



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS ARAGUATINS
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

**JOSÉ VICTOR GARCIA MESQUITA
PEDRO HENRIQUE SILVA DE SOUZA**

**EFICÁCIA E EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDA COMERCIAL E ALTERNATIVO
NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DO MILHO**

**ARAGUATINS
2026**

**JOSÉ VICTOR GARCIA MESQUITA
PEDRO HENRIQUE SILVA DE SOUZA**

**EFICÁCIA E EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDA COMERCIAL E ALTERNATIVO
NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Agrônômica da Unidade *Campus*
Araguatins do Instituto Federal do Tocantins, como
exigência à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Elias Mendes Costa

**ARAGUATINS
2026**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

M578e Mesquita, José Victor Garcia
Eficácia e efeito residual de herbicida comercial e alternativo no controle de plantas daninhas na cultura do milho / José Victor Garcia Mesquita, Pedro Henrique Silva de Souza. – Araguatins, TO, 2026.
48 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Araguatins, Araguatins, TO, 2026.

Orientador: Dr. Elias Mendes Costa

1. Zea mays L. 2. cobertura vegetal. 3. índice de vegetação. I. Souza, Pedro Henrique Silva de. II. Costa, Elias Mendes III. , . IV. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Campus Araguatins
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônoma

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "EFICÁCIA E EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDA COMERCIAL E ALTERNATIVO NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DO MILHO"

AUTOR: José Victor Garcia Mesquita e Pedro Henrique Silva de Souza
ORIENTADOR: Elias Mendes Costa

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Araguatins*, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônoma.

Aprovado em 06 de agosto de 2026.



Documento assinado eletronicamente por **Elias Mendes Costa, Presidente**, em 06/08/2026, às 15:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Samuel de Deus da Silva, Membro**, em 06/08/2026, às 15:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Roberta de Freitas Souza Lobo, Membro**, em 06/08/2026, às 15:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3239244** e o código CRC **D38CA88F**.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão a Deus, por nos conceder força, sabedoria, saúde e perseverança ao longo de toda esta caminhada acadêmica.

Eu Pedro, agradeço, com todo o meu amor e carinho, à minha família, em especial à minha mãe, Liudenes dos Santos Silva de Souza, ao meu pai, Antônio Bandeira de Souza, e ao meu irmão, Paulo César Silva de Souza. Que sempre foram meu alicerce, minha maior fonte de apoio e inspiração. Obrigado por acreditarem em mim, pelos incentivos, pelos ensinamentos e por estarem ao meu lado em todos os momentos da minha vida e durante toda a trajetória da graduação. Esta conquista também é de vocês.

Um agradecimento ao meu grande amigo e parceiro José Victor Garcia Mesquita, que esteve ao meu lado desde o ensino médio, juntos nessa trajetória, durante a graduação e em todo o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Eu José, agradeço meus familiares, especialmente meus avós Maria das Dores e Walter Garcia, por sempre acreditarem no meu potencial e investirem em mim, é graças a eles que cheguei até aqui. Agradeço também a minha mãe Giselia Rodrigues Garcia, que não mediu esforços para que esse sonho se tornasse realidade. Às minhas irmãs Victa Lorrany, Lauany e Kauany deixo meu agradecimento especial. Meus familiares foram meu alicerce para que eu pudesse continuar nessa caminhada.

Um agradecimento super especial a minha professora do ensino fundamental Virginia Alves Oliveira, que sempre acreditou no meu potencial. Por fim, um agradecimento a meu grande amigo e parceiro Pedro Henrique Silva de Souza por confiar em mim para construirmos esse trabalho juntos.

Aos nossos amigos de faculdade, deixamos nossa sincera gratidão pela parceria, companheirismo e amizade construída ao longo desses anos. Obrigado pelas risadas, pelas conversas, pelos momentos de descontração e também pelos desafios que enfrentamos juntos. Cada experiência compartilhada tornou essa jornada mais leve e especial.

Expressamos nossa sincera gratidão ao professor Elias Mendes Costa, pela dedicação, competência e comprometimento, no qual seus conhecimentos,

orientações e disponibilidade foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ademais, gostaríamos de agradecer aos professores Samuel de Deus e Roberta Freitas, por aceitarem o convite para compor a banca avaliadora.

Por fim, agradecemos a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste sonho e fizeram parte dessa importante etapa de nossas vidas. Muito obrigado!

RESUMO

As plantas daninhas constituem um dos principais fatores limitantes à produtividade agrícola, sendo o uso de herbicidas uma das principais estratégias empregadas para seu controle. Entretanto, além da eficiência imediata, é necessário considerar a persistência dos produtos no ambiente e seus possíveis efeitos sobre culturas subsequentes. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo comparar a eficiência de herbicidas comerciais não seletivos e de uma formulação alternativa no controle de plantas daninhas, bem como avaliar seus possíveis efeitos residuais sobre o solo e o desenvolvimento inicial da cultura do milho (*Zea mays* L.). O experimento foi conduzido em condições de campo, utilizando-se delineamento em blocos casualizados para as avaliações das plantas daninhas e delineamento inteiramente casualizado, em sacos de polipropileno, para as avaliações do desenvolvimento inicial do milho. Foram avaliados quatro tratamentos, com quatro repetições, constituídos por T1 – Diquat Nortox® (2,0 L ha⁻¹); T2 – Glifosato Rainbow® (4,0 L ha⁻¹); T3 – Paxeo® (55 g ha⁻¹); e T4 – formulação alternativa composta por vinagre de álcool, detergente neutro, cloreto de sódio (NaCl) e ureia agrícola. A eficiência dos tratamentos foi avaliada por meio de análises visuais da comunidade infestante e do monitoramento da cobertura vegetal utilizando imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada e o índice de vegetação. Também foram determinados os teores de sódio no solo e avaliados o índice de velocidade de emergência, a massa seca da parte aérea e a massa seca das raízes do milho cultivado após a aplicação dos herbicidas. Os resultados demonstraram maior eficiência dos herbicidas comerciais no controle das plantas daninhas em comparação à formulação alternativa. O Paxeo® apresentou maior persistência na supressão da reinfestação ao longo do período de avaliação e impediu a emergência do milho quando a cultura foi semeada imediatamente após a aplicação. O glifosato apresentou elevada eficiência inicial, porém com posterior recuperação da cobertura vegetal. A formulação alternativa apresentou controle limitado, promoveu aumento do teor de sódio no solo e retardou a emergência das plântulas de milho. Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para a massa seca da parte aérea e das raízes. Conclui-se que a formulação alternativa apresentou baixa eficiência no controle das plantas daninhas, não corroborando a eficácia divulgada nas redes sociais, e apresentou efeito residual no solo e no milho.

Palavras-chave: *Zea mays* L. cobertura vegetal. sensoriamento remoto. índice de vegetação. Diclosulam.

ABSTRACT

Weeds are a major limiting factor for agricultural productivity, and herbicide application is a primary strategy for their control. However, beyond immediate efficacy, it is essential to consider the environmental persistence of these products and their potential effects on subsequent crops. In this context, this study aimed to compare the efficacy of commercial non-selective herbicides and an alternative formulation for weed control, as well as to evaluate their potential residual effects on the soil and the early development of maize (*Zea mays* L.). The experiment was conducted under field conditions using a randomized complete block design for weed assessments and a completely randomized design—using polypropylene bags—for assessments of early maize development. Four treatments with four replicates were evaluated: T1 – Diquat Nortox® (2.0 L ha⁻¹); T2 – Glyphosate Rainbow® (4.0 L ha⁻¹); T3 – Paxeo® (55 g ha⁻¹); and T4 – an alternative formulation composed of alcohol vinegar, neutral detergent, sodium chloride (NaCl), and agricultural urea. Treatment efficacy was assessed through visual analysis of the weed community and monitoring of vegetation cover using images obtained via a remotely piloted aircraft and vegetation indices. Soil sodium levels were determined, and the emergence speed index, shoot dry mass, and root dry mass of maize grown after herbicide application were evaluated. The results demonstrated that commercial herbicides were more effective at controlling weeds than the alternative formulation. Paxeo® showed greater persistence in suppressing re-infestation throughout the evaluation period and prevented maize emergence when the crop was sown immediately after application. Glyphosate showed high initial efficacy, but vegetation cover recovered subsequently. The alternative formulation showed limited control, increased soil sodium content, and delayed maize seedling emergence. No significant differences were observed among treatments regarding shoot and root dry mass. It is concluded that the alternative formulation exhibited low weed control efficiency—failing to substantiate the efficacy claimed on social media—and showed residual effects on the soil and the maize crop.

Keywords: *Zea mays* L. cover crop. remote sensing. vegetation index. Diclosulam.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Manejo de plantas daninhas na cultura do milho	11
2.2 Herbicidas não seletivos utilizados no manejo de plantas daninhas	12
2.3 Alternativas caseiras para controle de plantas daninhas	14
2.4 Efeito residual de herbicidas e misturas caseiras	15
2.5 Agricultura de precisão aplicada ao monitoramento de plantas daninhas	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Caracterização da área experimental	19
3.2 Identificação das plantas daninhas da área experimental	20
3.3 Delineamento experimental e tratamentos	21
3.4 Avaliação da eficiência de controle das plantas daninhas	22
3.5 Aquisição e processamento de imagens por Aeronave Remotamente Pilotada (ARP)	23
3.6 Avaliação do efeito residual no solo	25
3.7 Condução do experimento para avaliação do efeito residual na cultura do milho	26
3.8 Avaliação do efeito residual no milho	28
3.9 Análise estatística	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5 CONCLUSÃO	43
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O manejo de plantas daninhas constitui uma prática essencial nos sistemas agrícolas, uma vez que a competição por água, luz e nutrientes compromete significativamente o desenvolvimento e a produtividade das culturas de interesse econômico, reduzindo o rendimento e a eficiência produtiva das lavouras (Fontes et al., 2025). Tradicionalmente, o controle químico por meio de herbicidas não seletivos, como glifosato, Paxeo® e diquat, destaca-se como a principal estratégia de manejo devido à elevada eficiência e à rapidez na dessecação das plantas infestantes. Esses produtos são registrados e recomendados para diferentes cenários agrícolas, conforme seus mecanismos de ação e as recomendações técnicas disponíveis (Paul et al., 2024).

O uso contínuo de herbicidas químicos aumenta a pressão de seleção sobre as populações de plantas daninhas, favorecendo o surgimento de espécies tolerantes ou resistentes. Esse cenário representa um desafio ao manejo convencional e reforça a necessidade de desenvolver estratégias complementares e cientificamente fundamentadas (Furtado et al., 2025). Paralelamente, observa-se, nas últimas décadas, o crescente interesse por métodos alternativos de controle de plantas daninhas, especialmente em sistemas de produção que buscam reduzir a dependência de herbicidas sintéticos. Entre essas alternativas, destacam-se métodos culturais, mecânicos, físicos e o uso de produtos de origem natural ou de baixo custo, cuja adoção pode ser particularmente relevante em sistemas de pequena escala e na agricultura familiar (Costa et al., 2018).

Embora existam evidências de que compostos à base de ácido acético, principal componente do vinagre, exerçam efeito herbicida sobre plantas em estádios iniciais de desenvolvimento, a eficiência dessas misturas varia de acordo com a espécie, o estágio de crescimento e a formulação utilizada. Em geral, seu desempenho é inferior ao obtido com herbicidas registrados e avaliados em condições experimentais de campo ou casa de vegetação (Webber et al., 2018). Além disso, ainda são escassos os estudos que investigam os efeitos residuais dessas misturas no solo e em culturas subsequentes, especialmente quanto ao potencial de salinização provocado por compostos como o cloreto de sódio (NaCl).

O aumento da salinidade pode modificar propriedades físico-químicas do solo, como o pH e a condutividade elétrica, comprometendo a emergência e o desenvolvimento de culturas sensíveis (Ahmad et al., 2025).

Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo comparar a eficiência agrônômica de herbicidas comerciais não seletivos (Diquat Nortox®, Glifosato Rainbow® e Paxeo®) e de uma alternativa caseira no controle de plantas daninhas, bem como avaliar seus efeitos residuais sobre o solo e o desenvolvimento inicial da cultura do milho (*Zea mays*). Para isso, foram avaliados a eficiência de controle, o tempo de dessecação, a reinfestação, a ocorrência de espécies tolerantes, a dinâmica da cobertura vegetal por meio do índice de vegetação resistente à atmosfera (VARI, sigla em inglês), obtido com o uso de aeronave remotamente pilotada (ARP), além dos parâmetros de crescimento inicial do milho e das alterações químicas do solo, com ênfase na salinidade. Com isso, o estudo buscou gerar evidências científicas capazes de subsidiar práticas de manejo de plantas daninhas mais eficientes, seguras e sustentáveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manejo de plantas daninhas na cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta da família das gramíneas, originária da região da América Central. É um cereal cultivado em grande parte do mundo e possui altas qualidades nutritivas, sendo utilizado principalmente na alimentação humana e ração animal (cerca de 70% do seu uso é para esse fim), (SYNGENTA, 2023). A safra 2025/26 para o Brasil, segundo estimativas da Companhia Nacional de abastecimento (Conab, 2026), será de aproximadamente 140.463 mil toneladas, uma alta em relação ao ciclo anterior de 0,55%; já a área produzida teve um aumento de 3,31%, passando a contar com aproximadamente 22.582 mil ha⁻¹.

O avanço da agricultura é exponencial; a cada dia, novas tecnologias e ferramentas são agregadas a essa atividade que movimenta o mundo. Infelizmente, apesar desse progresso, diversos fatores ainda interferem negativamente na produção agropecuária, como o prejuízo causado por plantas daninhas nas lavouras. São consideradas plantas daninhas aquelas que interferem nos objetivos comerciais do homem, ocorrendo em locais indesejáveis e afetando o desenvolvimento de

culturas, o que impacta negativamente a produtividade ou a qualidade do produto final (Vasconcelos et al., 2012).

Além dos danos diretos, essas ervas invasoras reduzem a eficiência agrícola, elevam os custos de produção e, inclusive, dificultam a colheita de culturas mais sensíveis. A competição por nutrientes e água é um ponto de enorme relevância, pois as plantas daninhas, rotineiramente, levam vantagem sobre as espécies cultivadas por serem muito mais adaptadas aos mais diversos ambientes (Vasconcelos et al., 2012).

A ocorrência de plantas daninhas constitui um dos principais desafios para a produção de milho, uma vez que essas espécies competem com a cultura por recursos essenciais, como água, luz e nutrientes, podendo comprometer seu crescimento e desenvolvimento. A interferência das plantas daninhas pode resultar em perdas significativas de produtividade, tornando necessário o emprego de estratégias de manejo capazes de reduzir sua competição com a cultura e evitar que os danos ultrapassem o nível de dano econômico (Fontes et al., 2025).

2.2 Herbicidas não seletivos utilizados no manejo de plantas daninhas

A utilização de herbicidas comerciais é uma das medidas de controle essencial em inúmeros casos no controle de plantas daninhas, mas exige cuidados e precauções para garantir a máxima eficácia e segurança. Dentre as variadas classificações dos herbicidas, destacam-se os seletivos e os não seletivos. Os não seletivos atuam de forma indiscriminada sobre qualquer espécie vegetal, sendo normalmente utilizados em aplicações dirigidas ou como dessecantes; entre eles, destacam-se o diquat, o glifosato, o paxeo e o imazapyr (Mendes et al., 2022). Em contraste, os herbicidas seletivos apresentam capacidade de controlar determinadas espécies infestantes sem causar danos significativos à cultura, característica que depende da espécie cultivada, estágio de desenvolvimento, dose aplicada e condições ambientais (Mendes et al., 2022).

Dentre os herbicidas não seletivos registrados para o manejo de plantas daninhas, destacam-se o Diquat Nortox®, formulado à base de diquate; o Glifosato Rainbow®, cujo ingrediente ativo é o glifosato na forma de sal de isopropilamina; e o Paxeo®, composto pelos ingredientes ativos diclosulam e halauxifen-metil (BRASIL, 2026). O Diquat Nortox® é um herbicida não seletivo e de contato, pertencente ao grupo químico dos bipyridílios, formulado como concentrado solúvel (SL). Seu

ingrediente ativo é o diquate, cujo mecanismo de ação consiste na inibição do Fotossistema I (Grupo D – HRAC), promovendo a formação de espécies reativas de oxigênio que provocam rápida destruição das membranas celulares e, conseqüentemente, a dessecação dos tecidos vegetais. Por apresentar ação de contato, o produto atua principalmente sobre os tecidos atingidos pela pulverização, sendo amplamente empregado em operações de dessecação pré-plantio e pré-colheita. (NORTOX S.A., 2023).

O glifosato é um herbicida não seletivo e sistêmico, pertencente ao grupo químico das glicinas substituídas. Seu mecanismo de ação consiste na inibição da enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), essencial na via do ácido chiquímico para a síntese de aminoácidos aromáticos. Em decorrência desse mecanismo, ocorre a interrupção do crescimento das plantas suscetíveis, culminando com sua morte. O Glifosato Rainbow® é formulado como concentrado solúvel, contendo 480 g L⁻¹ de glifosato na forma de sal de isopropilamina (equivalente ácido de 360 g L⁻¹), sendo registrado para diversas culturas agrícolas, incluindo o milho (RAINBOW DEFENSIVOS AGRÍCOLAS LTDA., 2025).

Segundo a CTVA Proteção de Cultivos Ltda., (2023), o Paxeo® é um herbicida sistêmico formulado na forma de grânulos dispersíveis em água (WG), composto pelos ingredientes ativos diclosulam (580 g kg⁻¹) e halauxifen-metil (115 g kg⁻¹). O diclosulam pertence ao grupo químico das sulfonanilidas triazolopirimidinas e atua como inibidor da enzima acetolactato sintase (ALS), enquanto o halauxifen-metílico pertence ao grupo dos ácidos piridinocarboxílicos e atua como herbicida mimetizador de auxinas. A associação desses ingredientes ativos amplia o espectro de controle de plantas daninhas de folhas largas e contribui para o manejo de populações resistentes a herbicidas de mecanismo de ação único. Esses ingredientes ativos pertencem, respectivamente, aos Grupos B e O do HRAC, sendo indicados para o manejo de plantas daninhas de folhas largas e estreitas em sistemas agrícolas.

Em função das diferenças quanto ao mecanismo de ação, mobilidade na planta, persistência no ambiente e espectro de controle, esses herbicidas podem apresentar comportamentos distintos quanto à eficiência de dessecação, ao tempo de controle e ao efeito residual sobre o solo e culturas subsequentes. Dessa forma, a comparação entre esses produtos e uma alternativa caseira permite avaliar não apenas sua eficiência agrônômica, mas também possíveis implicações para o manejo sustentável de plantas daninhas.

2.3 Alternativas caseiras para controle de plantas daninhas

O controle de plantas daninhas é uma prática recorrente em qualquer sistema de produção agrícola. Nesse contexto, o uso de herbicidas sintéticos ainda é predominante, devido à sua ampla utilização e eficácia já consolidada. Entretanto, existem alternativas naturais que vêm sendo estudadas e que apresentam vantagens importantes, especialmente em relação à segurança ambiental e à saúde humana.

O ácido acético, principal componente do vinagre, vem sendo investigado como uma alternativa ao controle químico convencional de plantas daninhas. Sua ação herbicida ocorre por contato direto com os tecidos vegetais, promovendo a desorganização das membranas celulares, a rápida perda de água e a consequente necrose das partes atingidas. Em razão desse mecanismo de ação, o ácido acético apresenta maior eficiência quando aplicado sobre plantas daninhas jovens, principalmente espécies anuais em estádios iniciais de desenvolvimento, sendo sua eficácia influenciada pelo estágio fenológico das plantas e pelas condições de aplicação (ORLOFF, 2021).

Conforme Chu et al., (2022), o uso do vinagre de madeira demonstrou capacidade de inibir a germinação de sementes de plantas daninhas. As concentrações necessárias para inibir 50% da germinação variaram entre as espécies avaliadas, sendo 0,16% para *Bidens pilosa* (picão-preto), 0,48% para *Amaranthus retroflexus* (caruru) e 0,51% para *Leonurus cardiaca*. Além disso, o estudo relata que uma concentração de 5% foi suficiente para inibir completamente a germinação de todas as espécies testadas. Esses resultados demonstram que existem alternativas naturais já estudadas e que apresentaram eficiência satisfatória no controle dessas plantas daninhas.

O detergente é um dos principais componentes de alternativas caseiras utilizadas no controle de plantas daninhas principalmente no preparo de formulações alternativas para o controle dessas plantas, o detergente pode atuar como adjuvante surfatante, reduzindo a tensão superficial da solução e favorecendo sua distribuição sobre a superfície foliar. Essa característica melhora o molhamento das folhas e pode aumentar o contato do ingrediente ativo com os tecidos vegetais, potencializando a eficiência da aplicação (Vargas; Roman, 2006).

O cloreto de sódio (NaCl) também tem sido estudado como uma alternativa para o controle de plantas daninhas, devido à sua capacidade de promover estresse osmótico e desidratação dos tecidos vegetais. Entretanto, seu uso deve ser realizado

com cautela, uma vez que aplicações sucessivas ou em concentrações elevadas podem aumentar a concentração de sódio e a condutividade elétrica do solo, provocando alterações em suas propriedades e podendo comprometer o desenvolvimento de espécies vegetais não alvo (Brosnan et al., 2017).

Por outro lado, amplamente empregada como fertilizante nitrogenado, a ureia também pode desempenhar função auxiliar em caldas de pulverização, favorecendo a eficiência de herbicidas em determinadas condições. Carvalho et al., (2010) demonstraram que sua adição à calda de glifosato aumentou a eficiência do controle de *Digitaria insularis*, indicando que esse composto pode atuar como um potencializador da ação herbicida quando associado a outros componentes da pulverização.

Embora diversos estudos demonstrem o potencial de componentes como ácido acético, detergente, NaCl e ureia no controle de plantas daninhas, a eficiência dessas formulações alternativas ainda depende de fatores como a composição da mistura, a espécie infestante, o estágio de desenvolvimento das plantas e as condições de aplicação. Além disso, permanecem escassas as informações sobre seus possíveis efeitos residuais nas propriedades químicas do solo, especialmente quanto à salinidade, e sobre o desenvolvimento inicial de culturas subsequentes. Nesse contexto, a comparação entre uma formulação caseira e herbicidas comerciais torna-se essencial para avaliar sua eficiência agrônômica e seus impactos no sistema solo-planta, fornecendo evidências científicas que contribuam para recomendações técnicas mais seguras e sustentáveis no manejo de plantas daninhas.

2.4 Efeito residual de herbicidas e misturas caseiras

O efeito residual de herbicidas constitui um dos principais aspectos a serem considerados no manejo de plantas daninhas, uma vez que a permanência dessas moléculas no solo pode influenciar tanto a eficiência do controle quanto o desenvolvimento das culturas implantadas em sucessão. Após a aplicação, os herbicidas passam por processos físicos, químicos e biológicos, como adsorção, lixiviação, degradação e volatilização, que determinam sua persistência e comportamento no ambiente (Oliveira; Brighenti, 2011). Assim, o conhecimento sobre o mecanismo de ação, a degradação e a persistência desses produtos são fundamentais para reduzir os riscos de contaminação ambiental e garantir maior segurança ao sistema de produção (Karam et al., 2009).

A persistência dos herbicidas no solo varia conforme as características do ingrediente ativo, da dose aplicada, das propriedades físico-químicas do solo e das condições climáticas. Em determinadas situações, resíduos podem permanecer ativos por períodos prolongados, ocasionando efeitos fitotóxicos sobre culturas subsequentes. No milho (*Zea mays* L.), embora exista tolerância a diversos herbicidas empregados no manejo de plantas daninhas, moléculas pertencentes a grupos como diclosulam, imidazolinonas, triazinas e sulfonilureias podem comprometer a emergência, o crescimento inicial e o desenvolvimento da cultura quando permanecem disponíveis no solo por tempo prolongado, especialmente em ambientes com baixa atividade microbiana, reduzido teor de matéria orgânica e condições de déficit hídrico (Procópio et al., 2001).

