSPA e MSR) das plantas. Essa abordagem rigorosa na medição da biomassa fresca e seca fornece uma compreensão abrangente dos efeitos dos tratamentos nas plantas, permitindo a análise das respostas das

plantas à presença de defensivos, vinhaça e suas combinações, além de possibilitar a avaliação da eficiência dos tratamentos na alocação de recursos e no crescimento vegetal.

4.4. Análise de dados

Para avaliar a significância das diferenças entre os tratamentos, foi feita à análise de variância, com um limiar de significância estatística estabelecido em $p > 0,05$. Além disso, foi aplicado o teste de comparação de médias Scott-Knott, também com o mesmo critério de significância. As variáveis empregadas nesta análise de dados abrangem a fitotoxicidade, o índice de clorofila, a altura, o diâmetro e o comprimento das raízes.

Vale ressaltar que todas essas análises foram conduzidas levando em consideração a dimensão temporal, com exceção das variáveis altura, diâmetro e comprimento de raiz. Essa consideração temporal foi de suma importância, pois compreender como os tratamentos se comportam ao longo do tempo é fundamental para uma interpretação completa e precisa dos resultados (Pommerening; Muszta, 2016).

Devido à sua interpretação intuitiva e à confiabilidade dos resultados gerados, a modelagem de *Gompertz* já foi aplicada com sucesso em estudos recentes realizados pelo Grupo de Ação em Impactos Ambientais (GAIA) para avaliar a biorremediação de solos agrícolas contaminados por pesticidas (Ferreira *et al.*, 2021b; Lima *et al.*, 2022; Nantes *et al.*, 2022; Cruz, 2023). Para a elaboração dos modelos, foi utilizado dados relacionados à MSPA e MSR do milho como objetos de estudo.

Nesse contexto, foi empregado um modelo de *Gompertz* de três parâmetros cinéticos, a saber: α , β e κ . A escolha desses parâmetros nos permitiu criar curvas não-lineares com diferentes formas, inclinações e séries temporais (Equação 1). Além disso, para avaliar a adequação desse modelo, utilizamos critérios de informação como o *Akaike Information Criterion* (AIC), o *Bayesian Information Criterion* (BIC) e o coeficiente de determinação ajustado (r^2) (Anderson, 2020).

$$f_x = \alpha e^{-\beta e^{-\kappa x}} \quad \text{Equação 1}$$

em que, f_x = altura ou índice de germinação;

x = tempo, em dias;
 α = assíntota superior ou máximo desenvolvimento de altura e do índice de germinação;
 β = ponto de inflexão;
 k = taxa de crescimento específico;
 ake^{-1} = taxa de crescimento absoluto; e
 e = número de Euler.

Todas as análises de dados foram realizadas nos softwares RCore e Excel 360.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Fitotoxicidade

Conforme evidenciado na **Tabela 3**, os resultados iniciais do estudo revelaram algumas tendências notáveis na fitotoxicidade das plantas, com base nos tratamentos aplicados. Especificamente, a análise realizada nos dias 10 e 20 após a semeadura apontaram para diferentes níveis de fitotoxicidade em diversos grupos de vasos.

O grupo de controle (T8), que não recebeu a aplicação de nenhum dos compostos em estudo, mostrou um destaque positivo em relação à fitotoxicidade durante as análises iniciais, já que apresentou fitotoxicidade zero em quase todos os tempos, exceto aos 60 DAS, quando chegou a 75%. Porém, os tratamentos com aplicação de vinhaça (T3 e T4) aos 60 DAS apresentaram resultados melhor, indicando que o tratamento controle pode ter sido prejudicado pela falta de uma adubação adicional. Este resultado pode ser atribuído ao solo sem histórico de aplicação de pesticidas, que proporcionou um ambiente mais favorável para o desenvolvimento inicial das plantas, mas, devido à ausência de adubação final não conseguiu sustentar seu desempenho.

Os vasos que receberam a combinação de vinhaça e thiamethoxam (T3) e aqueles com vinhaça isolada (T4) exibiram uma fitotoxicidade mais baixa. O tratamento (T3) apresentou uma queda significativa ao longo do tempo, chegando a zero fitotoxicidade aos 60 DAS. Esse fenômeno pode estar relacionado à presença de compostos na vinhaça que, em conjunto com o thiamethoxam, podem ter influenciado positivamente as plantas durante as fases finais de desenvolvimento.

Por outro lado, os vasos que receberam tebuthiuron e thiamethoxam (T5), assim como aqueles tratados apenas com tebuthiuron (T6), mostraram os maiores valores de fitotoxicidade aos 60 DAS (93% e 62% respectivamente), conforme evidenciado na **Tabela 3**. Esse resultado pode ser devido a uma possível interação antagonista entre esses compostos, resultando em efeitos mais prejudiciais para as plantas.

