

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA*
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Paulo Henrique Amador Miranda

**AVALIAÇÃO DO EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDA CLOMAZONE
APLICADO EM SOLOS COM TEXTURA ARGILOSA E ARENOSA, EM
DIFERENTES DOSES, AO LONGO DO TEMPO**

São João Evangelista

2024

PAULO HENRIQUE AMADOR MIRANDA

**AVALIAÇÃO DO EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDA CLOMAZONE
APLICADO EM SOLOS COM TEXTURA ARGILOSA E ARENOSA, EM
DIFERENTES DOSES, AO LONGO DO TEMPO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito parcial para obtenção do grau de bacharel
em Agronomia, no Instituto Federal de Minas Gerais
Campus São João Evangelista (IFMG/SJE).

Orientador: Prof. Dr. José Roberto de Paula.
Coorientador: Dr. Valdevino Pereira Silva.

São João Evangelista

2024

M672a Miranda, Paulo Henrique Amador.

Avaliação do efeito residual de herbicida clomazone aplicado em solos com textura argilosa e arenosa, em diferentes doses, ao longo do tempo / Paulo Henrique Amador Miranda – 2024.
32f.: il.

Orientador: Dr. José Roberto de Paula.

Coorientador: Dr. Valdevino Pereira Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2024.

1. Clomazone. 2. Efeito residual. 3. Plantas daninhas. I. Miranda, Paulo Henrique Amador. II. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 631.8

Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/003372/P

Paulo Henrique Amador Miranda

**AVALIAÇÃO DO EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDA CLOMAZONE
APLICADO EM SOLOS COM TEXTURA ARGILOSA E ARENOSA, EM
DIFERENTES DOSES, AO LONGO DO TEMPO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito parcial para obtenção do grau de bacharel
em Agronomia, no Instituto Federal de Minas
Gerais *Campus* São João Evangelista (IFMG/SJE).

Orientador: Prof. Dr. José Roberto de Paula.
Coorientador: Dr. Valdevino Pereira Silva.

Aprovado em: 07 / 10 / 2024 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 JOSE ROBERTO DE PAULA
Data: 08/03/2025 18:34:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Roberto De Paula – IFMG (Orientador)

Documento assinado digitalmente
 VALDEVINO PEREIRA SILVA
Data: 12/03/2025 10:34:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Valdevino Pereira Silva – IFMG (Coorientador)

Documento assinado digitalmente
 ARI MEDEIROS BRAGA NETO
Data: 10/03/2025 06:35:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ari Medeiros Braga Neto – IFMG

RESUMO

A incidência de plantas daninhas destaca-se como um dos principais problemas encontrados nas lavouras do Brasil. Para controle, o método mais utilizado se dá por meio da aplicação de herbicidas, que por sua vez exige aplicação de forma consciente e eficaz. Tais precauções relacionam-se com o destino final destes compostos, ou seja, seu efeito residual. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito residual do herbicida clomazone, recomendado para aplicação em pré-emergência em cultivos de arroz irrigado e cana-de-açúcar, considerando as interações entre a dose aplicada, a textura do solo e a profundidade. Os experimentos de campo foram conduzidos em uma área experimental cujo solo é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo. Para ambos os experimentos em campo (1 e 2) foram utilizadas as mesmas metodologias. Os experimentos 1 e 2, realizados com solo arenoso e argiloso, respectivamente, seguiram um delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 2. O fator 1 incluiu 4 doses, variando de 0 a 150% da dose recomendada na bula comercial do produto e o fator 2, duas profundidades, com 4 repetições, totalizando 32 parcelas. O efeito residual do herbicida foi determinado por meio de bioensaios. Além disso, uma análise cromatográfica aos 93 dias após a aplicação (DAA) foi realizada para quantificar os resíduos do herbicida. Após análise de dados, observou-se que o herbicida clomazone causa injúrias nas plantas bioindicadoras até 33 DAA quando utilizado as doses de 360, 720 g ha⁻¹ e até os 63 DAA na dose de 1080 g ha⁻¹ na camada de 0-10 cm de profundidade para os solos arenoso e argiloso. O clomazone remanescente aos 93 DAA no solo arenoso, nas dosagens de 360, 720 e 1080 g ha⁻¹ na profundidade de 0 até 20 cm, foram 117,3 g ha⁻¹; 260,8 g ha⁻¹ e 376,2 g ha⁻¹, respectivamente. Para o solo argiloso, foram recuperados nessas mesmas doses e camadas, 120,3 g ha⁻¹; 252,9 g ha⁻¹ e 281,9 g ha⁻¹. Desta forma, conclui-se que o clomazone permanece no solo após a aplicação, com a quantidade residual variando conforme a dosagem utilizada e a profundidade do solo.

Palavras-chave: Clomazone. Efeito residual. Plantas daninhas.

ABSTRACT

The incidence of weeds stands out as one of the main challenges in Brazilian crops. For control, the most commonly used method is the application of herbicides, which, in turn, requires conscious and effective application. These precautions are related to the final fate of these compounds, i.e., their residual effect. This study aimed to evaluate the residual effect of the herbicide clomazone, recommended for pre-emergence application in irrigated rice and sugarcane crops, considering the interactions between the applied dose, soil texture, and depth. The field experiments were conducted in an experimental area with a Yellow-Red Latosol soil type. For both field experiments (1 and 2), the same methodologies were used. Experiments 1 and 2, carried out with sandy and clayey soils, respectively, followed a randomized block design in a 4 x 2 factorial scheme. Factor 1 included 4 doses, ranging from 0 to 150% of the recommended rate on the product's commercial label, and factor 2 involved two depths, with 4 repetitions, totaling 32 plots. The residual effect of the herbicide was determined through bioassays. In addition, a chromatographic analysis at 93 days after application (DAA) was conducted to quantify herbicide residues. Data analysis showed that clomazone causes injury to bioindicator plants up to 33 DAA at doses of 360 and 720 g ha⁻¹, and up to 63 DAA at a dose of 1080 g ha⁻¹ in the 0-10 cm soil layer for both sandy and clayey soils. The remaining clomazone at 93 DAA in the sandy soil, at doses of 360, 720, and 1080 g ha⁻¹ at a depth of 0-20 cm, was 117.3 g ha⁻¹; 260.8 g ha⁻¹; and 376.2 g ha⁻¹, respectively. For the clayey soil, the recovered amounts at these same doses and depths were 120.3 g ha⁻¹; 252.9 g ha⁻¹; and 281.9 g ha⁻¹. Thus, it is concluded that clomazone persists in the soil after application, with the residual amount varying according to the dosage used and the soil depth.