Em contraste, as alternativas caseiras utilizadas no controle de plantas daninhas ainda apresentam limitada fundamentação científica quanto aos seus efeitos residuais no solo. Formulações compostas por ingredientes como vinagre, detergente, NaCl e ureia são amplamente difundidas devido ao baixo custo e à facilidade de preparo, porém seu comportamento no ambiente ainda é pouco conhecido. Embora o ácido acético apresente rápida degradação e baixa persistência ambiental, substâncias como o NaCl podem promover alterações nas propriedades químicas do solo, especialmente em aplicações repetidas ou em elevadas concentrações. Essas alterações podem resultar em estresse osmótico, dificultar a absorção de água pelas sementes e comprometer a emergência e o desenvolvimento inicial de culturas sensíveis (Smith-Fiola; Gill, 2024).

Considerando que algumas formulações alternativas para o controle de plantas daninhas incluem a adição de sal de cozinha (NaCl), torna-se importante avaliar seus possíveis efeitos sobre a cultura subsequente. O estresse salino reduz o potencial osmótico do solo, dificultando a embebição das sementes e a germinação, além de provocar efeitos tóxicos decorrentes do acúmulo de sódio nos tecidos vegetais, podendo comprometer o desenvolvimento inicial do milho (Moreira et al., 2025)

Nesse contexto, a avaliação dos efeitos residuais dos produtos utilizados no manejo de plantas daninhas deve estar associada ao acompanhamento da resposta da vegetação ao longo do tempo, de modo a assegurar não apenas a eficiência do controle, mas também a segurança ambiental e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. O uso de ferramentas da Agricultura de Precisão, por meio da coleta e análise de informações espaciais e temporais, possibilita monitorar de forma objetiva

e não destrutiva os efeitos das práticas de manejo, contribuindo para intervenções mais direcionadas e para o uso mais racional de insumos.

Dessa forma, tecnologias como as Aeronaves Remotamente Pilotadas e os índices de vegetação obtidos a partir de imagens aéreas constituem importantes ferramentas de apoio à tomada de decisão, favorecendo estratégias de manejo mais eficientes, ambientalmente responsáveis e sustentáveis.

2.5 Agricultura de precisão aplicada ao monitoramento de plantas daninhas

A Agricultura de Precisão (AP) consiste em uma estratégia de gerenciamento agrícola baseada na coleta, processamento e análise de informações espaciais e temporais da área de cultivo, permitindo a identificação da variabilidade existente no campo e o manejo localizado dos fatores que influenciam a produtividade agrícola (Molin, 2015). A partir dessas informações, torna-se possível realizar intervenções localizadas, como a aplicação de insumos em taxas variáveis, otimizando o uso de recursos, reduzindo custos de produção e minimizando os impactos ambientais. Além disso, a integração de tecnologias como receptores GNSS, sensores, drones, sistemas de informações geográficas (SIG) e softwares de processamento de dados tem contribuído para aumentar a eficiência das operações agrícolas e a tomada de decisões pelos produtores (Bernardi et al., 2025).

No Brasil, a adoção da AP intensificou-se a partir dos anos 2000, acompanhando a disponibilidade de equipamentos capazes de coletar, processar e interpretar dados espaciais das áreas agrícolas. Nos últimos anos, a evolução da AP passou a incorporar tecnologias como drones, sensores embarcados, Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial e computação em nuvem, ampliando a capacidade de monitoramento em tempo real e a tomada de decisão baseada em dados, contribuindo para sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis (Garcia et al., 2024).

Entre as tecnologias empregadas na Agricultura de Precisão, destacam-se as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), também conhecidas como Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou drones. Esses equipamentos permitem a aquisição de imagens de alta resolução espacial em curto intervalo de tempo, possibilitando o monitoramento detalhado das lavouras e a identificação da variabilidade espacial das plantas daninhas. Dessa forma, as imagens obtidas podem subsidiar o mapeamento de áreas infestadas, a identificação de espécies de difícil

controle e a realização de aplicações localizadas de herbicidas, contribuindo para maior eficiência operacional, redução do consumo de insumos, diminuição dos custos de produção e mitigação dos impactos ambientais (Santos, 2019; Souza, 2024).

Entre as ferramentas utilizadas na Agricultura de Precisão para o monitoramento da vegetação, destacam-se os índices de vegetação obtidos a partir de imagens aéreas. Esses índices permitem avaliar a cobertura e o vigor da vegetação por meio da resposta espectral captada pelos sensores, possibilitando análises quantitativas e não destrutivas. Entre os índices que podem ser calculados a partir de imagens RGB destaca-se o *Visible Atmospherically Resistant Index* (VARI), desenvolvido para estimar a fração de cobertura vegetal utilizando as bandas do espectro visível. Por não depender da banda do infravermelho próximo, o índice pode ser calculado a partir de imagens obtidas por câmeras RGB convencionais, inclusive aquelas embarcadas em Aeronaves Remotamente Pilotadas.

Em razão dessas características, o índice tem sido amplamente empregado na Agricultura de Precisão para o monitoramento agrícola e a identificação de áreas com diferentes condições de desenvolvimento da vegetação (Santoro, 2020). O VARI é obtido utilizando-se a seguinte equação:

$$VARI = \frac{G - R}{G + R - B}$$

Onde o G = banda verde (Green); o R = banda vermelha (Red) e o B = banda azul (Blue). Valores elevados de VARI estão associados à maior presença e vigor da cobertura vegetal, enquanto valores reduzidos indicam menor cobertura vegetal ou vegetação com baixo desenvolvimento. Dessa forma, alterações nos valores desse índice podem ser utilizadas para acompanhar a resposta das plantas após diferentes práticas de manejo.

Assim, o VARI constitui uma importante ferramenta de apoio às avaliações convencionais de campo, permitindo complementar a análise da eficiência de diferentes métodos de controle de plantas daninhas de forma rápida, objetiva e não destrutiva. Sua utilização amplia a capacidade de monitoramento da cobertura vegetal e fornece informações relevantes para a tomada de decisão em sistemas agrícolas conduzidos sob os princípios da Agricultura de Precisão.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em área do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), *Campus Araguatins*, localizado no Povoado Santa Tereza, Km 05, zona rural do município de Araguatins – TO. A área é caracterizada pela presença de um Argissolo vermelho-amarelo eutrófico, constituído por 43,49% de areia, 43,27% de argila e 13,24% de silte na camada superficial, os dados da caracterização físico-químicas foram obtidos por meio de análise laboratorial de amostras coletadas previamente no local do experimento, a uma profundidade de 0-20 cm. Tais análises foram realizadas no laboratório de solos da instituição e os dados da análise química estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultado da análise físico-química do solo na camada de 0-20 cm de profundidade

Amostra N°8	pH em H ₂ O	P --- mg/dm ³ ---	K	Ca	Mg	Al	H+Al cmol _c /dm ³	S	T	V%	M.O. %
	6,7	9,68	148	12,0	5,0	0,0	6,3	17,4	23,7	73,5	2,43
Amostra N°8	Areia			Argila		Silte		----- % -----			
	43,49			43,27		13,24					

Fonte: Autores, 2026

As atividades iniciais do experimento, foram realizadas em área aberta, com condições semelhantes a encontradas em áreas produtivas da região, próximo à área do setor de Agricultura III do Campus Araguatins com as coordenadas geográficas (latitude -5.651585 e longitude -48.074666) (Figura 1). Em fase posterior o ensaio foi conduzido em uma área dentro do setor de Agricultura III com as coordenadas geográficas (latitude -5.650468 e longitude -48.0756430) (Figura 2).

Figura 1 – Área experimental 1



Fonte: Autores, 2026

Figura 2 – Área experimental 2



Fonte: Autores, 2026

3.2 Identificação das plantas daninhas da área experimental

Antes da aplicação dos tratamentos, realizou-se o levantamento florístico da área experimental, visando identificar as espécies de plantas daninhas presentes e caracterizar a comunidade infestante (Figura 3). A identificação das espécies foi realizada com base em suas características morfológicas, utilizando como referência o *Manual de Identificação e Controle de Plantas Daninhas* (7ª edição), de Lorenzi (2014), sendo complementada pela utilização do aplicativo móvel Pl@ntNet para confirmação da identificação. As informações obtidas serviram de base para as avaliações visuais da eficiência dos tratamentos e para a discussão dos resultados relacionados ao controle das plantas daninhas. O levantamento foi feito adentrando cada parcela experimental, fazendo a identificação e catalogando cada planta identificada.

Para caracterizar a comunidade infestante da área experimental, foram consideradas as variáveis riqueza de espécies e frequência de ocorrência. A riqueza correspondeu ao número total de espécies de plantas daninhas identificadas nas parcelas durante o período de avaliação. A frequência de ocorrência foi determinada com base na presença ou ausência de cada espécie nas 16 parcelas experimentais, independentemente do número de indivíduos registrados em cada parcela. Para cada espécie, contabilizou-se o número de parcelas em que ela esteve presente, sendo esse valor utilizado para caracterizar sua frequência de ocorrência na área experimental.

Figura 3 - Levantamento florístico da área experimental 1



Fonte: Autores, 2026

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento conduzido em campo foi instalado em delineamento de blocos casualizados (DBC), composto por quatro tratamentos e quatro repetições. Cada parcela experimental apresentou dimensões de 3×4 m (12 m^2), totalizando uma área de 48 m^2 por tratamento.

Os tratamentos consistiram na aplicação de três herbicidas comerciais não seletivos e uma alternativa caseira, sendo: T1 – Diquat Nortox®, na concentração de $9,3 \text{ mL L}^{-1}$ de calda; T2 – Glifosato Rainbow®, na concentração de $18,6 \text{ mL L}^{-1}$ de calda; T3 – Paxeo®, na concentração de $0,3 \text{ g L}^{-1}$ de calda; e T4 – alternativa caseira, composta por 50 mL L^{-1} de vinagre de álcool, 50 mL L^{-1} de detergente neutro, 50 g L^{-1} de cloreto de sódio (NaCl) e 50 g L^{-1} de ureia, diluídos em 10 L de água.

As aplicações foram realizadas com pulverizador costal manual da marca Jacto®, com capacidade para 20 L, utilizando-se equipamentos de proteção individual (EPIs) durante todas as operações (Figura 4).

Figura 4 – Aplicação na área experimental



Fonte: Autores, 2026

Antes das aplicações, o equipamento foi submetido aos procedimentos de regulagem e calibração, considerando a vazão do bico e a faixa de aplicação, de modo a determinar o volume de calda necessário para proporcionar cobertura uniforme das parcelas experimentais. A partir da calibração do equipamento, foram utilizados aproximadamente 93 mL de Diquat Nortox®, 186 mL de Glifosato Rainbow® e 3 g de Paxeo® para cada 10 L de calda, correspondendo às concentrações de $9,3 \text{ mL L}^{-1}$, $18,6 \text{ mL L}^{-1}$ e $0,3 \text{ g L}^{-1}$, respectivamente. A formulação alternativa foi preparada conforme a proporção divulgada em redes sociais, utilizando, para cada 10 L de água,

500 mL de vinagre de álcool, 500 mL de detergente neutro, 500 g de cloreto de sódio e 500 g de ureia agrícola.

Foram realizadas duas aplicações dos tratamentos, sendo a primeira no dia 17/02/2026 e a segunda no dia 06/03/2026. A segunda aplicação foi precedida pela roçagem da área experimental, realizada devido ao elevado desenvolvimento vegetativo das plantas daninhas.

O crescimento excessivo da vegetação poderia dificultar a adequada deposição da calda sobre as folhas, uma vez que a parte aérea mais densa poderia interceptar a pulverização e promover o chamado “efeito guarda-chuva”, reduzindo a chegada da calda às folhas localizadas nas camadas inferiores da vegetação. Dessa forma, a roçagem foi realizada com o objetivo de uniformizar a altura da vegetação e favorecer uma maior exposição da superfície foliar aos tratamentos, possibilitando condições mais adequadas para a aplicação. Após a roçagem, os tratamentos foram reaplicados quando as plantas daninhas apresentavam menor porte vegetativo.