Essas observações iniciais fornecem informações valiosas sobre como as plantas de milho tem uma tolerância diferente a diversas combinações de defensivos e outros compostos. É importante notar que as respostas das plantas

a esses tratamentos podem variar ao longo do tempo, sendo necessárias análises adicionais para esclarecer os mecanismos envolvidos nessas variações.

Tratamento	Tempo (DAS)									
	20		30		40		50		60	
T1	44	bA	44	bA	62	bA	50	bA	44	bA
T2	31	aA	31	aA	44	aA	66	bA	37	bA
T3	31	aA	31	aA	12	aA	69	aA	0	aA
T4	25	aA	25	aA	25	aA	0	aA	19	aA
T5	62	bA	62	bA	75	bA	69	bA	93,7	cA
T6	62	bA	62	bA	87	bA	69	bA	62	cA
T7	19	aA	19	aA	44	aA	43	bA	75	cB
T8	0	aA	0	aA	37	aB	6	aA	75	cC
CV (%)	34.4									

Tabela 3. Análise de variância e teste de comparação de médias da fitotoxicidade (%) dos tratamentos em todos os tempos.

Legenda: T1 – VHI, T2 – VH, T3 -VI, T4 – V, T5 – HI, T6 – H, T7 – I, T8 – C. V- (vinhaça), H-(herbicida), I-(inseticida). Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo Scott-Knott ($p < 0,05$).

Fonte: De autoria própria. (2023).

5.2. Índice de clorofila foliar

Ao analisar os dados do Índice de clorofila ao longo do tempo, foi observado um aumento em todos os tratamentos, sendo essa tendência semelhante estatisticamente entre eles. Os resultados, conforme apresentados na **Tabela 4**, fornecem uma visão interessante das respostas das plantas de milho aos diferentes tratamentos.

Os tratamentos T1 e T6 mostraram um comportamento consistente em termos de ICF (índice de clorofila foliar). Os tratamentos com vinhaça, tebuthiuron e thiamethoxam (T1) apresentaram um leve aumento do Índice de clorofila foliar até 50 DAS (de 21,1 para 29,5), mantendo-se praticamente estável até 60 DAS (26,1). Já no tratamento com tebuthiuron (T6) apresentaram variações nas plantas de milho, oscilando de 32,3 aos 20 DAS para 25,4 aos 50 DAS, mas terminando com 26,7 aos 60 DAS corroborando estudos de Ferreira *et al.* (2021), Frias *et al.* (2022) e Cruz (2023) que destacaram os efeitos potencialmente prejudiciais desse herbicida em outras culturas.

Tratamento	Tempo (DAS)									
	20		30		40		50		60	
T1	44	bA	44	bA	62	bA	50	bA	44	bA
T2	31	aA	31	aA	44	aA	66	bA	37	bA
T3	31	aA	31	aA	12	aA	69	aA	0	aA
T4	25	aA	25	aA	25	aA	0	aA	19	aA
T5	62	bA	62	bA	75	bA	69	bA	93,7	cA
T6	62	bA	62	bA	87	bA	69	bA	62	cA
T7	19	aA	19	aA	44	aA	43	bA	75	cB
T8	0	aA	0	aA	37	aB	6	aA	75	cC
CV (%)	34.4									

Tabela 4. Análise de variância e teste de comparação de médias de clorofila foliar dos tratamentos em todos os tempos.

Legenda: T1 – VHI, T2 – VH, T3 -VI, T4 – V, T5 – HI, T6 – H, T7 – I, T8 – C. V- (vinhaça), H-(herbicida), I-(inseticida). Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo Scott-Knott ($p < 0,05$).

Fonte: De autoria própria. (2023).

Além disso, os tratamentos com vinhaça e thiamethoxam (T3) e tebuthiuron combinado com thiamethoxam (T5), aos 30 DAS, tiveram valores mais elevados de SPAD (35,6 e 35,6 respectivamente), sugerindo uma boa performance em termos de clorofila até esse ponto. Contudo, esses valores diminuem significativamente aos 60 DAS, com T5 apresentando uma queda para 23,4 e T3 para 28,3.

Os tratamentos que mostraram valores mais baixos de ICF nos primeiros dias foram o com presença de vinhaça e tebuthiuron (T2), que começou com 12,4 aos 20 DAS e aumentou até 28,5 aos 60 DAS. E o tratamento com vinhaça isolada (T4) também apresentou uma melhoria gradual ao longo do tempo, sugerindo que esses tratamentos poderiam ter efeitos mais tardios em termos de concentração de clorofila.