Keywords: Clomazone. Residual effect. Weeds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura química do clomazone.....	14
Figura 2 - Canteiros em solo arenoso (A) e em solo argiloso (B) na área experimental do IFMG Campus de São João Evangelista – São João Evangelista, MG.....	15
Figura 3 - Valores de precipitação (mm), temperatura compensada média (°C), umidade relativa média (%)......	15
Figura 4 - Aplicação de herbicida em solo arenoso (A) e em solo argiloso (B) na área experimental do IFMG Campus de São João Evangelista – São João Evangelista, MG.....	17
Figura 5 - Bioensaios em casa de vegetação.....	18
Figura 6 - Porcentagem de clomazone recuperado em diferentes profundidades de solos arenoso (esquerda) e argiloso (direita), utilizando as doses de 360, 720 e 1080 g ha ⁻¹ , aos 93 DAA.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aspectos físico-químicas do solo de cada área experimental (0-20cm). IFMG – SJE, MG, 2020.....	16
Tabela 2 - Tratamentos utilizados nos experimentos de campo, São João Evangelista, Minas Gerais, Brasil, 2020.....	18
Tabela 3 - Conceitos atribuídos à toxicidade de herbicidas, segundo a escala adaptada do EWRC.....	19
Tabela 4 - Médias de massa seca (g) de plantas de sorgo cultivadas durante 21 DAE em solos arenoso e argiloso coletadas em quatro épocas após a aplicação do herbicida clomazone em diferentes doses, nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm.....	21
Tabela 5 - Médias de intoxicação em plantas de sorgo para diferentes doses do clomazone, coletados em quatro épocas após a aplicação, em solo arenoso e argiloso, nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm.....	22
Tabela 6 - Concentração total de clomazone recuperada e dissipada em solos arenoso e argiloso, utilizando as doses de 360; 720 e 1080 g ha ⁻¹ , aos 93 DAA.....	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1. Origem e incidência das plantas daninhas	11
2.2. Uso de Herbicidas para controle de plantas daninhas	11
2.3. Persistência e lixiviação dos herbicidas	12
2.4. Efeito residual de herbicidas.....	13
2.5. Clomazone	13
3. METODOLOGIA.....	15
3.1. Experimento 1 em campo.....	17
3.2. Experimento 2 em campo.....	17
3.3. Experimentos em casa de vegetação com sorgo	18
3.4. Características a serem avaliadas	19
3.5. Condições cromatográficas e espectrometria de massas.....	20
3.6. Análises estatísticas.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1. Matéria seca	21
4.2. Fitotoxicidade.....	22
4.3. Herbicida remanescente	24
5. CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

A vasta diversidade genética, juntamente com a facilidade de dispersão e adaptação a diversas condições ambientais, faz das plantas daninhas um dos maiores desafios para a produtividade agrícola global, causando assim, perdas significativas nas culturas ao competirem por recursos como água, luz e nutrientes, além de provocarem impactos indiretos que podem afetar a eficiência da colheita (PEREIRA, 2015). Em determinados casos, principalmente aqueles em que não se pratica nenhum tipo de controle, as perdas de produção podem chegar a 90% (MATOS *et al.*, 1991).

Para o controle das plantas daninhas, o manejo primordialmente adotado se faz por meio da utilização de herbicidas (DECHOUM & ZILLER, 2013). Segundo Pereira (2015), no Brasil, cerca de 50% dos defensivos empregados nas áreas de produção são herbicidas. Essa predominância se explica pela eficácia desses produtos e pelo seu custo mais acessível em relação a outros métodos de controle.

Dentre os herbicidas mais utilizados, especialmente nas culturas de arroz irrigado e cana-de-açúcar, destaca-se o clomazone, que é comercializado com o nome de Gamit, sendo este muito requisitado em grandes plantios (LIPPI *et al.*, 2014). O clomazone é um herbicida que possui caráter inibidor na síntese de carotenóides com comprovada eficácia no controle de várias monocotiledôneas e algumas dicotiledôneas (CRISTINA *et al.*, 2011). Ainda de acordo com Lippi *et al* (2014) o clomazone se trata de uma substância sintética com atuação seletiva, sendo absorvida pelas raízes e brotos das culturas onde é aplicada. É uma solução líquida semelhante à cor de palha clara e é comumente encontrada em forma de cápsula de suspensão, que por sua vez é misturada na água e utilizada para aplicação em forma de spray.

Devido a sua ampla utilização, é importante que a aplicação deste defensivo agrícola seja realizada de maneira consciente em quaisquer que sejam as circunstâncias. Visto que, seu uso irresponsável pode resultar na intoxicação de cultivares de interesse, prejudicando além do desenvolvimento em sucessão, o seu próprio crescimento (MELO *et al.*, 2016).

É de conhecimento científico que ao utilizar produtos químicos na agricultura, seu destino final, é inegavelmente, o solo, seja na aplicação feita na parte aérea das plantas ou diretamente no solo. Esta substância, sujeita-se a processos físico-químicos que influenciam o seu destino, ou seja, a movimentação e degradação dos herbicidas no solo podem ser influenciadas pelo pH, temperatura, teor de matéria orgânica, umidade e textura do solo (FERRI *et al.*, 2002). O clomazone, é um herbicida pré-emergente que pode provocar efeito residual após aplicação no solo, com possibilidade de intoxicação em culturas, em caso de integração

lavoura pecuária floresta (ILPF), ou mesmo, ocasionar danos ambientais, como contaminação de lençóis subterrâneos, cursos d'água, lagos, entre outros. Desta forma, se faz necessário o entendimento quanto a dinâmica deste herbicida no solo frente a interações com diferentes características do clima, do solo e até mesmo do próprio herbicida, objetivando assim o uso consciente e científico de acordo com o manejo integrado de plantas invasoras na safra e culturas de sucessão (MANCUSO *et al.*, 2011).

Mediante ao exposto, é notória a importância de se estudar a dinâmica e os efeitos residuais do clomazone no solo, otimizando assim as recomendações de uso e minimizando os prejuízos provenientes de aplicações precipitadas desses produtos. Sendo assim, o objetivo deste trabalho será analisar o efeito residual do herbicida clomazone em solo argiloso e arenoso, em diferentes doses, ao longo do tempo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Origem e incidência das plantas daninhas

As plantas daninhas existem desde a antiguidade, quando as plantas cultivadas ainda se encontravam em estado selvagem. A domesticação dessas plantas de interesse ocorreu de forma muito lenta e, inicialmente, a exploração era de caráter extrativista. Não se realizava a remoção das plantas daninhas que cresciam junto às culturas, pois sua agressividade lhes permitia sobreviver nessas condições sem sofrer com a competição (OLIVEIRA & BRIGHENTI, 2011).