3.4 Avaliação da eficiência de controle das plantas daninhas

A eficiência dos tratamentos foi avaliada por meio de análises visuais da comunidade de plantas daninhas presente nas parcelas experimentais, comparando-se a cobertura vegetal e a composição da comunidade infestante antes e após a aplicação dos tratamentos. As avaliações consideraram a resposta das plantas daninhas à ação dos herbicidas e da alternativa caseira, permitindo verificar a eficiência de controle ao longo do período experimental. Complementarmente, foram realizadas aquisições periódicas de imagens por um drone, utilizadas na obtenção do índice VARI, possibilitando a análise da cobertura vegetal de forma quantitativa e não destrutiva.

Foram realizadas duas avaliações da eficiência de controle:

- 1) A primeira ocorreu aos oito dias após a primeira aplicação dos tratamentos.

No momento da primeira aplicação, a comunidade infestante encontrava-se em estágio avançado de desenvolvimento, com predominância de espécies de porte arbustivo e subarbustivo, apresentando altura média de aproximadamente 1,0 m. O elevado desenvolvimento vegetativo e a elevada densidade da comunidade infestante poderiam dificultar a distribuição uniforme da calda de pulverização sobre as plantas, especialmente sobre os tecidos localizados nas porções inferiores da vegetação. Essa

condição poderia comprometer a cobertura do alvo e, conseqüentemente, a eficiência dos tratamentos.

2) A segunda avaliação foi realizada cinco dias após a segunda aplicação.

Antes dessa aplicação, toda a área experimental foi submetida à roçagem, de modo que a reaplicação ocorreu sobre a vegetação em rebrote, caracterizada por plantas de menor porte e em estágio inicial de desenvolvimento. Essa avaliação permitiu verificar a resposta da comunidade infestante à reaplicação dos tratamentos, bem como a permanência ou o reaparecimento das principais espécies de plantas daninhas identificadas na área experimental. Dessa forma, foi possível comparar a eficiência dos tratamentos no controle da vegetação em rebrote e observar possíveis diferenças na resposta das espécies às aplicações realizadas.

3.5 Aquisição e processamento de imagens por Aeronave Remotamente Pilotada (ARP)

O monitoramento da cobertura vegetal da área experimental foi realizado por meio de imagens obtidas com uma ARP, modelo DJI Mini 2, equipada com câmera digital contendo sensor CMOS de 1/2.3" e resolução de 12 megapixels (Figura 5). As missões de voo foram realizadas manualmente, mantendo-se uma altura aproximada de 10 m em relação ao solo durante todo o percurso, de forma a padronizar a aquisição das imagens e minimizar possíveis interferências decorrentes da variação da resolução espacial entre os levantamentos. Durante os voos, buscou-se manter aproximadamente 70% de sobreposição frontal e lateral entre as imagens, bem como o ângulo do gimbal em -90° , garantindo a obtenção de fotografias na posição nadiral e adequada cobertura da área experimental.

Figura 5 - Drone utilizado na captura das imagens



Fonte: Autores, 2026

As aquisições das imagens foram realizadas sempre no período da manhã, preferencialmente até às 09h00, sob condições de céu aberto e boa luminosidade, visando reduzir a influência de sombras e das variações da incidência solar sobre a qualidade das imagens obtidas. A padronização da altura de voo, do horário de aquisição das imagens e das condições de iluminação teve como finalidade reduzir a influência de fatores externos sobre a resposta espectral da vegetação, aumentando a confiabilidade das comparações entre os diferentes períodos de avaliação.

Foram realizados nove voos com a ARP ao longo do período experimental. O primeiro voo foi realizado em 17/02/2026, antes da primeira aplicação dos tratamentos, com o objetivo de registrar as condições iniciais da comunidade infestante e servir como referência para as avaliações posteriores. O segundo voo ocorreu em 19/02, dois dias após a primeira aplicação. Na sequência, o terceiro, o quarto e o quinto voos foram realizados, respectivamente, em 21/02, 23/02 e 25/02, com intervalos de dois dias entre as avaliações, permitindo acompanhar a evolução inicial da resposta da comunidade infestante aos tratamentos.

O sexto voo foi realizado em 06/03, antes da segunda aplicação, após a roçagem da área experimental, registrando as condições da vegetação durante o período inicial de rebrote. Posteriormente, o sétimo voo foi realizado três dias após a segunda aplicação, em 09/03, e o oitavo voo ocorreu dois dias depois, em 11/03, permitindo acompanhar a resposta inicial da comunidade infestante à reaplicação dos tratamentos.

Após a realização do oitavo voo, foi efetuada a dessecação da área experimental com aplicação de glifosato em área total, encerrando a etapa de monitoramento da comunidade infestante. Decorrido aproximadamente um mês, período em que a área permaneceu sem novas avaliações por ARP, foi realizado o nono e último voo, em 11/04/2026, com o objetivo de verificar a persistência dos efeitos dos tratamentos sobre a reinfestação da área.

Após a aquisição, as imagens foram processadas no software WebODM, no qual foram executadas as etapas de alinhamento das fotografias, reconstrução da cena e geração do ortomosaico da área experimental. O ortomosaico gerado constituiu a base para as análises espectrais realizadas no estudo (Figura 6).

Figura 6 - Ortomosaico da área experimental



Fonte: Autores, 2026

A partir do ortomosaico, foi calculado o VARI utilizando o software R (R Core Team, 2025), conforme a equação proposta por Gitelson et al. (2002):

$$VARI = \frac{G - R}{G + R - B}$$

em que G corresponde à banda verde (*Green*), R à banda vermelha (*Red*) e B à banda azul (*Blue*).

Os valores de VARI obtidos para cada parcela experimental foram utilizados para estimar a cobertura vegetal e comparar quantitativamente a resposta dos diferentes tratamentos ao longo do experimento. Dessa forma, o índice constituiu uma ferramenta complementar às avaliações visuais da eficiência de controle das plantas daninhas, fornecendo informações objetivas e não destrutivas sobre a dinâmica da cobertura vegetal antes e após as aplicações dos tratamentos.

A realização de sucessivas campanhas de aquisição de imagens possibilitou acompanhar temporalmente a evolução da cobertura vegetal nas parcelas experimentais, permitindo identificar com maior precisão a dinâmica de dessecação, a reinfestação da área e as diferenças na eficiência dos tratamentos ao longo do período experimental.

3.6 Avaliação do efeito residual no solo

Além das avaliações da eficiência de controle das plantas daninhas descritas anteriormente, foram realizadas análises químicas do solo com o objetivo de verificar possíveis efeitos residuais dos tratamentos. Para isso, foram coletadas amostras de

solo na camada de 0–20 cm, após a aplicação dos tratamentos. Posteriormente, as amostras foram destorroadas, peneiradas em malha de 2 mm e padronizadas em sacos contendo 70 g de solo, para cada unidade experimental (Figura 7), sendo, em seguida, encaminhadas ao Laboratório de Solos do Campus Araguatins para determinação dos teores de sódio (Na^+).

Figura 7 - Destorroamento e identificação das amostras de solo, no laboratório de solos 2 do IFTO Campus Araguatins



Fonte: Autores, 2026

3.7 Condução do experimento para avaliação do efeito residual na cultura do milho

Para a avaliação dos efeitos residuais dos tratamentos sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.), foi utilizado o híbrido SYN8A98 TLTG VIPTERA (Feroz VIP3), da NK Seeds, selecionado por apresentar ciclo superprecoce e ampla utilização em sistemas de produção comercial.

Inicialmente, buscou-se conduzir a cultura do milho diretamente na área experimental, em condições de campo. Entretanto, devido à realização do experimento fora da janela recomendada de cultivo para a região, durante o período seco, a baixa disponibilidade hídrica característica desse período dificultou a manutenção da umidade adequada do solo e comprometeu o estabelecimento inicial das plantas.

Diante das adversidades observadas na condução em campo, optou-se pela realização de uma nova etapa experimental em sacos de polipropileno utilizados para

a produção de mudas, com 50 cm de altura e 30 cm de diâmetro superior e inferior. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por quatro tratamentos e quatro repetições, totalizando 16 unidades experimentais. Essa estratégia permitiu maior controle das condições experimentais, especialmente quanto à disponibilidade hídrica, por meio da uniformização da irrigação, além de possibilitar maior padronização das condições de desenvolvimento das plantas.

O solo utilizado como substrato não foi proveniente da área experimental onde foram realizadas as aplicações em campo, sendo coletado em uma área externa à instituição, de textura mais arenosa, uma vez que o solo da área experimental apresentava elevado grau de compactação, tornando inviável sua utilização nessa etapa do estudo. Dessa forma, a eficiência de controle das plantas daninhas foi avaliada na área de campo, enquanto a utilização de um solo mais homogêneo permitiu reduzir a influência da variabilidade física do solo sobre as respostas da cultura, proporcionando maior controle experimental.

Em cada unidade experimental foram semeadas cinco sementes de milho, distribuídas a uma profundidade média de 3 cm. No momento da semeadura, todas as unidades experimentais receberam uma adubação mineral padrão, aplicada de forma uniforme entre os tratamentos, correspondente a 0,6525 g de N, 0,30 g de K₂O e 0,477 g de P₂O₅ por saco. Para o fornecimento desses nutrientes, foram utilizados 1,45 g de ureia, 0,50 g de cloreto de potássio (KCl) e 2,65 g de superfosfato simples, totalizando 4,60 g de fertilizantes por unidade experimental. Durante todo o período experimental, a irrigação foi realizada de forma uniforme para todas as unidades experimentais, a fim de minimizar interferências hídricas sobre o desenvolvimento da cultura.

Os tratamentos corresponderam aos mesmos utilizados na etapa de campo, sendo: T1 – Diquat Nortox® (2,0 L ha⁻¹); T2 – Glifosato Rainbow® (4,0 L ha⁻¹); T3 – Paxeo® (55 g ha⁻¹); e T4 – alternativa caseira. As doses foram convertidas proporcionalmente para as unidades experimentais, considerando um volume total de 2,4 L de calda, correspondente à capacidade operacional do pulverizador utilizado. Dessa forma, foram aplicados 22,32 mL do tratamento T1, 44,64 mL do T2, 0,72 g do T3 e, para o tratamento T4, 120 g de cada ingrediente da formulação alternativa, respeitando a mesma proporção utilizada na etapa de campo.

Após a aplicação dos tratamentos diretamente sobre o solo das unidades experimentais, realizou-se a semeadura do milho, permitindo avaliar o efeito residual imediato dos herbicidas comerciais e da formulação alternativa sobre a emergência e o desenvolvimento inicial da cultura. As plantas foram conduzidas até o estágio fenológico V5, cerca de 20 dias após a semeadura (Figura 8), quando foram realizadas as avaliações referentes ao desenvolvimento inicial do milho, bem como à produção de massa seca.

Figura 8 – Plantas de milho ao fim do experimento



Fonte: Autores, 2026

3.8 Avaliação do efeito residual no milho

Na cultura do milho (*Zea mays L.*), foram avaliados o índice de velocidade de emergência (IVE), a massa seca da parte aérea (MSPA) e a massa seca das raízes (MSR). O índice de velocidade de emergência foi determinado por meio de contagens diárias das plântulas emergidas, iniciadas a partir da emergência da primeira plântula e encerradas quando a emergência se estabilizou, não sendo observadas novas plântulas. O IVE foi calculado conforme a metodologia proposta por Maguire (1962), utilizando a seguinte equação:

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \dots + \frac{E_n}{N_n}$$

em que:

IVE = índice de velocidade de emergência;

$E_1, E_2, \dots, E_n$ = número de plântulas emergidas em cada contagem;

$N_1, N_2, \dots, N_n$ = número de dias decorridos da semeadura até cada contagem.