No entanto, é notável que a presença de vinhaça nos tratamentos (T1, T2 e T3) colaborou significativamente para um melhor desempenho ao longo das análises, principalmente nos 50 e 60 DAS, onde o T1 (vinhaça + herbicida) mantém valores estáveis e relativamente altos. Já o T2 (vinhaça + inseticida) começa com valores menores aos 20 DAS (12,4), mas tem um aumento constante até os 60 DAS, chegando a 28,5, mostrando o desempenho da vinhaça ao longo do tempo.

Essa observação destaca o potencial da vinhaça como um excelente fertilizante, mesmo quando aplicada em conjunto com produtos químicos agrícolas. Essa capacidade da vinhaça em mitigar os efeitos adversos dos defensivos químicos pode ser atribuída à sua capacidade de fornecer nutrientes essenciais, melhorar a estrutura do solo e promover uma microbiota benéfica (Frias *et al.*, 2023; Nantes *et al.*, 2022).

No entanto, é importante destacar que o índice de clorofila foliar é influenciado por uma série de fatores complexos, como as condições ambientais, o tipo de solo e a própria sensibilidade das plantas. Esses elementos devem ser considerados para uma interpretação mais abrangente dos resultados e seu impacto no desempenho das plantas.

5.3. Altura da planta, diâmetro do colo e comprimento de raiz

Como evidenciado nas **Figuras 4, 5 e 6**, é notável a semelhança nos resultados obtidos para os três parâmetros analisados. A consistência dessas observações demonstra a solidez dos dados obtidos, reforçando a validade das conclusões. Além disso, a análise de múltiplos parâmetros é fundamental para uma compreensão abrangente dos efeitos dos tratamentos no desenvolvimento das plantas.

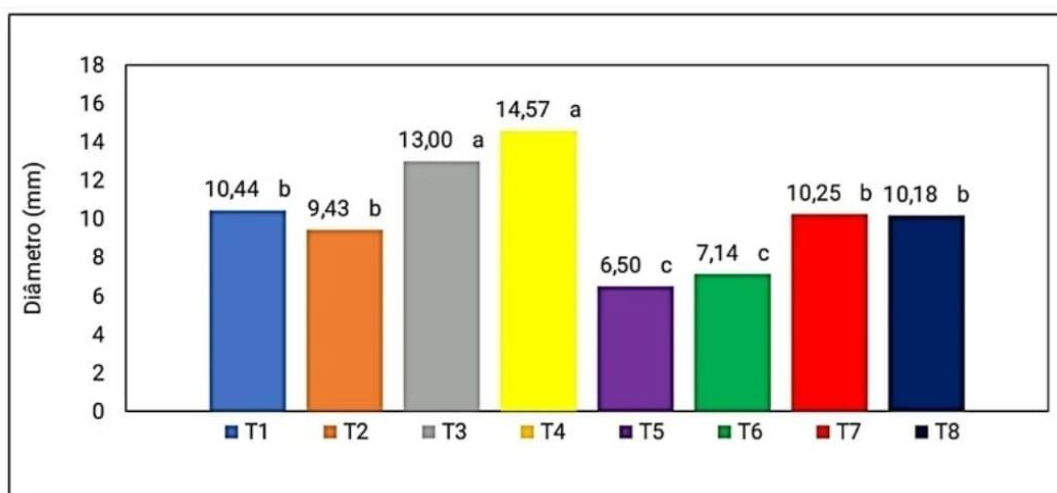


Figura 4. Análise de variância e teste de comparação de médias do diâmetro dos tratamentos no tempo 40.

Legenda: T1 – VHI, T2 – VH, T3 –VI, T4 – V, T5 – HI, T6 – H, T7 – I, T8 – C. V- (vinhaça), H-(herbicida), I-(inseticida).

Fonte: De autoria própria.(2023).