Plantas com características pioneiras, em geral, demonstram grande agressividade, expressa pela elevada e prolongada capacidade de produção de diásporas, que possuem alta viabilidade e longevidade. Essas plantas podem germinar de forma descontínua em diversos ambientes e apresentam adaptações especiais para dispersão em curtas e longas distâncias (PITELLI, 1987).

A competição pelos recursos água, luz, nutrientes e CO₂ tangencia de forma negativa a qualidade e a quantidade de produção em culturas de interesse agrícola. Conforme Pitelli (1985), a interferência negativa de plantas daninhas é influenciada por fatores ligados à própria cultura (espécie ou variedade, espaçamento e densidade de plantio), à época e extensão do período de convivência e aos fatores característicos das plantas daninhas (composição específica, densidade e distribuição).

Posto isso, afim de manter a qualidade e a sanidade da lavoura, existe a necessidade de contenção da incidência de plantas invasoras. Atualmente, o principal método de controle das plantas daninhas é o químico, por meio da aplicação de herbicidas, tanto na condição de pré como de pós-emergência destas plantas (HERNANDEZ *et al.*, 2001).

2.2. Uso de Herbicidas para controle de plantas daninhas

Para que o controle químico seja eficiente, determinada quantidade de herbicida precisa atingir os locais de atuação dentro da planta. Até chegar ao local de ação, o herbicida aplicado enfrenta uma série de obstáculos que retardam seu movimento, inativam parte das moléculas e degradam outra parte (DEUBER, 1992). Para o sucesso do controle químico é essencial escolher corretamente a forma de aplicação do produto, além de definir a concentração adequada para sua utilização (SALOMÃO *et al.*, 2019).

Geralmente, os herbicidas atuam na inibição da atividade de uma enzima ou proteína na célula e, como consequência, desencadeiam uma série de eventos que matam, ou inibem o desenvolvimento da célula e do organismo (VIDAL, 1997).

Para a identificação de herbicidas se faz necessário agrupá-los de acordo com dois fatores principais: os mecanismos de ação nas plantas e suas estruturas químicas básicas. Em tese, herbicidas pertencentes à mesma família química por via de regra causam sintomas semelhantes em plantas suscetíveis, contudo existem algumas exceções. Há casos em que sintomas similares são apresentados pelas plantas, mesmo quando atingidas por herbicidas com mecanismos de ação diferentes (ZIMDHAL, 1993).

2.3. Persistência e lixiviação dos herbicidas

A retenção é a capacidade do solo de manter uma molécula orgânica, impedindo seu movimento para dentro ou fora de sua matriz. Esse processo ocorre principalmente por adsorção, mas também envolve a absorção pela matriz do solo, pelas plantas e a degradação por microrganismos. A retenção é controlada por transformações químicas e biológicas, que influenciam o transporte de moléculas orgânicas para a atmosfera, águas subterrâneas e superficiais. Assim, a retenção é o principal fator que determina a eficácia dos agroquímicos aplicados ao solo (KOSKINEN & HARPER, 1990).

Existem diversos fatores responsáveis por determinar o comportamento dos herbicidas no solo e consequentemente níveis de lixiviação e persistências do mesmo. São eles: retenção pelos colóides do solo, pH e teor de água no solo, topografia ou declive da área, potencial de remobilização, intensidade da chuva ou irrigação após a aplicação e o manejo do solo (OLIVEIRA & BRIGHENTI, 2011).

A permanência do herbicida no solo é fator determinante para que se conclua a eficácia no controle de plantas daninhas, tal permanência denomina-se, neste contexto, como período residual. Em contrapartida, existem casos em que esse mesmo fator resulta em danos à cultura subsequente, além do risco de lixiviação, volatilização, escoamento superficial e, consequentemente, contaminação ambiental (ROSS & LEMBI, 1999).

Afim de quantificar esta persistência do herbicida no solo, é sabido que a espectrometria de massa, cromatografia e uso de plantas indicadoras (bioensaios), são metodologias responsáveis por determinar a permanência de compostos no solo. Sendo este último, indicado quando se deseja detectar somente efeitos residuais biologicamente ativos (BEYER *et al.*, 1988). A utilização de bioensaios é uma prática relativamente simples, de baixo

custo e rápida, propiciando ainda uma avaliação quanto ao seu impacto ambiental, estimação do tempo em que o herbicida pode permanecer no solo e como afetaria culturas sensíveis, em um sistema de sucessão ou rotação de culturas (BLANCO *et al.*, 2010).

Já a movimentação do herbicida no solo se dá através do escoamento superficial e da lixiviação. Sendo esta última o movimento descendente dos herbicidas na matriz do solo juntamente com a água do solo. Para que esse processo de lixiviação ocorra, o herbicida deve estar na solução do solo, livre ou adsorvido a pequenas partículas, como argilas, ácidos fúlvicos e húmicos de baixo peso molecular, aminoácidos, peptídeos e açúcares, entre outros. A lixiviação de um herbicida tem sua intensidade oriunda das características físico-químicas que este apresenta, além das características apresentadas pelo solo e o clima do local (BEYER *et al.*, 1988).

2.4. Efeito residual de herbicidas

Juntamente com o aumento da utilização de herbicidas nos cultivos agrícolas do Brasil, foi posto em pauta preocupações quanto à contaminação do meio ambiente e à utilização consciente dos recursos hídricos e do solo. A intoxicação e a redução de produtividade das culturas são sintomas resultantes de efeitos diretos ocasionados por herbicidas de ação residual observados pelos produtores. A permanência e degradação no solo são processos essenciais na determinação do seu efeito residual, sendo utilizados para avaliar a eficiência de controle das plantas daninhas (HINZ, 2001). O processo de degradação de herbicidas é explicado por Brum *et al* (2013), como a quebra das moléculas desses defensivos em compostos menores, de forma biótica ou abiótica, tornando-as, na maioria das vezes, menos tóxicas que as moléculas originais.

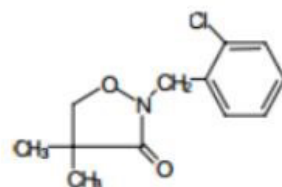
Os herbicidas residuais são aqueles que apresentam um maior período de atividade. Entretanto, esses herbicidas podem apresentar um efeito residual (*carryover*), que pode acarretar em impactos ambientais negativos (MANCUSO *et al.*, 2011).

2.5. Clomazone

O clomazone é um herbicida pertencente ao grupo químico isoxazolidinona (AGROFIT, 2003), mas, eventualmente ele pode ser comercializado combinado com outros produtos o que infere no seu comportamento no meio ambiente (EFSA, 2005).