Ao final do período experimental, as plantas foram coletadas e separadas em parte aérea e sistema radicular para determinação da massa seca. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel pardo e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 50 °C, permanecendo até atingirem massa constante. Posteriormente, foram pesadas em balança de precisão no Laboratório de Solos do Campus Araguatins (Figura 9), obtendo-se os valores de massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR).

Figura 9 - Estufa de circulação de ar forçada e balança de precisão



Fonte: Autores, 2026

3.9 Análise estatística

As análises estatísticas e o processamento dos dados foram realizados no ambiente R (R Core Team, versão 4.4.2), utilizando diferentes pacotes de acordo com a finalidade de cada análise.

Para a avaliação da riqueza de espécies da comunidade infestante, os dados foram organizados e estruturados com auxílio do pacote *tidyverse*, permitindo a manipulação, filtragem e sumarização das informações. A representação gráfica da composição florística foi realizada utilizando o pacote *ggplot2*, enquanto a frequência de ocorrência das espécies foi visualizada por meio de nuvem de palavras, elaborada com o pacote *wordcloud2*.

A análise temporal do índice VARI foi realizada a partir das imagens obtidas por ARP. Inicialmente, os ortomosaicos foram importados utilizando o pacote *terra*, enquanto o cálculo dos índices espectrais foi realizado por meio do pacote *uavRst*, empregando as funções específicas para processamento de imagens

multiespectrais/RGB. Em seguida, os valores do índice VARI foram extraídos para cada parcela experimental e submetidos ao cálculo das médias por tratamento e por data de avaliação. Os resultados foram organizados e exportados com auxílio do pacote *writexl*, sendo a representação gráfica da evolução temporal do índice elaborada com o pacote *ggplot2*.

Para avaliar os efeitos residuais dos tratamentos sobre a cultura do milho e os atributos do solo, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida da verificação dos pressupostos de normalidade dos resíduos, pelo teste de Shapiro–Wilk, e de homogeneidade das variâncias, pelo teste de Bartlett. Após o atendimento dos pressupostos, quando constatado efeito significativo dos tratamentos ($p \leq 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas no ambiente R, utilizando-se o pacote *easyanova*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no levantamento florístico foi possível identificar 19 espécies de plantas daninhas, as quais estão apresentadas na Tabela 2. A frequência de ocorrência foi determinada com base no número de parcelas ($n = 16$) em que cada espécie foi registrada, considerando apenas sua presença ou ausência em cada parcela, independentemente da quantidade de indivíduos observados.

Tabela 2 - Espécies de plantas daninhas e frequência de ocorrência na área experimental

ID	Nome popular	Nome científico	Freq.
1	Apaga-fogo	<i>Alternanthera tenella</i>	15
2	Erva-lombrigueira	<i>Spigelia anthelmia</i>	12
3	Angiquinho	<i>Aeschynomene denticulata</i>	1
4	Quebra-pedra	<i>Phyllanthus niruri</i> / <i>Phyllanthus tenellus</i>	6
5	Urochloa fusca	<i>Urochloa fusca</i>	13
6	Malva-juta	<i>Corchorus argutus</i>	11
7	Capim-vassoura	<i>Andropogon bicornis</i>	3
8	Capitua	<i>Echinochloa colona</i>	15
9	Digitaria	<i>Digitaria</i> spp. (ex.: <i>D. horizontalis</i> , <i>D. insularis</i>)	16
10	Aeschynomene americana	<i>Aeschynomene americana</i>	15
11	Corda-de-viola	<i>Ipomoea</i> spp. (<i>I. grandifolia</i> , <i>I. nil</i> , <i>I. purpurea</i>) / <i>Merremia</i> spp.	6
12	Leiteira	<i>Euphorbia heterophylla</i>	2
13	Erva-de-touro	<i>Tridax procumbens</i>	1
14	Panicum spp.	<i>Panicum</i> spp.	2
15	Dente-de-leão	<i>Taraxacum officinale</i>	2
16	Camapu	<i>Physalis angulata</i>	1
17	Quiabo-bravo	<i>Malachra fasciata</i>	16

18	Erva-botão	<i>Eclipta prostrata</i>	2
19	Carriola	<i>Convolvulus arvensis</i>	6

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados obtidos em campo, 2026

A diversidade de espécies identificadas na área experimental está relacionada ao histórico de uso agrícola e à ausência de controle eficiente das plantas daninhas em períodos anteriores ao experimento. Essas condições favoreceram a formação de um banco de sementes diversificado no solo, possibilitando a emergência de diferentes espécies quando as condições se tornam favoráveis. Segundo Silva et al. (2021), a elevada capacidade reprodutiva e a dormência de parte dessas sementes possibilita sua permanência viável no solo por vários anos, formando um banco de sementes capaz de originar sucessivos fluxos de emergência sempre que as condições ambientais se tornam favoráveis.

O levantamento florístico realizado na área experimental evidenciou elevada diversidade de plantas daninhas, com predominância das espécies *Malachra fasciata*, *Echinochloa colona*, *Digitaria spp*, *Alternanthera tenella* e *Aeschynomene americana*. Esse resultado reforça a importância da caracterização prévia da comunidade infestante, uma vez que a composição florística constitui a base para a escolha de estratégias de manejo mais eficientes. Resultados semelhantes foram observados por Mendes Neto e Canuto (2026), que, ao realizarem um levantamento florístico em áreas cultivadas com milho, também verificaram elevada diversidade de espécies infestantes, destacando que a composição da comunidade varia conforme as condições ambientais, o histórico de manejo e o sistema de cultivo adotado, correlacionado com a área experimental que se encontrava em pousio.

Embora tenham sido identificadas diversas espécies de plantas daninhas, algumas se destacaram pela maior frequência de ocorrência na área experimental, caracterizando-se como predominantes na comunidade infestante. Essa distribuição é apresentada na figura 10, por meio de uma nuvem de palavras, em que o tamanho do nome de cada espécie é proporcional ao número de parcelas em que ela foi registrada, permitindo visualizar de forma intuitiva sua representatividade na área de estudo. Dentre as espécies com maior frequência de ocorrência, *Digitaria spp*. e Quiabo-bravo foram registradas em todas as parcelas experimentais. Em seguida, destacaram-se Apaga-fogo, Capituva e *Aeschynomene americana*, presentes em 15 das 16 parcelas avaliadas (Tabela 2; Figura 10). Também apresentaram elevada

frequência de ocorrência *Urochloa fusca*, registrada em 13 parcelas, Erva-lombrigueira, em 12 parcelas, e Malva-juta, em 11 parcelas.

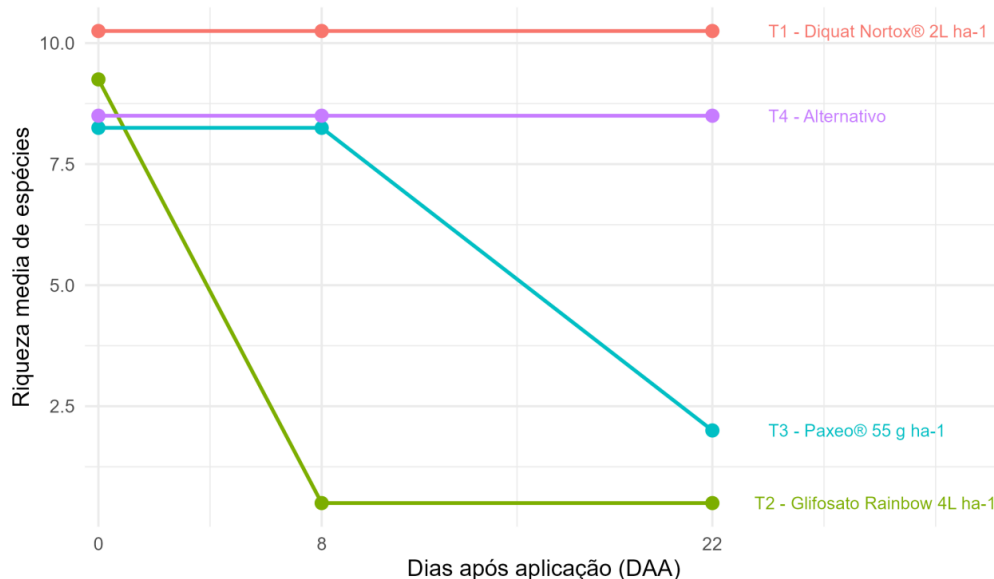
Figura 10 – Frequência de ocorrência de espécies infestantes na área experimental



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026

Essa elevada frequência pode ser explicada pelas características biológicas e ecológicas dessas espécies. As mesmas compartilham de características de reprodução e desenvolvimento altamente eficazes, evidentemente as espécies presentes do gênero *Digitaria spp.* tiveram um enorme destaque no levantamento das espécies. Plantas daninhas desse gênero, como a *Digitaria insularis* (L.), presente na área experimental, possui características de infestação vastas e com alta agressividade, já que se reproduz tanto por via sexuada (sementes) quanto assexuada (curtos rizomas), além de deter de um sistema radicular profundo e fibroso, o que lhe possibilita uma elevada capacidade de absorção de água e nutrientes, o que é essencial para sua permanência em competição com outras plantas (Pedroso et al., 2025).

A riqueza de plantas consistiu no número de espécies de plantas daninhas por parcelas, onde a riqueza média antes das aplicações era consideravelmente homogênea, contendo espécies de plantas daninhas em todas as parcelas. Todas com média acima de 7 espécies por parcela.

Figura 11 - Riqueza de plantas daninhas ao longo do tempo

Fonte: Elaborado pelos autores, 2026

De acordo com os resultados representadas na figura 11, os tratamentos com Diquat e o alternativo apresentaram resultados insatisfatórios de controle, pois a riqueza permaneceu a mesma, mesmo 8 dias após à 1ª aplicação (8DAA) e 22 dias após a primeira aplicação (22DAA) sendo que este último, corresponde a 5 dias após a segunda aplicação.

Em contrapartida, os tratamentos T2 (glifosato) e T3 (Paxeo®) apresentaram os maiores níveis de controle das plantas daninhas. No tratamento com glifosato, já aos 8 dias após a aplicação (8 DAA), observou-se a morte da maioria das espécies presentes na área, permanecendo apenas indivíduos de corda-de-viola (Figura 12), demonstrando a rápida ação do herbicida sobre a comunidade infestante.

Figura 12 – Corda-de-viola remanescente da aplicação do glifosato

Fonte: Autores, 2026

Por sua vez, o tratamento com Paxeo® apresentou incremento no controle ao longo do período de avaliação, sendo sua maior eficiência observada após a roçagem e a aplicação sobre a rebrota. Nessa condição, houve controle de praticamente todas as espécies, persistindo apenas quiabo-bravo (*Malachra fasciata*) e capim-amargoso (*Digitaria insularis*). Resultados semelhantes foram descritos por Araújo (2026), que atribui esse comportamento à persistência da mistura diclosulam + halauxifen-methyl, ingredientes ativos presentes na composição do Paxeo, característica que mantém esses compostos disponíveis no solo por um período prolongado e favorece o controle residual de novos fluxos de emergência de plantas daninhas.

Em contraste, os tratamentos T1 e T4 mantiveram praticamente a mesma composição de espécies observadas antes das aplicações, sem redução significativa da infestação, evidenciando ausência de controle eficiente das plantas daninhas.