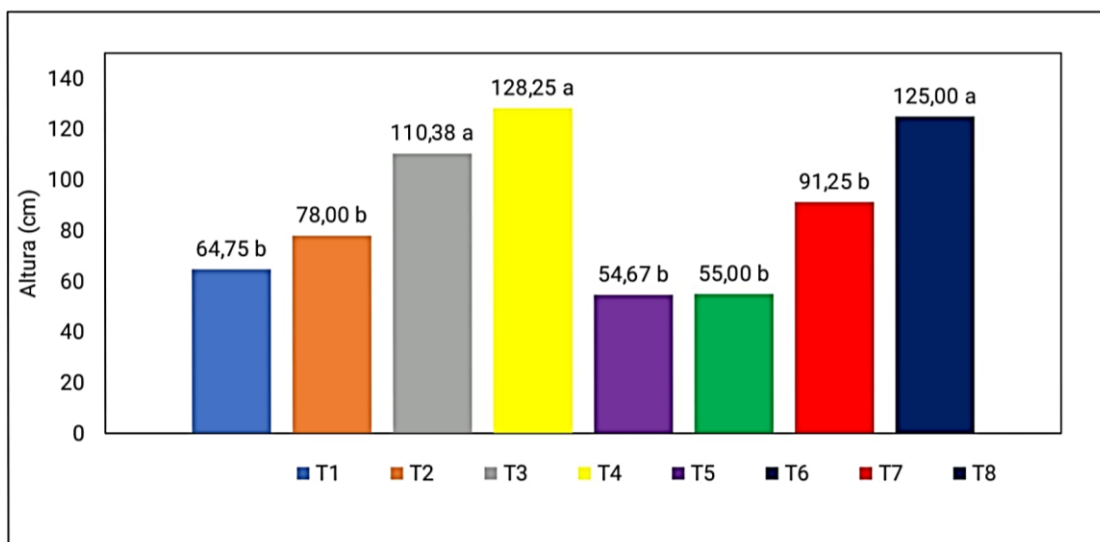


Figura 5. Análise de variância e teste de comparação de médias da altura dos tratamentos no tempo 40.

Legenda: T1 – VHI, T2 – VH, T3 -VI, T4 – V, T5 – HI, T6 – H, T7 – I, T8 – C. V- (vinhaça), H-(herbicida), I-(inseticida).

Fonte: De autoria própria. (2023).

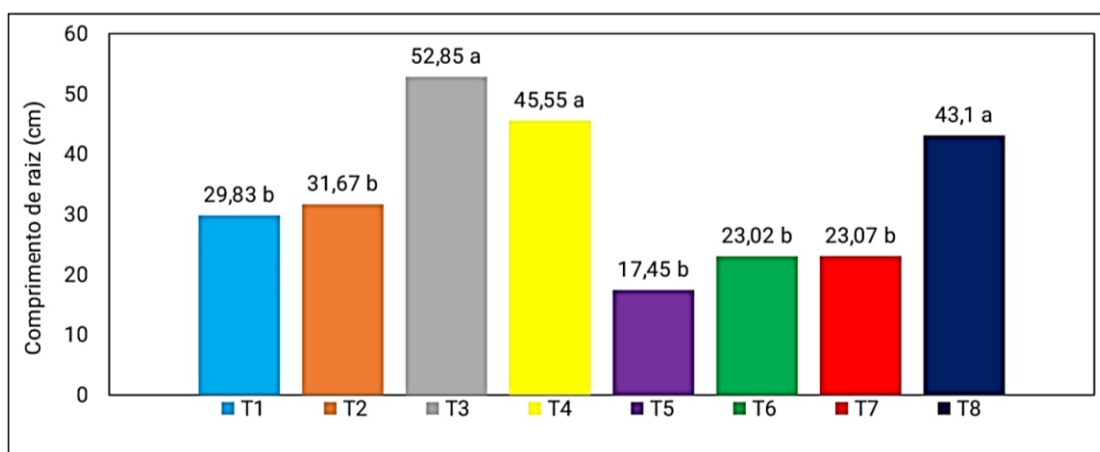


Figura 6. Análise de variância e teste de comparação de médias do comprimento de raiz dos tratamentos no tempo 40.

Legenda: T1 – VHI, T2 – VH, T3 -VI, T4 – V, T5 – HI, T6 – H, T7 – I, T8 – C. V- (vinhaça), H-(herbicida), I-(inseticida).

Fonte: De autoria própria. (2023).

A partir das análises realizadas, de maneira geral (**Figuras 4, 5 e 6**) observa-se um progresso significativamente positivo no desenvolvimento das plantas nos tratamentos em que a vinhaça foi aplicada sozinha (T4) e naqueles em que a vinhaça foi combinada com thiamethoxam (T3). Um exemplo na **figura 4**, onde o tratamento com vinhaça (T4) apresentou o maior diâmetro médio (14,578 mm), seguido por T3 (VI) com 13,005 mm. Ambos tiveram resultados significativamente maiores do que os demais tratamentos. Isso sugere que a

vinhaça pode atuar como um fertilizante eficaz, promovendo o crescimento e o desenvolvimento das plantas, o que está alinhado com estudos anteriores que destacam a capacidade da vinhaça de fornecer nutrientes essenciais (Frias *et al.*, 2023), e quando alinhada com o thiamethoxam que possui efeitos benéficos, como a melhoria da nutrição mineral, aumento do vigor da planta e resistência a adversidades, que foram amplamente documentados na literatura, como evidenciado por Soares (2006), Pereira (2010), Pereira, Fernandes e Veloso (2010), Pereira *et al.* (2010) e Leite *et al.* (2012).