O nome químico da substância clomazone de acordo com a IUPAC é 2 - (2-clorobenzil) -4,4-dimetil-1,2-oxazolidin-3-ona. Sua fórmula molecular é $C_{12}H_{14}ClNO_2$, sua fórmula estrutural é descrita na figura 1 e sua massa molecular é igual a $239,7 \text{ g mol}^{-1}$ (EFSA, 2007).

Figura 1 - Estrutura química do clomazone



Fonte: (EFSA,2007).

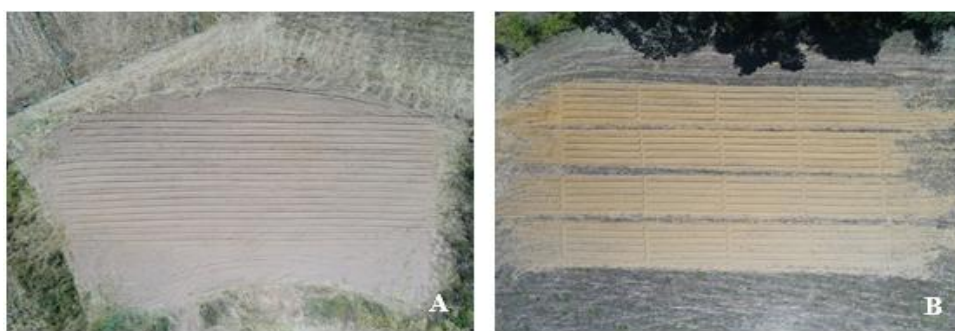
Com relação a distribuição no meio ambiente, o clomazone apresenta resistência a reações de fotólise, ou seja, o herbicida é estável à degradação pela radiação UV (LIPPI *et al.*, 2014).

Devido a constante de Henry da molécula, espera-se que o clomazone não se perca por volatilização, permanecendo na coluna d'água. Porém seu K_{oc}, que varia de 139 a 608, indica a possibilidade de ser adsorvida ao solo. Pois quanto maior o K_{oc}, maior a possibilidade de ser adsorvida pela matéria orgânica do solo, entretanto isso dependerá diretamente do tipo de solo (LIPPI *et al.*, 2014). Da mesma forma que sua degradação microbiológica no solo também depende das características do solo como temperatura, pH e umidade, mostrando-se mais rápida em solos arenosos do que em argilosos (EFSA, 2007).

3. METODOLOGIA

Foram conduzidos dois experimentos em campo (experimento 1: solo arenoso; experimento 2: solo argiloso) e quatro experimentos em casa de vegetação, todos no Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG – *Campus* São João Evangelista - MG.

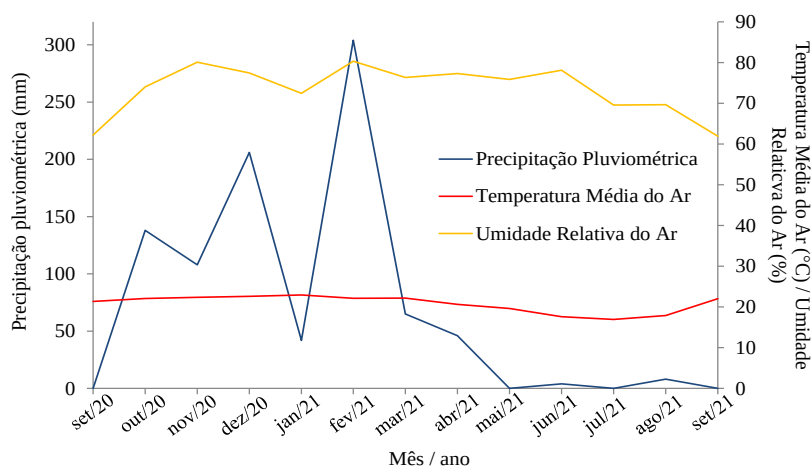
Figura 2 - Canteiros em solo arenoso (A) e em solo argiloso (B) na área experimental do IFMG *Campus* São João Evangelista – São João Evangelista, MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As áreas de estudo, situadas no município de São João Evangelista, região leste de Minas Gerais, possuem as seguintes informações geográficas: latitude: $-18^{\circ} 32' 52''$; longitude: $-42^{\circ} 45' 48''$; altitude: 690 m. Os valores médios de temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica durante a realização dos testes estão apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Valores de precipitação (mm), temperatura compensada média ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa média (%).



Fonte: INMET – Estação Operante: Guanhães – MG.

Os experimentos de campo foram conduzidos em uma área experimental cujo solo é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo. Os experimentos em ambiente protegido (casa de

vegetação) foram conduzidos em um viveiro de mudas, em vasos com capacidade para 0,2 dm³. Os aspectos físico-químicos do solo utilizado em ambos experimentos, estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Aspectos físico-químicas do solo de cada área experimental (0-20cm). IFMG – SJE, MG, 2020

Textura	Análise granulométrica(%)			pH ¹	M.O ²	CTC (T) ³	V ⁴
	Argila	Silte	Areia	H ₂ O	dag Kg ⁻¹	Cmol _c dm ⁻³	%
1 - Arenosa	14,4	26,6	63,0	5,31	1,41	4,35	50,7
2 - Argilosa	62,8	27,2	10,0	5,88	1,41	5,19	67,9

1= pH em água; 2 = Matéria Orgânica; 3 = Capacidade de troca catiônica pH 7,0; 4 = Índice de saturação de bases

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para ambos os experimentos em campo (1 e 2) foram utilizadas as mesmas metodologias, onde após o preparo do solo (aração e gradagem), efetuou-se o encanteiramento da área. Cada canteiro possui as seguintes dimensões: 0,7 m de largura por 10 metros de comprimento.

Os experimentos 1 e 2, realizados com solo arenoso e argiloso, respectivamente, seguiram um delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 2. O fator 1 incluiu 4 doses e o fator 2, duas profundidades, com 4 repetições, totalizando 32 parcelas. Cada parcela possui uma área útil de 7 m², resultando em uma área total de 224 m² na superfície.

Para a aplicação do herbicida e a coleta de dados adotou-se o mesmo procedimento nos dois experimentos conduzidos em campo. Utilizou-se um pulverizador costal elétrico equipado com uma barra de pulverização contendo um bico do tipo leque Teejet 110.02, com volume de aplicação de 200 L ha⁻¹. A dose zero, ou seja, a testemunha, não recebeu nenhum tipo de tratamento. Após a aplicação do herbicida, todas as parcelas receberam sementes de braquiária brizanta e capim amargoso de forma manual e uniforme.