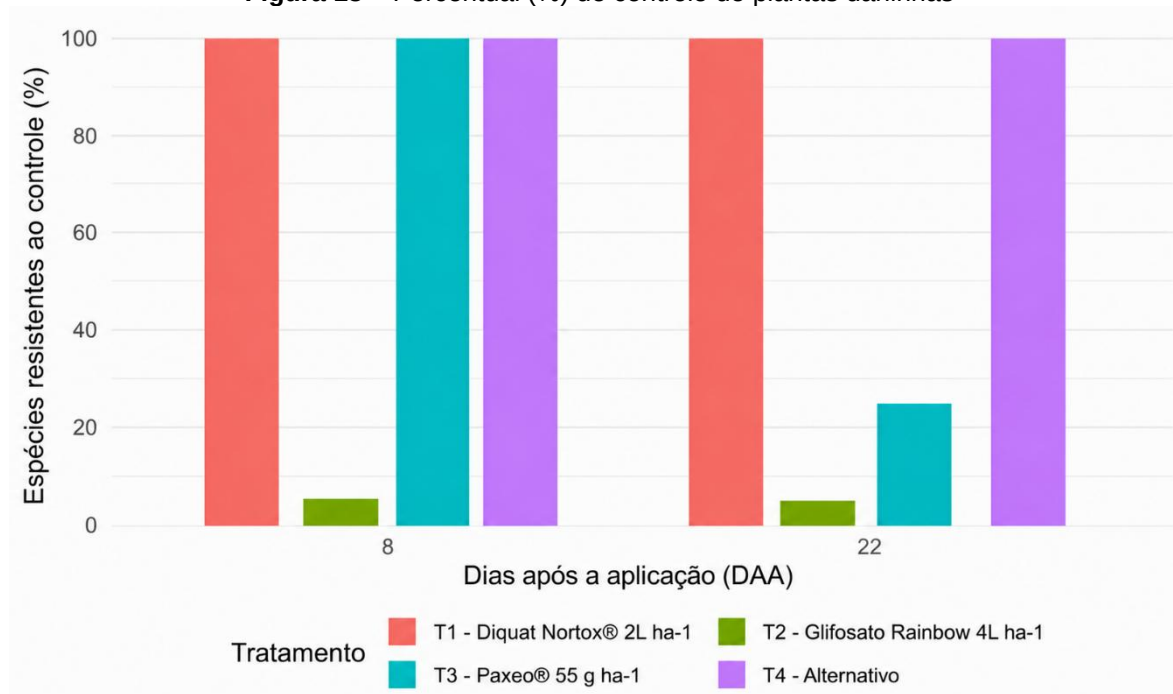
A figura 13, complementa os resultados apresentados na figura 11, pois trata do percentual de plantas não controladas (por espécie), no qual 8 DAA somente o T2 apresentou controle, mas ainda com presença de corda-de-viola na área, ou seja, erva daninha que persistiu na área das parcelas em que foi aplicado o glifosato.

A permanência de plantas de corda-de-viola após a aplicação de glifosato observada neste estudo está de acordo com relatos da literatura, que demonstram menor suscetibilidade de espécies do gênero *Ipomoea* a esse herbicida. Schmidt et al., (2016) verificaram que plantas remanescentes da dessecação com glifosato demandaram a associação de outros herbicidas para obtenção de controle mais eficiente, evidenciando que a aplicação isolada pode não ser suficiente para o manejo dessas espécies.

Após os 22 DAA, o tratamento T3 ainda apresentou a presença de quiabo-bravo (*Malachra fasciata*) e capim-amargoso (*Digitaria insularis*), embora tenha promovido elevado nível de controle das demais espécies presentes na área experimental. A permanência dessas espécies pode estar relacionada ao fato de terem sido também as mais frequentes no levantamento florístico realizado antes da instalação do experimento, indicando elevada capacidade de adaptação e estabelecimento na área. Os resultados evidenciaram diferenças expressivas na eficiência de controle entre os tratamentos (Figura 13). Aos 22 dias após a primeira aplicação, o glifosato apresentou o maior percentual de controle, com apenas 5,2% de espécies não controladas, seguido do Paxeo®, com 24,8%. Em contraste, o diquat

e a formulação alternativa apresentaram 100% das espécies não controladas, evidenciando baixa eficiência de controle ao final do período de avaliação.

Figura 13 – Percentual (%) de controle de plantas daninhas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026

Apesar disso, houve a constatação de injúrias nas daninhas nas parcelas em que foram aplicados o Diquat e o herbicida alternativo, com a observação de queima das bordaduras das folhas de algumas espécies de folha larga, como apresentado na figura 14.

Figura 14 – Injúria causada pelo Diquat e herbicida alternativo em quiabo-bravo

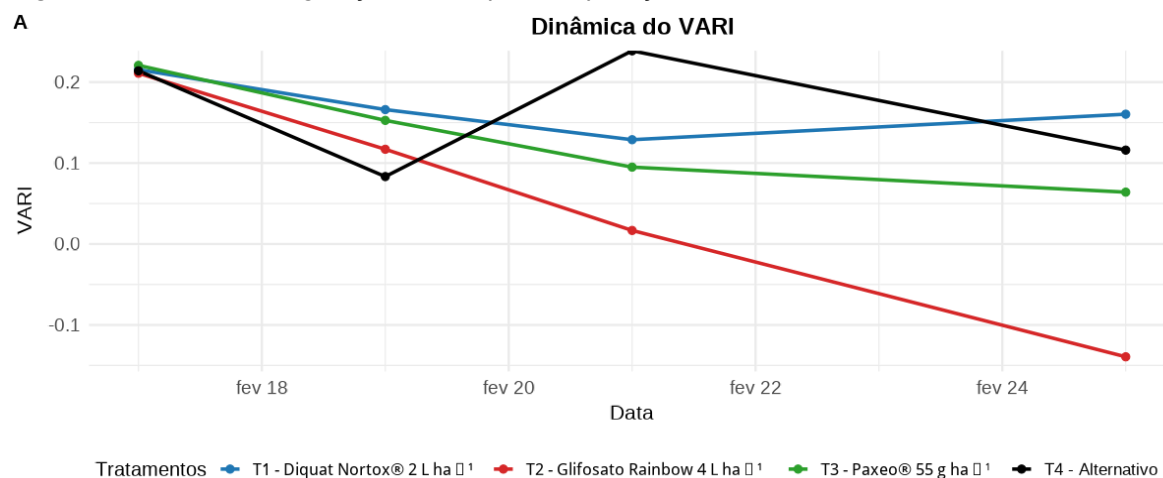


Fonte: Autores, 2026

Com o intuito de complementar as avaliações visuais de eficiência de controle, realizou-se o monitoramento temporal da cobertura vegetal por meio do índice VARI, obtido a partir de imagens RGB adquiridas por drone. Por fornecer estimativas da cobertura e do vigor da vegetação, esse índice permitiu acompanhar a evolução dos

tratamentos ao longo do experimento e comparar a dinâmica de dessecação e reinfestação das parcelas. Os resultados obtidos são apresentados na figura 15.

Figura 15 – Índice de vegetação VARI após 1ª aplicação



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026

Observa-se, na figura 15, que todos os tratamentos iniciaram com valores semelhantes de VARI, próximos de 0,22, indicando condição inicial homogênea da cobertura vegetal na área experimental antes da manifestação dos efeitos dos tratamentos. Após a aplicação dos herbicidas, verificou-se redução progressiva do índice em todos os tratamentos, porém com intensidades distintas.

O tratamento com Glifosato Rainbow® (T2) apresentou uma das maiores reduções nos valores de VARI ao longo do período de avaliação, atingindo valores negativos ao final da primeira etapa. A redução do índice em relação aos valores iniciais indica diminuição da cobertura vegetal, comportamento esperado em áreas submetidas ao controle de plantas daninhas. Nesse contexto, a redução dos valores de VARI ao longo das avaliações foi utilizada como indicativo da diminuição da vegetação verde na área, sendo os menores valores associados à maior redução da cobertura vegetal.

Esse comportamento está de acordo com as características do herbicida, cuja bula informa que os sintomas de controle e a ação efetiva sobre as plantas daninhas ocorrem, em geral, entre 7 e 14 dias após a aplicação (RAINBOW DEFENSIVOS AGRÍCOLAS LTDA., 2025). Dessa forma, a redução expressiva dos valores do índice nesse intervalo de avaliação confirma a rápida ação do glifosato sobre a vegetação presente na área experimental. Esse comportamento indica redução acentuada da vegetação fotossinteticamente ativa, evidenciando elevada eficiência de controle das plantas daninhas.

Como o glifosato é um herbicida sistêmico, sua ação ocorre por meio da translocação para os tecidos meristemáticos, promovendo morte gradual da planta e reduzindo significativamente sua atividade fotossintética. A redução dos valores de VARI observada após a aplicação dos herbicidas evidencia a diminuição da cobertura vegetal nas parcelas experimentais, demonstrando a sensibilidade do índice para detectar alterações na vegetação. Resultado semelhante foi relatado por Medina, Rokhmatuloh e Hernina (2020), que utilizaram imagens RGB obtidas por ARP para estimar a condição fitossanitária de plantas de dendê, verificando que o VARI permitiu discriminar diferentes níveis de vigor vegetal e produzir mapas confiáveis da condição da vegetação.

O tratamento com Diquat Nortox® (T1) também promoveu redução do índice, porém de forma menos intensa. Embora o diquat apresente rápida dessecação dos tecidos vegetais por atuar como herbicida de contato, parte da vegetação pode permanecer detectável pelas bandas RGB utilizadas no cálculo do VARI, principalmente devido à permanência dos tecidos secos sobre a superfície do solo.

O Paxeo® (T3) apresentou comportamento intermediário, mantendo valores positivos durante todo o período avaliado, indicando maior permanência de cobertura vegetal quando comparado ao glifosato.

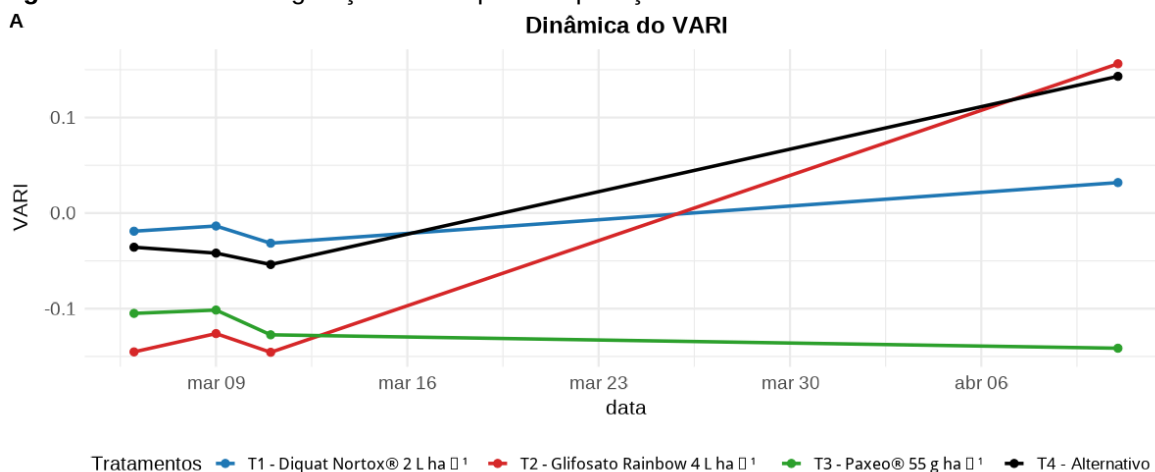
Em contrapartida, a formulação alternativa (T4) apresentou redução inicial do VARI, seguida de recuperação na avaliação subsequente, indicando baixa persistência do efeito de controle. Esse comportamento pode estar associado à ação predominantemente de contato dos componentes da formulação, que promove injúrias nos tecidos expostos, mas apresenta limitada capacidade de supressão prolongada das plantas daninhas. As espécies de folhas largas, como quiabo-bravo (*Malachra fasciata*) e corda-de-viola (*Ipomoea spp.*), apresentaram maior sensibilidade inicial, com queimaduras nas bordaduras foliares e necrose dos tecidos expostos, porém demonstraram capacidade de recuperação ao longo das avaliações.

Resultados semelhantes foram observados por Savicki et al. (2023), que avaliaram diferentes combinações e concentrações de sal de cozinha, ureia, vinagre e detergente. A combinação de maior eficiência foi composta por 2 kg de sal de cozinha, 2 kg de ureia, 2 L de vinagre e 20 mL de detergente, concentrações superiores às utilizadas na formulação alternativa do presente estudo. Entretanto, mesmo sob essas condições, os autores observaram rebrota das plantas daninhas aproximadamente 15 dias após a aplicação. Esse resultado, associado à recuperação

do VARI observada no presente estudo, indica que o aumento das concentrações dos componentes da formulação não necessariamente resulta em incremento proporcional ou persistente da eficiência de controle.