Por outro lado, é importante notar que o tratamento com herbicida (T6) demonstra um impacto negativo no desenvolvimento das plantas, e esse efeito foi ainda mais acentuado quando o herbicida foi combinado com o inseticida (T5) (**Figuras 4, 5 e 6**). A presença simultânea de herbicidas e inseticidas pode resultar em uma carga tóxica ainda maior para as plantas, afetando negativamente seu crescimento. Esse dado fica ainda mais evidenciado na **Figura 6**, no qual os menores comprimentos de raiz foram observados nos Tratamentos com tebuthiuron isolado (T6) com desempenho de 23,02 cm e na presença do thiamethoxam (T5) apresentando o pior desempenho (17,45 cm).

Uma observação interessante é a diferença no desenvolvimento das plantas no tratamento que combina herbicida, inseticida e vinhaça (T1) em relação ao tratamento controle (T8). No tratamento combinado, as plantas ficaram visivelmente mais baixas (**Figura 5**) (T1- 64,75), enquanto o colo ficou mais grosso (**Figura 4**) (T1- 10,44). Isso sugere que a mistura desses três elementos pode ter um efeito diferente na altura e no diâmetro das plantas, provavelmente por causa de interações complexas entre eles. Em estudos, o aumento dos níveis de tebuthiuron correlacionou-se com a redução da altura e do diâmetro das plantas, especialmente em espécies sensíveis como *Mucuna pruriens* (Frias *et al.*, 2023). A Vinhaça pode exacerbar os efeitos negativos do tebuthiuron aumentando sua lixiviação e biodisponibilidade no solo, levando a maior fitotoxicidade (Tofoli *et al.*, 2009). A presença de matéria orgânica da vinhaça pode potencializar a lixiviação do tebuthiuron, impactando ainda mais negativamente o crescimento das plantas (Tofoli *et al.*, 2009).

Por outro lado, no tratamento controle (T8), observa-se uma dinâmica oposta, com uma relação entre a altura e o diâmetro das plantas (**Figuras 4 e 5**). Isso indica que as condições de crescimento e os fatores envolvidos nesse

tratamento particular resultam em um padrão diferente de desenvolvimento em comparação com o tratamento que inclui herbicida, inseticida e vinhaça. Essa observação destaca a importância de considerar a interação entre diferentes variáveis no estudo de fitotoxicologia e fitorremediação.

No que diz respeito ao comprimento das raízes (**Figura 6**), observou-se um desenvolvimento positivo nos tratamentos em que a vinhaça foi combinada com thiamethoxam (T3), o mais eficaz em promover o crescimento radicular, com 52,85 cm de comprimento médio, seguido por vinhaça sozinha (T4) com 45,55 cm, em comparação com os demais tratamentos. No entanto, houve uma notável redução no comprimento das raízes nos tratamentos com herbicida (T6) (23,02) e ainda mais quando o herbicida foi combinado com o inseticida (T5) apresentando o pior desempenho (17,45 cm). Isso sugere que a presença de herbicidas, especialmente em combinação com inseticidas, pode ter efeitos adversos nas raízes das plantas, o que pode afetar a absorção de nutrientes e a estabilidade das plantas no solo (Pires *et al.*, 2005; Mendes *et al.*; 2021).

5.4. Biomassa fresca e seca

Os resultados observados na **Figura 7** oferecem informações importantes sobre os efeitos dos diferentes tratamentos no acúmulo de matéria seca nas plantas de milho.

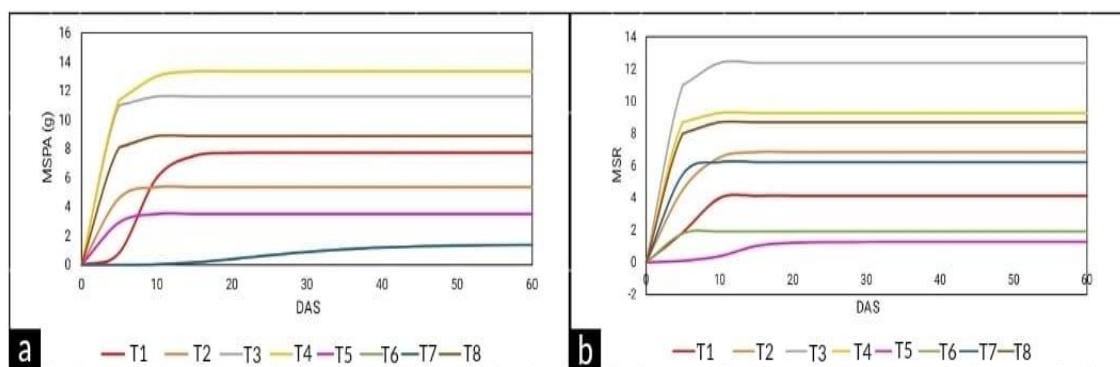


Figura 7 Progressão temporal da MSPA e MSR de milho a partir da modelagem de *Gompertz*.