Três dias após a aplicação do herbicida, o solo foi coletado na profundidade de 0 a 10 cm, e também na profundidade de 10 a 20 cm, em cada parcela do experimento. Tal procedimento, de coleta do solo nas parcelas, foi repetido nos intervalos de 30. Este solo coletado foi encaminhado à casa de vegetação para que fosse preparado o enchimento dos vasos(bioensaios) e posteriormente o semeio de sementes de sorgo, para que fosse possível testar eventuais efeitos residuais do herbicida no solo ao longo do tempo.

Figura 4 - Aplicação de herbicida em solo arenoso (A) e em solo argiloso (B) na área experimental do IFMG *Campus* de São João Evangelista – São João Evangelista, MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

3.1. Experimento 1 em campo

A área selecionada para instalação do experimento, além de apresentar uma topografia levemente ondulada, foi cultivada anteriormente com a cultura de mandioca. A mandioca foi colhida e os restos culturais foram retirados da área, antes da aração e gradagem para o preparo do solo.

3.2. Experimento 2 em campo

A área utilizada para o experimento 2, foi cultivada anteriormente com milho para silagem. O material orgânico que permaneceu na área após a colheita foi incorporado no momento da aração e gradagem, durante o preparo do solo para a aplicação dos herbicidas. Essa área apresenta topografia semelhante à área do experimento 1.

Os tratamentos utilizados neste estudo estão representados na tabela 2.

Tabela 2 - Tratamentos utilizados nos experimentos de campo, São João Evangelista, Minas Gerais, Brasil, 2020.

Trat.	Princípio ativo do herbicida	Nome Comercial	Dose	
			Produto comercial (L ha ⁻¹)	Princípio ativo (g ha ⁻¹)
T1	clomazone	Gamit	0	0
T2			1	360
T3			2	720
T4			3	1080

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

3.3. Experimentos em casa de vegetação com sorgo

Os bioensaios foram conduzidos em casa de vegetação, utilizando amostras de solo provenientes das parcelas dos experimentos em campo. As coletas no campo foram realizadas com o auxílio de uma sonda graduada, sobre o canteiro de cada parcela, na profundidade de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm. Em cada parcela, e cada profundidade, foram retirados solos na quantidade suficiente para preenchimento de três vasos de 300 g para a montagem dos bioensaios em casa de vegetação.

Figura 5 - Bioensaios em casa de vegetação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As coletas no campo foram dependentes dos sintomas de toxicidade na planta bioindicadora (sorgo). Assim, foram realizadas coletas de solo, aos três dias após a aplicação (DAA) dos tratamentos e sequencialmente a cada 30 dias, a partir da primeira coleta, caso houvesse toxicidade das plantas cultivadas em vaso. As amostras foram destorroadas, peneiradas e homogeneizadas. Os vasos são de capacidade de 0,2 dm³. Foram usados copos descartáveis de polietileno, sem perfurações, para evitar perdas de compostos e/ou nutrientes por lixiviação.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 x 4, onde o fator 1 consistiu em duas profundidades de coleta e o fator 2 em quatro doses. Foram realizadas quatro coletas, cada uma com quatro repetições, utilizando três vasos por parcela experimental, totalizando 96 vasos por coleta para cada tipo de solo. Os vasos foram dispostos aleatoriamente em uma bancada de 1 metro de largura, 3 metros de comprimento e 1 metro de altura.

Após o preparo dos vasos, foram semeadas 6 sementes de sorgo, por vaso. A irrigação foi executada diariamente, duas ou mais vezes, dependendo da necessidade. Aos sete dias após a germinação do sorgo, foi efetuado o desbaste das plantas, deixando três plantas por vaso. Também se realizou o controle manual das plantas daninhas.

3.4. Características a serem avaliadas

Os prováveis sintomas visuais de toxicidade foram avaliados, nas plantas de sorgo, aos sete e vinte dias após a emergência das plantas, seguindo a escala adaptada do European Weed Research Council (EWRC) (Tabela 3).

Tabela 3 - Conceitos atribuídos à toxicidade de herbicidas, segundo a escala adaptada do EWRC

Toxicidade (%)	Interpretação
0 – 10	Nulo
11 – 20	Muito leve
21 – 30	Leve
31 – 60	Moderado
61 – 70	Forte
71 – 90	Muito forte
91 – 100	Morte

Fonte: FRANS (1972).

Para a determinação da matéria seca da parte aérea das plantas, essas foram coletadas aos 21 dias após a emergência. Em seguida as plantas foram colocadas em estufa de ventilação forçada a $65 \pm 2^\circ\text{C}$ por 72 horas. Outra característica a ser avaliada é frente a quantificação de herbicida remanescente através do método Cromatografia Líquida de Ultra Performance (UHPLC). A operação do cromatográfico ocorreu com um fluxo de $0,20 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$, volume de injeção de $5 \mu\text{L}$ e as temperaturas do amostrador e do forno da coluna foram de 15 e 40°C , respectivamente. A eluição ocorreu de forma isocrática, para clomazone, o fluxo era formado com 85% de acetonitrila grau HPLC. O equipamento de espectrometria de massa triplo quadrupolo LCMS-8040 da série LCMS-8040 (Shimadzu, Tóquio, Japão) com fonte de ionização por eletrospray (ESI) foi utilizado nos modos de ionização positiva e negativa.

3.5. Condições cromatográficas e espectrometria de massas

A quantificação do herbicida Clomazone foi realizada utilizando UHPLC com o sistema Nexera X2 da Shimadzu, que inclui duas bombas LC-30AD, um desgaseificador DGU-20A5R, um autoamostrador SIL-30AC, um forno de coluna CTO-30AC e um controlador CBM-20A. A separação ocorreu em uma coluna Restek Pinnacle DB AQ C18 com dimensões de $50 \times 2,1 \text{ mm}$ e partículas de $1,9 \mu\text{m}$.

A fase móvel foi composta por água grau HPLC contendo 0,1% de ácido fórmico (fase A) e acetonitrila grau HPLC (fase B). A eluição foi realizada de forma isocrática, utilizando 65% de fase B no fluxo. O espectrômetro de massa triplo quadrupolo LCMS-8040, também da Shimadzu, equipado com fonte de ionização por ESI, foi operado tanto no modo de ionização positivo quanto no negativo.

Essas condições cromatográficas permitiram uma separação eficaz do clomazone e sua quantificação por meio de técnicas de espectrometria de massa.

3.6. Análises estatísticas

Para as avaliações visuais dos eventuais sintomas ao herbicida as plantas de sorgo e a mensuração da matéria seca, foram realizadas análises de variância utilizando o teste F a 5% de probabilidade. Os resultados obtidos da matéria seca da parte aérea das plantas de sorgo serão submetidos à análise de média de cada tratamento. As variáveis que apresentaram efeito significativo pela ANOVA foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Matéria seca

A massa seca da parte aérea das plantas de sorgo, analisada em relação à aplicação de clomazone em solos arenosos e argilosos provenientes das camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, em diferentes períodos, mostrou variação de peso em comparação com a testemunha cultivada em solo sem aplicação de clomazone (Tabela 4).