A dinâmica da cobertura vegetal após a segunda aplicação dos tratamentos foi novamente acompanhada por meio do índice VARI. Diferentemente da primeira aplicação, esta etapa foi conduzida sobre plantas daninhas em estágio inicial de desenvolvimento, após a realização da roçagem da área experimental, permitindo avaliar o comportamento dos tratamentos em condições de reinfestação. Os resultados são apresentados na figura 16.

Figura 16 – Índice de vegetação VARI após 2ª aplicação



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026

Após a segunda aplicação, verificou-se alteração no comportamento dos tratamentos. O tratamento com Glifosato Rainbow® (T2) apresentou os menores valores de VARI durante o período de avaliação da dessecação, evidenciando maior eficiência no controle inicial das plantas daninhas, seguido pelo tratamento com Paxeo® (T3). Na última avaliação, observou-se aumento dos valores de VARI em ambos os tratamentos. Entretanto, essa avaliação foi realizada aproximadamente um mês e cinco dias após a segunda aplicação dos herbicidas, de modo que esse incremento não representa, necessariamente, perda da eficiência de controle, mas sim a reinfestação da área por novas plantas daninhas. Essa reinfestação foi composta principalmente por capim-arroz (*Echinochloa* spp.), proveniente da germinação do banco de sementes do solo, e por tiririca (*Cyperus rotundus*), espécie que se propaga predominantemente por tubérculos subterrâneos (Barbosa, 2024). Apesar da reinfestação observada, o tratamento com Paxeo® apresentou melhor desempenho na avaliação final em comparação ao glifosato, fato que pode estar

relacionado ao efeito residual do *diclosulam*, ingrediente ativo presente na formulação, o qual reduz a emergência de novos fluxos de plantas daninhas oriundas do banco de sementes do solo.

Os tratamentos com Glifosato Rainbow® e alternativa caseira, T2 e T4 respectivamente, apresentaram aumento progressivo do VARI nas avaliações finais, como demonstrado na figura 17. Esse comportamento indica recuperação da cobertura vegetal, provavelmente associada à reinfestação da área ou à rebrota de plantas sobreviventes. No caso da alternativa caseira, essa resposta reforça a limitada persistência residual dos componentes utilizados na formulação. Embora o glifosato tenha promovido elevada eficiência de dessecação logo após a aplicação, o aumento dos valores de VARI na última avaliação evidencia que a eficiência inicial nem sempre está associada à manutenção prolongada do controle. Nesse aspecto, o Paxeo® apresentou maior capacidade de suprimir a reinfestação, mantendo reduzida a cobertura vegetal durante todo o período de monitoramento. Em relação aos demais tratamentos, tiveram baixíssima capacidade de suprimir a reinfestação das espécies Tiririca (*Cyperus rotundus*) e Capim -arroz (*Echinochloa sp*).

A permanência de indivíduos de tiririca (*Cyperus rotundus*) nas parcelas experimentais pode ser atribuída às características biológicas dessa espécie, considerada uma das plantas daninhas de mais difícil controle na agricultura. Sua elevada capacidade de propagação vegetativa, por meio de rizomas, bulbos e, principalmente, tubérculos subterrâneos, favorece a rápida reinfestação das áreas, mesmo após aplicações de herbicidas (Barbosa, 2024). Já o capim-arroz apresenta elevada produção de sementes e rápido estabelecimento, sendo uma das principais gramíneas infestantes em áreas agrícolas (Goulart et al., 2017). Essa explicação ajuda a justificar por que alguns tratamentos apresentaram aumento do VARI ao final do experimento.

O Diquat Nortox® (T1) apresentou comportamento intermediário, com pequeno aumento do índice ao longo do período, indicando manutenção parcial da eficiência de controle, porém inferior à observada para o Paxeo® nessa fase do experimento.

Figura 17 – Recuperação da cobertura vegetal um mês e cinco dias após a segunda aplicação



Fonte: Autores, 2026

Em relação à avaliação dos efeitos residuais dos tratamentos sobre o solo e a cultura do milho, os testes de Shapiro–Wilk e Bartlett indicaram normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, respectivamente ($p > 0,05$). Dessa forma, os pressupostos da análise de variância (ANOVA) foram atendidos, permitindo a realização das inferências estatísticas e, quando constatado efeito significativo dos tratamentos, a aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 3, a formulação alternativa promoveu o maior teor de Na no solo, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, que não diferiram entre si. Esse incremento pode estar associado à presença de cloreto de sódio em sua composição, uma vez que a aplicação de sais diretamente ao solo pode elevar as concentrações de Na^+ e Cl^- na solução do solo (Filho e Bonilla, 2022). Embora o teor de Na, isoladamente, não seja suficiente para caracterizar a salinidade do solo, seu aumento indica que a aplicação da formulação alternativa alterou a composição iônica do solo.

Como não houve emergência de plantas no tratamento T3 (Paxeo®), em decorrência do efeito residual do herbicida, não foi possível obter dados para IVE, MSPA e MSR. Consequentemente, o T3 não foi incluído nas análises estatísticas dessas variáveis, sendo representado por asterisco (*) na Tabela 3, e as comparações foram realizadas apenas entre os tratamentos T1, T2 e T4.

Tabela 3 - Valores médios de sódio no solo, massa seca da parte aérea, massa seca das raízes e índice de velocidade de emergência do milho submetido aos diferentes tratamentos

Tratamento	Na	MSPA	MSR	IVE
------------	----	------	-----	-----

	mg dm ⁻³	g	adm	
T1 - Diquat Nortox® 2L ha ⁻¹	0,13 b	2,47 a	0,49 a	2,28 a
T2 - Glifosato Rainbow 4L ha ⁻¹	0,15 b	2,07 a	0,68 a	2,45 ab
T3 - Paxeo® 55 g ha ⁻¹	0,13 b	*	*	*
T4 - Alternativo	0,33 a	1,39 a	0,52 a	0,69 b
CV (%)	43,37	42,48	18,95	41,54
Teste de <i>Shapiro-Wilk</i>	0,13	0,97	0,29	0,07
Teste de <i>Bartlett</i>	0,15	0,39	0,82	0,19

* Não houve germinação de plantas

Fonte: Elaborado pelos autores, 2026

Esse resultado pode estar relacionado ao menor índice de velocidade de emergência (IVE) observado para a formulação alternativa (0,69), que apresentou a menor média entre os tratamentos que proporcionaram emergência do milho. O aumento da concentração de sais na solução do solo pode reduzir o potencial osmótico do meio e restringir a absorção de água pelas sementes durante a embebição, retardando a germinação e a emergência das plântulas. Adicionalmente, concentrações elevadas de Na⁺ e Cl⁻ podem interferir no equilíbrio nutricional e desencadear efeitos fitotóxicos, comprometendo processos fisiológicos e bioquímicos essenciais ao crescimento e desenvolvimento vegetal (Costa et al., 2024).

Esse comportamento é particularmente relevante quando considerado em conjunto com a eficiência de controle das plantas daninhas. Embora a formulação alternativa tenha apresentado efeito de controle limitado e baixa persistência, a adição de sais ao sistema pode resultar em efeitos residuais sobre o solo e a cultura subsequente. Savicki et al. (2023), ao avaliarem diferentes combinações e concentrações de sal de cozinha, ureia, vinagre e detergente, observaram que a formulação de maior concentração, composta por 2 kg de sal de cozinha, 2 kg de ureia, 2 L de vinagre e 20 mL de detergente, promoveu maior efeito inicial sobre as plantas daninhas, porém não impediu a ocorrência de rebrota. Esses resultados, associados aos obtidos no presente estudo, indicam que o aumento da concentração dos componentes pode não resultar em controle prolongado das plantas daninhas, mas pode aumentar a quantidade de sais adicionada ao sistema solo-planta e, consequentemente, o potencial de efeitos residuais.

Embora o milho apresente tolerância a determinados níveis de salinidade, o aumento da concentração salina pode comprometer a germinação e o

desenvolvimento inicial da cultura. De Villa et al. (2019) relatam que a intensificação da concentração de sais pode agravar os efeitos sobre os processos germinativos e o desenvolvimento inicial das plantas. Assim, o menor IVE observado no tratamento alternativo pode estar associado ao maior teor de Na no solo e à consequente alteração das condições osmóticas do meio. Esse resultado evidencia que uma formulação pode apresentar baixa eficiência e persistência no controle das plantas daninhas e, simultaneamente, produzir efeitos sobre o sistema solo-planta, reforçando a necessidade de avaliar não apenas sua eficácia herbicida, mas também seus possíveis efeitos residuais sobre o ambiente e as culturas subsequentes.

Para MSPA e MSR, não foram observadas diferenças significativas entre T1, T2 e T4. Embora a formulação alternativa (T4) tenha retardado a emergência das plântulas, esse efeito não se refletiu no acúmulo de biomassa da parte aérea e das raízes das plantas que conseguiram se estabelecer, indicando capacidade de recuperação após a emergência.

A ausência de emergência no T3 pode ser atribuída ao efeito residual do Paxeo®. De acordo com a bula do produto, a persistência residual está relacionada à dose aplicada e pode comprometer a emergência de culturas implantadas em sucessão. Para solos arenosos, como o utilizado no experimento, recomenda-se intervalo mínimo de 14 dias entre a aplicação e a semeadura (BRASIL, 2026). No presente estudo, entretanto, a semeadura foi realizada no mesmo dia da aplicação, condição que provavelmente intensificou a exposição das sementes ao herbicida e, consequentemente, seu efeito residual sobre a emergência do milho.

Em síntese, os tratamentos apresentaram efeitos distintos sobre o sistema solo-planta. A formulação alternativa aumentou o teor de Na no solo e retardou a emergência do milho, mas não reduziu significativamente o acúmulo de biomassa das plantas estabelecidas. O Paxeo®, por sua vez, impediu a emergência do milho quando aplicado imediatamente antes da semeadura, evidenciando elevado efeito residual nas condições avaliadas. Esses resultados reforçam a necessidade de avaliar conjuntamente a eficiência de controle, a persistência e os efeitos residuais dos produtos utilizados no manejo de plantas daninhas, especialmente quando há implantação de culturas em sucessão.

Recomenda-se a realização de estudos adicionais considerando diferentes intervalos entre aplicação e semeadura, tipos de solo, concentrações dos

componentes da formulação alternativa e culturas subsequentes, visando ampliar a compreensão de seus efeitos em diferentes condições edafoclimáticas.

5 CONCLUSÃO

O glifosato apresentou maior eficiência de controle, enquanto o Paxeo® apresentou maior persistência.

O diquat e a formulação alternativa apresentaram baixa eficiência de controle ao final do período avaliado.

A formulação alternativa não corroborou a eficácia divulgada nas redes sociais e apresentou baixa persistência de controle.

A formulação alternativa elevou o teor de Na no solo e retardou a emergência do milho.

O Paxeo® apresentou elevado efeito residual, impedindo a emergência do milho quando aplicado imediatamente antes da semeadura.

O VARI obtido a partir de imagens adquiridas por ARP, mostrou-se eficiente no monitoramento da cobertura vegetal.