Legenda: T1 – VHI, T2 – VH, T3 -VI, T4 – V, T5 – HI, T6 – H, T7 – I, T8 – C. V- (vinhaça), H-(herbicida), I-(inseticida).

Fonte: De autoria própria. (2023).

A massa seca da parte aérea e das raízes das plantas (**Figura 7 a e b**) apresentando os maiores valores de MSPA ao longo do tempo, nos tratamentos que utilizaram vinhaça isoladamente (T4) e no tratamento com vinhaça combinada com thiamethoxan (T3) estabilizando em torno de 12-14 g. Essa observação indica um impacto positivo desses tratamentos no acúmulo de matéria seca das plantas. A vinhaça, rica em nutrientes orgânicos e minerais, fornece elementos essenciais que melhoram a fertilidade do solo e favorecem o crescimento das plantas. O thiamethoxam, por sua vez, estimula o vigor vegetal, aumentando a absorção de nutrientes e a fotossíntese. Juntos, esses fatores explicam o crescimento saudável observado.

Por outro lado, destaca-se que houve uma significativa redução no peso da matéria seca nas plantas submetidas ao tratamento com herbicida (T6), e essa redução foi ainda mais acentuada quando o herbicida foi combinado com o inseticida (T5) se estabilizando abaixo de 5g. A presença simultânea de tebuthiuron e thiamethoxam pode ter criado uma carga tóxica ainda maior para as plantas, resultando em uma redução significativa na acumulação de matéria seca.

Essas descobertas são coerentes com a literatura existente, que destaca os efeitos negativos dos herbicidas e inseticidas na biomassa e no crescimento das plantas. Isso reforça a importância de considerar cuidadosamente o uso desses produtos químicos em práticas agrícolas. (Frias *et al.*, 2022; Nantes *et al.*, 2022).

Portanto, os resultados demonstram a influência significativa dos tratamentos no acúmulo de matéria seca nas plantas, com os tratamentos envolvendo vinhaça e thiamethoxam promovendo um impacto positivo, enquanto a presença de tebuthiuron, em particular quando combinada com Thiamethoxam, levou a um impacto negativo no desenvolvimento das plantas.

6. CONCLUSÕES

Em resumo, os resultados deste estudo revelaram que a tolerância das plantas de milho é afetada de maneira significativa pelos tratamentos aplicados, especialmente em relação ao uso da combinação do herbicida (tebuthiuron) e do inseticida (thiamethoxam). O grupo de controle, que não recebeu pesticidas, demonstrou menor fitotoxidez das plantas, indicando a importância de evitar a aplicação excessiva de produtos químicos no solo. Os resultados indicam que a vinhaça, isoladamente, promoveu um efeito benéfico no crescimento do milho, evidenciando seu valor como fertilizante orgânico capaz de atenuar os impactos negativos de pesticidas no solo.

A associação dos defensivos resultou em uma maior toxicidade, reforçando a necessidade de um manejo cuidadoso desses produtos para minimizar os riscos ambientais e produtivos. Por outro lado, quando a vinhaça é aplicada nos tratamentos com tebuthiuron e o thiamethoxam, especialmente quando combinado com thiamethoxam, melhorou o desempenho das plantas, evidenciando seu efeito bioativador que promove um aumento no desenvolvimento da planta.

Portanto, o milho demonstrou-se uma espécie promissora para a fitorremediação em solos contaminados, apresentando uma boa tolerância especialmente quando associado à vinhaça, que pode atuar como uma aliada na mitigação dos efeitos adversos dos defensivos. No entanto, o uso controlado e consciente de herbicidas e inseticidas permanece essencial para garantir a sustentabilidade agrícola e a proteção do solo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASSEY, M. S.; KOLO, M. G. M.; DANIYA, E.; ODOFIN, A. J. Trash Mulch and Weed Management Practice Impact on Some Soil Properties, Weed Dynamics and Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Genotypes Plant Crop Productivity. **Sugar Tech**, India, v. 23, n. 2, p. 395–406, 2021

COMBINE 500 SC: suspensão concentrada. São Paulo: Proventis Lifescience Defensivos Agrícolas, 2019. 1 bula de defensivo agrícola (15 p.). Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2020-10/combine500sc0120.pdf. Acesso em: 30 ago. 2021

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Vinhaça – critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**: P4.231. São Paulo: [s.n.], 2015.

CONAB. **Boletim da safra de cana-de-açúcar**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 9 out. 2024.

CRUZ, V. H. **Tolerância de adubos verdes associados a inoculantes microbianos em solo com tebuthiuron**. 2023. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2023.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; NAKAMURA, G.; SOTARELLI, L.; BRAZ, B.A.; EUZÉBIO, O. Viabilidade técnica e econômica de Actara 250 WG, aplicado em diversas doses, no controle de cigarrinha-das-raízes. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, [s.l.], v. 22, n. 1, p. 61-68, 2003.