Tabela 4 - Médias de massa seca (g) de plantas de sorgo cultivadas durante 21 DAE em solos arenoso e argiloso coletadas em quatro épocas após a aplicação do herbicida clomazone em diferentes doses, nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm

Dose (L.ha ⁻¹)	Dias Após Aplicação (DAA)							
	3	33	63	93	123	153	213	273
Arenoso - Profundidade 0-10cm								
0	0,89 a	1,40 a	0,88 a	0,89 a	-	-	-	-
1	0,03 b	0,47 b	0,59 b	0,83 a	-	-	-	-
2	0,01 b	0,12 c	0,69 ab	0,82 a	-	-	-	-
3	0,01 b	0,06 c	0,56 b	0,86 a	-	-	-	-
Arenoso - Profundidade 10-20cm								
0	0,52 a	0,56 a	0,61 a	0,86 a	-	-	-	-
1	0,36 a	0,38 a	0,65 a	0,91 a	-	-	-	-
2	0,37 a	0,39 a	0,59 a	0,88 a	-	-	-	-
3	0,37 a	0,38 a	0,67 a	0,85 a	-	-	-	-
Argiloso - Profundidade 0-10cm								
0	0,53 a	1,35 a	0,98 a	0,88 a	-	-	-	-
1	0,02 b	0,82 ab	0,95 a	0,83 a	-	-	-	-
2	0,00 b	0,25 bc	0,77 a	0,79 a	-	-	-	-
3	0,01 b	0,02 c	1,07 a	0,83 a	-	-	-	-
Argiloso - Profundidade 10-20cm								
0	0,65 a	0,67 a	0,87 a	0,71 a	-	-	-	-
1	0,42 a	0,39 a	0,70 a	0,76 a	-	-	-	-
2	0,59 a	0,53 a	0,55 a	0,77 a	-	-	-	-
3	0,63 a	0,58 a	0,60 a	0,81 a	-	-	-	-

*Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste Tukey ao nível de significância de 5% probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

As plantas bioindicadoras cultivadas em solos arenosos e argilosos, extraídos da camada de 0 a 10 cm de profundidade, apresentaram redução de matéria seca até 33 dias após a aplicação (DAA) em todas as doses testadas (360; 720 e 1080 g ha⁻¹). Aos 63 DAA, observou-

se um efeito significativo, com redução da matéria seca nas plantas bioindicadoras para as doses de 360 e 1080 g ha⁻¹. Na camada de 10 a 20 cm de profundidade, não houve redução da matéria seca nas plantas bioindicadoras, indicando que o herbicida clomazone não causou efeitos significativos nas plantas desses tratamentos.

4.2. Fitotoxicidade

Conforme os conceitos de toxicidade de herbicidas, segundo a escala adaptada do EWRC (Tabela 3), observa-se que as plantas de sorgo (*Sorghum vulgare*) cultivadas em solos contaminados com o herbicida Gamit® 360 CS (clomazone) exibiram variações nos níveis de intoxicação, dependendo da textura contrastante dos solos, das diferentes profundidades e das doses aplicadas (Tabela 5).

Tabela 5 - Médias de intoxicação em plantas de sorgo para diferentes doses do clomazone, coletados em quatro épocas após a aplicação, em solo arenoso e argiloso, nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm

Dose (L.ha ⁻¹)	Dias Após Aplicação (DAA)							
	3	33	63	93	123	153	213	273
----- Arenoso - Profundidade 0-10cm -----								
0	0,00 c	0,00 c	0,00 b	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
1	61,00 b	58,50 b	0,00 b	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
2	71,00 a	78,00 a	0,00 b	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
3	61,00 b	83,00 a	35,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
----- Arenoso - Profundidade 10-20cm -----								
0	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
1	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
2	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
3	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
----- Argiloso - Profundidade 0-10cm -----								
0	0,00 c	0,00 d	0,00 b	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
1	61,00 b	48,50 c	0,00 b	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
2	61,00 b	76,00 b	0,00 b	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
3	70,00 a	91,00 a	25,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	a,00 a
----- Argiloso - Profundidade 10-20cm -----								
0	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
1	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
2	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
3	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a

*Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste Tukey ao nível de significância de 5% probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Os sintomas de intoxicação por clomazone se manifestaram por meio do branqueamento dos tecidos jovens, seguido de necrose, e em alguns casos, resultando na morte da planta (DAYAN *et al.*, 2007). Esses sinais são claros e característicos, pois o clomazone age inibindo a biossíntese dos carotenoides, o que diminui a capacidade desses compostos de dissipar o excesso de energia na parte aérea das plantas. Há registros de que esses pigmentos são fundamentais para a dissipação de energia, e quando essa energia não é controlada, pode ocorrer a destruição das moléculas de clorofila por reações oxidativas (HESS, 2000).

A aplicação de clomazone em solos arenosos e argilosos causou intoxicação nas plantas de sorgo nas doses de 360 e 720 g ha⁻¹ até 33 dias após a aplicação (DAA). Na dose de 1080 g ha⁻¹, as plantas de sorgo apresentaram lesões até 63 DAA na camada superficial do solo (0 a 10 cm). Na camada de 10 a 20 cm de profundidade, não houve sinais de intoxicação nas plantas de sorgo. Dessa forma, pode-se considerar que, após 63 DAA, sob as condições ambientais deste experimento, o solo contaminado pelo herbicida clomazone estaria apto para receber uma cultura sensível ao princípio ativo, como o sorgo.

Neste estudo, observou-se que os efeitos residuais do clomazone foram de curta duração, com persistência de até 63 dias tanto em solos arenosos quanto argilosos. Pesquisas anteriores indicam que a umidade do solo influencia significativamente a dissipação do clomazone (CURRAN *et al.*, 1992; MILLS *et al.*, 1989). A aplicação deste herbicida ocorreu na primavera, no final de setembro, com o início da estação chuvosa no mês seguinte. As precipitações registradas nos meses de outubro e novembro (Figura 3) podem ter contribuído para a dissipação do clomazone. Outro fator que pode ter acelerado a redução do clomazone é a perda de vapor da superfície do solo, que aumenta com a umidade, fazendo com que as moléculas do herbicida evaporem junto com a água (THELEN *et al.*, 1988). Além disso, a umidade e a temperatura também podem ter favorecido a mineralização do clomazone pela atividade microbiana do solo (MERVOSH *et al.*, 1995).