A eficiência dos tratamentos deve ser considerada conjuntamente com sua persistência e seus efeitos residuais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo contribuiu para ampliar a compreensão sobre diferentes estratégias de manejo de plantas daninhas, integrando avaliações de campo, efeitos sobre a cultura subsequente e ferramentas de agricultura de precisão. A utilização de imagens obtidas por Aeronave Remotamente Pilotada e do índice VARI mostrou-se uma abordagem complementar às avaliações convencionais, contribuindo para o monitoramento da cobertura vegetal. Dessa forma, o estudo reforça a importância da integração entre eficiência agrônômica, monitoramento tecnológico e avaliação dos efeitos no sistema solo-planta para subsidiar estratégias de manejo mais eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. et al. Effect of sodium chloride (NaCl) induced salinity on germination and sodium uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L.) crop. **Pure and Applied Biology**, v. 14, n. 4, p. 1128–1146, 2025.
- ARAÚJO, Aníbal Pelícia. **Halauxifen-methyl e diclosulam: efeito da palha, dinâmica no solo, eficácia de controle de plantas daninhas e riscos para a soja**. 61 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 2026.
- BARBOSA, Maria do Carmo Ferreira. **Uso do extrato aquoso de mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*) como estratégia de manejo para a tiririca (*Cyperus rotundus*)**. 2024. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Agroecologia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Ipanguaçu, Ipanguaçu, 2024. Disponível em: Repositório Memoria IFRN. Acesso em: 18 jul. 2026.
- BERNARDI, A. C. C.; et al. **Agricultura de precisão**. In: EMBRAPA. Agência de Informação Tecnológica: **Cana-de-açúcar**. Brasília, DF: Embrapa, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana-de-acucar/producao/avanco-tecnologico/agricultura-de-precisao>. Acesso em: 16 jul. 2026.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **AGROFIT: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Brasília, DF: MAPA, 2026. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/ap_produto_form_detalhe_cons?p_id_produto_formulado_tecnico=19255&p_tipo_janela=NEW. Acesso em: 10 jul. 2026.
- BROSNAN, James T. et al. Sodium chloride salt applications provide effective control of sourgrass (*Paspalum conjugatum*) in seashore paspalum turf. **Weed Technology**, v. 31, n. 2, p. 293–299, 2017. DOI: 10.1017/wet.2016.29.
- CARVALHO, S. J. P.; DIAS, A. C. R.; SHIOMI, G. M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Adição simultânea de sulfato de amônio e ureia à calda de pulverização do herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 575-584, 2010. DOI: 10.1590/S0100-83582010000300014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/TBHRZ7pL8RJvGc6CBLDnS4z/>. Acesso em: 07 jul. 2026.
- CHU, L.; LIU, H.; ZHANG, Z. et al. **Evaluation of Wood Vinegar as an Herbicide for Weed Control**. *Agronomy*, v. 12, n. 12, art. 3120, 2022
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Produtos 360°. Portal de Informações Agropecuárias**. Brasília, DF: Conab, 2026. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/produtos-360.html>. Acesso em: 09 jul. 2026.
- COSTA, Neumarcio Vilanova; RODRIGUES-COSTA, Andreia Cristina Peres; COELHO, Érica Marusa Pergo; FERREIRA, Sílvia Douglá; BARBOSA, Jaqueline de Araujo. **Métodos de controle de plantas daninhas em sistemas orgânicos: breve revisão**. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 17, n. 1, p. 25-44, mar. 2018. DOI: 10.7824/rbh.v17i1.522. Disponível em: <https://www.weedcontroljournal.org/pt-br/article/metodos-de-controle-de-plantas-daninhas-em-sistemas-organicos-breve-revisao/>. Acesso em: 27 jul. 2026.

COSTA, Magna Maria Macedo Nunes. **Salinidade do solo**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2024. 53 p. (Documentos / Embrapa Algodão, ISSN 0103-0205 ; 298)

CTVA PROTEÇÃO DE CULTIVOS LTDA. **PAXEO®: bula do herbicida**. Barueri, SP: CTVA Proteção de Cultivos Ltda., 2023. Disponível em: https://www.corteva.com/content/dam/dpagco/corteva/la/br/pt/files/Doc_Bula_Paxeo_Corteva_La_Br_v2.pdf. Acesso em: 05 jul. 2026.

DE VILLA, Bruna et al. **Efeito da salinidade no desenvolvimento inicial do milho**. Acta Iguazu, v. 8, n. 3, p. 42-47, 2019.

SARAIVA FILHO, Daniel Eugenio; BONILLA, Oriel Herrera. **Salinização secundária no semiárido e seus impactos no solo, na agricultura e cultivo das plantas uma revisão**. Research, Society and Development, v. 11, n. 8, p. e49011831298-e49011831298, 2022.

FONTES, J. R. A.; ATROCH, A. L.; MORAIS, R. R. **Controle de plantas daninhas no milho resistente ao glifosato cultivado em Manaus, Amazonas**. Research, Society and Development, v. 14, n. 6, e0714648973, 2025. ISSN 2525-3409. DOI: 10.33448/rsd-v14i6.48973.

FURTADO, J. A. L. et al. **Uso de herbicidas residuais para o manejo de plantas daninhas tolerantes a glifosato no Cerrado Maranhense**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 2, n. 4, p. 24–40, 2025.

GARCIA, F. A. M.; ARAÚJO, M. S. B.; LEITE, A. C. S.; GARCIA, R. C.; GALVÍNCIO, J. D. **Evolução da agricultura de precisão: uma revisão**. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 17, n. 6, p. 4761-4812, 2024. DOI: 10.26848/rbgf.v17.6.p4761-4812.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. **Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction**. Remote Sensing of Environment, Amsterdam, v. 80, n. 1, p. 76-87, 2002. DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00289-9.

GOULART, F. et al. **Escapes de capim-arroz aos herbicidas inibidores da als e possíveis alternativas de controle**. 2017.

KARAM, Décio; SILVA, Jéssica Aline Alves; FOLONI, Luiz Lonardon. **Potencial de contaminação ambiental de herbicidas utilizados na cultura do milho**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, v. 8, n. 3, p. 247–262, 2009. Disponível em: https://rbms.sede.embrapa.br/ojs/article/view/285/pdf_156. Acesso em: 07 mai. 2026.

LOPES, J. C.; MACEDO, C. M. P. **Germinação de sementes de couve chinesa sob influência do teor de água, substrato e estresse salino**, Revista Brasileira de Sementes, v. 30, n. 3, p. 79-85, 2008.

LORENZI, H. (Coord.). **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 7. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2014. 384 p.

MAGUIRE, J. D. **Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor**. Crop Science, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MEDINA, Nur Anisa; ROKHMATULOH; HERNINA, Revi. **UAV application to estimate oil palm trees health using Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) (Case study of Cikabayan Research Farm, Bogor City)**. E3S Web of

Conferences, Les Ulis, v. 211, art. 05001, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347164360_UAV_application_to_estimate_oil_palm_trees_health_using_Visible_Atmospherically_Resistant_Index_VARI_Case_study_of_Cikabayan_Research_Farm_Bogor_City/citation/download. Acesso em: 18 jul. 2026.

MENDES, Kassio Ferreira; SILVA, A. A.; MIELKE, Kamila Cabral. **Classificação, seletividade e mecanismos de ação de herbicidas**. In: Plantas Daninhas: Herbicidas. São Paulo: Oficina de Textos, 2022.

MENDES NETO, J. A.; CANUTO, R. S. O. **Composição florística de espécies de plantas daninhas na cultura do milho (safra de 2025)**. REVISTA FOCO, [S. l.], v. 19, n. 5, p. e11968, 2026. DOI: 10.54751/revistafoco.v19n5-097. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/11968>. Acesso em: 19 jul. 2026.

MOLIN, José Paulo. **Agricultura de precisão: números do presente e visões para o futuro**. Revista Política Agrícola, Brasília, DF, ano 25, n. 1, p. 7–12, 2015.

MOREIRA, J. W. D. M. et al. **Efeitos de estresse salino na germinação de Zea mays L.** In: SIMPÓSIO INCAPER PESQUISA, 5.; SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INCAPER, 5., 2025, Vitória. Inovabilidade no campo: soluções para a resiliência dos agroecossistemas: anais. Vitória: Incaper, 2025. p. 148. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/item/5277>. Acesso em: 12 jul. 2026.

NORTOX S.A. **DIQUAT NORTOX®: bula do herbicida**. Arapongas, PR: Nortox S.A., 2023. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2023-10/diquatnortox.pdf. Acesso em: 03 jul. 2026

OLIVEIRA, Maurílio Fernandes de; BRIGHENTI, Alexandre Magno. **Comportamento dos herbicidas no ambiente**. In: OLIVEIRA JR., Rubem Silvério de et al. (ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. cap. 11. Disponível em: <https://admin.cevs.rs.gov.br/upload/arquivos/201802/21144436-26-leitura-comportamento-dos-herbicidas-no-solo.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2026.

ORLOFF, Noelle. **Does vinegar kill weeds?** Montana State University Extension, Bozeman, 2021. Disponível em: <https://www.montana.edu/extension/invasiveplants/extension/monthly-weed-posts/2021-june-does-vinegar-kill-weeds.html>. Acesso em: 10 jul. 2026.

PAUL, S. K.; MAZUMDER, S.; NAIDU, R. **Herbicidal weed management practices: history and future prospects of nanotechnology in an eco-friendly crop production system**. Heliyon, v. 10, e26527, 2024.

PEDROSO, Rafael M. et al. **Entendendo as plantas daninhas: espécies de difícil controle**. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2025. DOI: <https://doi.org/10.11606/9788586481765>. Disponível em: www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/1707. Acesso em 25 julho. 2026.

PROCÓPIO, S. O. et al. **Efeito residual de herbicidas aplicados na cultura da soja sobre o milho semeado em sucessão**. Planta Daninha, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 261–267, 2001.

RAINBOW DEFENSIVOS AGRÍCOLAS LTDA. **GLIFOSATO IPA 480 RAINBOW: bula do herbicida**. Porto Alegre: Rainbow Defensivos Agrícolas Ltda., 2025.

Disponível em:

https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2026-01/glifosato_ipa_480.pdf. Acesso em: 08 jul. 2026.

R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*.

Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 27 jul. 2026.

SANTORO, Marcelo. **Índices de vegetação na agricultura: um guia prático para o produtor**. Aegro, 17 jan. 2020. Disponível em: <https://aegro.com.br/blog/indice-de-vegetacao/>. Acesso em: 16 jul. 2026.

SANTOS, Claiton. **Monitoramento aéreo e diagnóstico de plantas daninhas de difícil controle no Sudoeste Goiano**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/610>. Acesso em: 16 jul. 2026.

SAVICKI, Fabieli Dal Molin et al. **Desenvolvimento e avaliação de herbicida caseiro no controle de plantas daninhas**. In: 7ª MOEDUCITEC - Mostra Interativa da Produção Estudantil em Educação Científica e Tecnológica, 2023, Ijuí. Anais. Ijuí: Unijuí, 2023

SILVA, André Felipe Moreira et al. **Introdução à ciência das plantas daninhas. Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Tradução. Jaboticabal, SP: Fábrica da Palavra, 2021. Acesso em: 24 jul. 2026.

SCHMIDT, J. M.; BRUNETTO, F.; SILVA, B. M.; TORCHELSEN, J. S.; AGOSTINETTO, D. **Associação de herbicidas para controle de corda-de-viola remanescente da dessecação com glifosato**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 30., 2016, Curitiba. Resumos... Curitiba: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD), 2016.

SMITH-FIOLA, Deborah; GILL, Stanton. **Vinegar: an alternative to glyphosate?** University of Maryland Extension, 2024. Disponível em: <https://extension.umd.edu/resource/vinegar-alternative-glyphosate/>. Acesso em: 11 mai. 2026.

SOUZA, Douglas Weler Bernardino de. **Uso de imagens aéreas na detecção de plantas daninhas em cana-de-açúcar**. 2024. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2024. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/254401>. Acesso em: 16 jul. 2026.

SYNGENTA. **Cultura do milho**. Portal Syngenta, 2023. Disponível em: <https://portal.syngenta.com.br/cultura/milho/>. Acesso em: 10 jul. 2026.

VARGAS, Leandro; ROMAN, Erivelton Scherer. **Conceitos e aplicações dos adjuvantes**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 56). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/852510/1/pdo56.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2026.

VASCONCELOS, Maria da Conceição da Costa de Andrade; SILVA, Antonia Francilene Alves da; LIMA, Raelly da Silva. **Interferência de plantas daninhas**

sobre plantas cultivadas. Agropecuária Científica no Semiárido, Patos, v. 8, n. 1, p. 1–6, 2012. DOI: 10.30969/acsa.v8i1.159. Disponível em: <https://acsa.revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/159>. Acesso em: 19 jul. 2026.

WEBBER III, C. L.; WHITE JR., P. M.; SHREFLER, J. W.; SPAUNHORST, D. J. **Impact of acetic acid concentration, application volume, and adjuvants on weed control efficacy.** Journal of Agricultural Science, v. 10, n. 8, 2018.