EAPEN, S; D'SOUZA, S. F. Prospects of Genetic Engineering of Plants for Phytoremediation of Toxic Metals. **Biotechnology Advances**, v. 23, n. 2, p. 97-114, 2005.

FARIA, D. M. **Obtenção e caracterização de micropartículas de alginato para a liberação controlada do herbicida tebuthiuron**. Dissertação (Mestrado em Agroquímica). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2016.

FERREIRA, L. C.; MOREIRA, B. R. A.; MONTAGNOLLI, R. N.; PRADO, E. P.; VIANA, R. S.; TOMAZ, R. S.; CRUZ, J. M.; BIDOIA, E. D.; FRIAS, Y. A.; LOPES, P. R. M. Green Manure Species for Phytoremediation of Soil with Tebuthiuron and Vinasse. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, Lausanne, v. 8, 2021b.

FRIAS, Y. A.; LIMA, E. W.; ARAGÃO, M. B.; NANTES, L. S.; MOREIRA, B. R. A.; CRUZ, V. H.; TOMAZ, R. S.; LOPES, P. R. M. *Mucuna pruriens* cannot develop phytoremediation of tebuthiuron in agricultural soil with vinasse: a morphometrical and ecotoxicological analysis. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, [s. l.], v. 11, p. 1156751, 2023.

FUESS, L. T. **Potencial contaminante e energético da vinhaça: riscos de contaminação ao solo e recursos hídricos e recuperação de energia a partir da digestão anaeróbica.** Dissertação (Mestrado Engenharia Ambiental). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, 2013.

GARCIA, J. F. **Manual de Identificação de Pragas da Cana.** Campinas: [s.n], 2013.

HUANG, J.; KHAN, M. T.; PERECIN, D.; COELHO, S. T.; ZHANG, M. Sugarcane for bioethanol production: potential of bagasse in Chinese perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, United Kingdom, v. 133, p. 110296, 2020.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos.** Brasília: [s.n], 2019.

LEITE, L. G.; TAVARES, F. M.; BOTELHO, P. S. M.; BASTISTA FILHO, A. B.; POLANCZYK, R. A.; SCHMIDT, F. S. Eficiência de nematóides entomopatogênicos e 36 inseticidas químicos contra *Sphenophorus levis* e *Leucothyreus* sp. em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 40-48, jan./mar. 2012.

LIMA, E. W.; BRUNALDI, B. P.; FRIAS, Y. A.; ALMEIDA MOREIRA, B. R.; DA SILVA ALVES, L.; LOPES, P. R. M. A synergistic bacterial pool decomposes tebuthiuron in the soil. **Scientific Reports**, London, v. 12, n. 1, p. 9225-92236, 2022.

LIMA, F. A.; SANTOS JUNIOR, A. C.; MARTINS, L. C.; SARROU, B.; LOFRANO, R. C. Z. Revisão sobre a toxicidade e impactos ambientais relacionados à vinhaça, efluente da indústria sucroalcooleira. **Cadernos UniFOA**, [s. l.], v. 11, n. 32, p. 27–34, dez. 2016.

LIU, W.; ZHANG, X.; HE, D.; LIAO, S.; LIU, D.; HUANG, Q. Effects of Millet Crop Rotation on Soil Organic Carbon in a Karst Region in Southwest China. **Soil Research**, v. 53, n. 7, p. 813-821, 2015.

MARTINEZ, M. M. **Simulação do tratamento anaeróbio de vinhaça gerada a partir do processo de produção de etanol.** 2022. 38 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de São Paulo, 2022.

MARTINS, Y. A. M.; OLIVEIRA, C. F. Uso da vinhaça via fertirrigação por sistemas de irrigação. *In: JORNADA Acadêmica – Ciência, Inovação e Tecnologia no Bioma Cerrado*, [s. l.], v. 5, 2016.

MEHDIZADEH, M.; IZADI-DARBANDI, E.; NASERI POUR YAZDI, M. T.; RASTGOO, M.; MALAEKEH-NIKOUEI, B.; NASSIRLI, H. Impacts of different organic amendments on soil degradation and phytotoxicity of metribuzin. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, Tehran, v. 8, p. 113–121, 2019.

MENDES, K. F.; MASET, B. A.; MIELKE, K. C.; SOUSA, R. N. De; MARTINS, B. A. B.; TORNISIELO, V. L. Phytoremediation of quinclorac and tebuthiuron-polluted soil by green manure plants. **International Journal of Phytoremediation**, Philadelphia, v. 23, n. 5, p. 474–481, 2021.