A persistência do clomazone foi avaliada durante a safra de 1997/1998, onde se observou que, após o quarto dia da aplicação, os níveis de resíduo no solo estavam abaixo do limite de quantificação (< 0,040 mg kg⁻¹), indicando um curto tempo de permanência no ambiente, possivelmente relacionado à época da aplicação (janeiro), período de temperaturas mais altas em comparação aos meses de novembro/dezembro, quando as aplicações foram realizadas em outros anos, o que pode ter acelerado a dissipação do herbicida no campo (NOLDIN *et al.*, 2001). Na safra de 1998/1999, houve maior variabilidade nos níveis de resíduo

de clomazone no solo. As concentrações mais elevadas do herbicida ocorreram a partir do oitavo dia após a aplicação, com níveis máximos variando de 0,18 mg kg⁻¹ até 0,111 mg kg⁻¹ aos 16 DAA.

Embora o clomazone seja considerado um herbicida de baixa persistência, com meia-vida variando entre 15 a 40 dias, dependendo do clima e do solo (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005), alguns estudos indicam efeitos fitotóxicos em cultivos subsequentes. Um estudo realizado por Inoue *et al.* (2011) em um Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa (43 g dm³ de MO e 43,8% de argila), utilizando doses de 2,5 e 3 L ha⁻¹ de clomazone, demonstrou controle do bioindicador acima de 80% até 39 DAA, em ambas as doses. À medida que o intervalo entre a aplicação e a semeadura das plantas bioindicadoras aumentou, houve redução no efeito do herbicida no solo argiloso, com controle abaixo de 40% a partir de 83 DAA na dose de 2,5 L ha⁻¹, enquanto na dose de 3 L ha⁻¹, o controle acima de 80% foi observado até 71 DAA. Outro estudo realizado por Santos *et al.* (2003) mostrou que o clomazone aplicado na cultura da soja afetou cultivos subsequentes de trigo, aveia e cevada devido à sua persistência no solo, exigindo um intervalo mínimo de 150 DAA para o plantio de uma cultura subsequente.

Os resultados de matéria seca (Tabela 4), quando comparados aos dados de intoxicação (Tabela 5), demonstraram que maiores quantidades de matéria seca estão associadas a menores índices de intoxicação. Considerando que o clomazone tem a capacidade de reduzir os pigmentos do sistema fotossintético, levando ao estresse fotooxidativo que pode inibir o PSII (DARWISH *et al.*, 2013; 2014), é possível inferir que o efeito residual do herbicida nos solos que receberam aplicação até 63 DAA resultou em uma redução no crescimento das plantas de sorgo, com consequente diminuição da matéria seca. Foi confirmado que o clomazone causou a redução do crescimento de mudas de tabaco devido à inibição do transporte de elétrons no PSII, induzida pela exposição das mudas ao clomazone (DARWISH *et al.*, 2013; 2014).

4.3. Herbicida remanescente

Os valores obtidos na avaliação do herbicida remanescente, clomazone, aos 93 DAA, em solo arenoso, para as doses de 360, 720 e 1080 g ha⁻¹ nas camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 15 cm e 15 a 20 cm, foram respectivamente (117,3 g ha⁻¹ = 32,6%); (260,8 g ha⁻¹ = 36,2%) e (376,2 g ha⁻¹ = 34,8%). Em solo argiloso, foram recuperados nessas mesmas doses e camadas (120,3 g ha⁻¹ = 33,4%); (252,9 g ha⁻¹ = 35,1%) e (281,9 g ha⁻¹ = 35,4%). No solo arenoso, independentemente da camada avaliada, ocorreram perdas superiores a 63,8% da dose

aplicada. Para o solo argiloso, as perdas foram superiores a 64,6%, independentemente da profundidade avaliada (Tabela 6). Apesar de mais de 32% do resíduo de clomazone ter sido detectado nas camadas dos solos analisados, os bioensaios realizados mostraram que, aos 93 DAA, as plantas bioindicadoras não apresentaram injúrias nem redução de matéria seca para nenhuma das doses aplicadas.

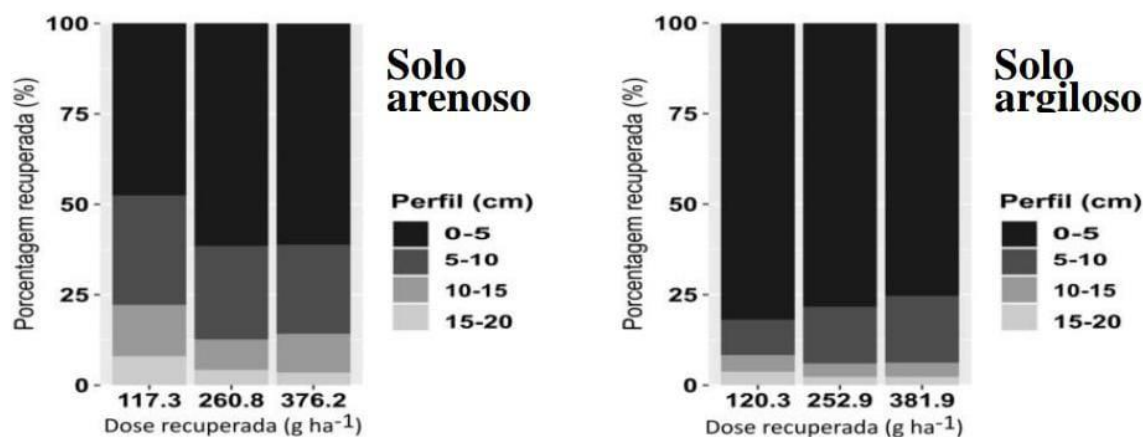
Tabela 6 - Concentração total de clomazone recuperada e dissipada em solos arenoso e argiloso, utilizando as doses de 360; 720 e 1080 g ha⁻¹, aos 93 DAA.

	Clomazone					
	Solo arenoso			Solo argiloso		
Descrição	Dose aplicada (g ha ⁻¹)					
	360	720	1080	360	720	1080
Herbicida recuperado (g ha ⁻¹)	117,3	260,8	376,2	120,3	252,9	381,9
% Herbicida recuperado	32,6	36,2	34,8	33,4	35,1	35,4
Herbicida dissipado (g ha ⁻¹)	242,7	459,2	703,8	239,7	467,1	698,1
% Herbicida dissipado	67,4	63,8	65,2	66,6	64,9	64,6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Os resíduos do herbicida clomazone foram distribuídos em todas as profundidades analisadas (0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm) dos solos avaliados, nas dosagens de 360, 720 e 1080 g ha⁻¹. Entretanto, os maiores percentuais foram encontrados nas camadas superficiais desses solos (Figura 6). Nas camadas mais profundas, a recuperação do clomazone foi maior no solo arenoso. Apesar da maior concentração de clomazone nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm no solo arenoso, também foram detectadas concentrações mais significativas desse herbicida nas camadas de 10-15 cm e 15-20 cm, em comparação ao solo argiloso. Isso sugere que houve maior lixiviação do herbicida no solo arenoso, um comportamento esperado devido à menor capacidade de adsorção desse tipo de solo em relação ao argiloso. Com base nesses resultados, pode-se concluir que o herbicida clomazone mostrou boa mobilidade nos dois tipos de solo estudados. No entanto, devido às características intrínsecas de um solo de textura mais grosseira, a movimentação do herbicida foi mais pronunciada no perfil do solo arenoso.