MERCURIO, P.; MUELLER, J. F.; EAGLESHAM, G.; O'BRIEN, J.; FLORES, F.; NEGRI, A. P. Degradation of Herbicides in the Tropical Marine Environment: Influence of Light and Sediment. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 11, n. 11, p. e0165890, 2016.

MISIUNAS, S.; KOJENÉ, A. Winter Cereal Cover Crops and Their Importance in Soil Erosion Mitigation. **Acta Scientiarum Polonorum Agricultura**, [s.l.], v. 15, n. 4, p. 57-68, 2016.

MORAES, G. C.; ÁVILA, C. J. **Insetos-praga associados ao solo na cultura da cana-de-açúcar, no Estado de Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa, 2014.

NANTES, L. S.; ARAGÃO, M. B.; MOREIRA, B. R. A.; FRIAS, Y. A.; VALÉRIO, T. S.; LIMA, E. W.; SILVA VIANA, R.; LOPES, P. R. M. Synergism and antagonism in environmental behavior of tebuthiuron and thiamethoxam in soil with vinasse by natural attenuation. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Iran, 2022.

OLIVEIRA JÚNIOR, R.S. Mecanismos de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, p.141-192, 2011.

PEREIRA, J. M.; FERNANDES, P. M.; VELOSO, V. R. S. Efeito fisiológico do inseticida Thiamethoxam na cultura da cana-de-açúcar. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 77, n. 1, p. 159-164, 2010.

PEREIRA, J. M.; FERNANDES, P. M.; VELOSO, V. R. S.; SILVA, E. A. Thiamethoxam no controle de *Mahanarva fimbriolata*, na produtividade e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **Agrociencia Uruguay**, v. 14, n. 2, p. 26-32, jul./dec. 2010. Disponível em: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-15482010000200004&script=sci_arttext. Acesso em: 17 set. 2019.

PEREIRA, M. A. **Thiamethoxam em plantas de cana-de-açúcar, feijoeiro, soja, laranja e café: parâmetros de desenvolvimento e aspectos bioquímicos**. Tese (Doutorado em Agricultura) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2010.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; CECON, P. R.; SANTOS, J. B.; TÓTOLA, M. R.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; SILVA, C. S. W. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 627–634, 2005.

POMMERENING, A.; MUSZTA, A. Modelagem de Gompertz: uma abordagem prática. **Journal of Environmental Modeling and Analysis**, [s.l.], v. 42, n. 7, p. 1101-1111, 2016.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Adubação**: resíduos alternativos. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html. Acesso em: 10 jul. 2019.

SCORZA JUNIOR, R. P.; RIGITANO, R. L. O. Sorção, degradação e lixiviação do inseticida Thiamethoxam em dois solos de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 564-572, mai. 2012.

SILVA FILHO, M. A. da; CARVALHO, R. V.; JORGE, R. P. D.; YAMASHITA, O.M.; CARVALHO, M. A. C. de; GUIMARÃES, A. C. D. **Fitorremediação de solo contaminado com ametryne utilizando *Crotalaria (Crotalaria juncea)* e milho (*Pennisetum typhoides*)**. Revista Eletrônica Interdisciplinar, Barra do Garças – MT, Brasil; v. 16, n. 1, 2024.

SILVA, F. C.; FREIRE, F. J. **Inovação e desenvolvimento em cana-de-açúcar**: manejo, nutrição, bioinsumos, recomendação de corretivos e fertilizantes. Embrapa Brasília: Recife - UFRP, 2024.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 11, n. 1., 2007.

SINGH, A. K.; SHARMA, B.; RAGHUWANSHI, R. Soil and Crop Management Strategies for Sustainable Agriculture in Semi-Arid Region. **Current Journal of Applied Science and Technology**, [s.l.], v. 35, n. 3, p. 1-10, 2019.

SINGH, R. B.; MAHENDERAKAR, M. D.; JUGRAN, A. K.; SINGH, R. K.; SRIVASTAVA, R. K. Assessing genetic diversity and population structure of sugarcane cultivars, progenitor species and genera using microsatellite (SSR) markers, **Gene**, Amsterdam, vol. 753, p. e144800, 2020.

SOARES, R. A. B. **Nível de dano econômico de *Mahanarva fimbriolata* em cana-de-açúcar em Goiás**. 2006. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

TOFOLI, G. R. et al. Dinâmica do tebuthiuron em palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 27, n. 4, p. 815–821, 2009.

VASCONCELLOS, M. C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V. S. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. **Estudos de Biologia: Ambiente e Diversidade**, [s.l.], v. 83, p. 261-267, 2012.

WU, X.; HUANG, J.; HIGASHI, T.; NISHIMURA, T.; CHAI, X. Phytoextraction of Cadmium from Contaminated Soils and the Improvement of Soil Properties by Amending and Cropping. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, [s.l.], v. 98, n. 3, p. 326-332, 2017.