Figura 6 - Porcentagem de clomazone recuperado em diferentes profundidades de solos arenoso (esquerda) e argiloso (direita), utilizando as doses de 360, 720 e 1080 g ha⁻¹, aos 93 DAA



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Concentrações mais elevadas de clomazone foram detectadas na camada superior do solo argiloso em comparação ao solo arenoso (Figura 6). O clomazone é considerado um herbicida de mobilidade moderada no solo (PPDB, 2022), e a predominância de microporos no solo argiloso contribuiu para a maior retenção dessa substância nas camadas superficiais. Segundo McGrath *et al.* (2010), os macroporos do solo desempenham um papel importante no transporte de substâncias com mobilidade intermediária, como o clomazone. Substâncias altamente móveis podem lixiviar independentemente da presença de macroporos, enquanto substâncias menos móveis tendem a adsorver-se fortemente ao solo e são transportadas, ligadas a partículas, através de macroporos em direção aos drenos (KJÆR *et al.*, 2011).

Resíduos de clomazone foram encontrados distribuídos em todas as camadas analisadas, tanto no solo arenoso quanto no argiloso (Figura 5). Os solos utilizados neste estudo apresentaram baixo teor de matéria orgânica. Em solos com maior teor de matéria orgânica, o clomazone tem menor probabilidade de ser lixiviado (PEREIRA *et al.*, 2016). No entanto, em solos com menor porcentagem desse componente, como a maioria dos Latossolos e Neossolos, há um maior risco de lixiviação desse herbicida no perfil do solo. Compreender essa capacidade de lixiviação antes da aplicação do herbicida pode determinar a seletividade e eficácia no controle de plantas daninhas, assim como o risco de contaminação dos lençóis freáticos.

A mobilidade dos herbicidas é um processo necessário para o controle efetivo de sementes de plantas daninhas distribuídas no banco de sementes do solo (BACHEGA *et al.*, 2009). Contudo, a lixiviação excessiva pode fazer com que o herbicida migre do local de aplicação para camadas mais profundas, podendo alcançar os lençóis freáticos. Assim, o

processo de lixiviação está diretamente relacionado tanto à eficácia no controle de plantas daninhas quanto aos riscos de contaminação ambiental por herbicidas.

Em Latossolo Vermelho-Amarelo com pH corrigido (6,5), os valores de intoxicação em sorgo indicaram que o clomazone foi lixiviado até as profundidades de 15 a 20 cm e 20 a 25 cm, nas simulações de precipitação de 60 e 90 mm, respectivamente. No mesmo substrato, sem correção de pH (5,1), não houve diferença na lixiviação do herbicida em comparação ao solo com pH corrigido, na precipitação de 60 mm. Entretanto, na simulação de precipitação de 90 mm, houve maior lixiviação do herbicida, com sintomas observados em plantas cultivadas em amostras coletadas até a camada de 30 a 35 cm (PEREIRA *et al.*, 2017).

A lixiviação do clomazone em solos de textura arenosa, como os Neossolos, é atribuída ao baixo teor de matéria orgânica (1,55%) e à baixa sorção de herbicidas aos coloides nesse tipo de substrato, além de sua mineralogia. Consequentemente, maiores quantidades de herbicida permaneceram na solução do solo e foram transportadas para camadas mais profundas, especialmente sob maior intensidade de chuva e/ou irrigação, conforme observado por Cumming *et al.* (2002).

Uma avaliação de risco classificou o clomazone como de baixo risco ambiental; no entanto, a toxicidade do composto para plantas, animais e o meio ambiente em geral ainda é pouco conhecida (QUAYLE *et al.*, 2006).

5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados, nota-se que o herbicida clomazone causa injúrias nas plantas bioindicadoras até 33 DAA quando utilizado as doses de 360, 720 g ha⁻¹ e até os 63 DAA na dose de 1080 g ha⁻¹ na camada de 0-10 cm de profundidade para os solos arenoso e argiloso.

No caso do solo arenoso, o clomazone remanescente aos 93 DAA, nas dosagens de 360, 720 e 1080 g ha⁻¹ na profundidade de 0 até 20 cm, foram de 117,3 g ha⁻¹; 260,8 g ha⁻¹ e 376,2 g ha⁻¹, respectivamente.

Para o solo argiloso, foram recuperados nessas mesmas doses e camadas, 120,3 g ha⁻¹; 252,9 g ha⁻¹ e 281,9 g ha⁻¹.

Esses resultados mostram que o clomazone permanece no solo após a aplicação, com a quantidade residual variando conforme a dosagem utilizada e a profundidade do solo. A presença desses resíduos pode impactar o meio ambiente e as culturas futuras, tornando essencial o monitoramento e a compreensão do comportamento desse herbicida no sistema agrícola.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT. **Ministério da Agricultura e Pecuária**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/>. Acesso em: 26 set. 2022.
- BACHEGA, T. F. *et al.* Lixiviação de sulfentrazone e amicarbazone em colunas de solo com adição de óleo mineral. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 363-370, 2009.
- BEYER, E.M.; DUFFY, M.J.; HAY, J.V.; SCHLUETER, D.D. Sulfunylureia. In: KEARNEY, P.C.; KAUFMAN, D.D. eds. **Herbicides: chemistry, degradation, and mode of action**. New York: M. Dekker, 1988. p. 117-189.
- BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D.; BATISTA FILHO, A **Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com cana-de-açúcar**. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 1, p. 71-75, 2010.
- BRUM, CS; FRANCO, AA; JÚNIOR, RPS **Degradação do herbicida sulfentrazone em dois solos de Mato Grosso do Sul**. *Ver. Bras. Eng. Agríc. Ambiente*. 2013, 17 (5), 558 – 564.
- CRISTINA, S. *et al.* **Seletividade de clomazone em misturas com outros herbicidas aplicados na pré-emergência da variedade de algodão fnt 701 cultivado no norte Paraná tratado com permit safener** . Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/51839/1/FIT-057Poster.059.pdf>. Acesso em: 2 set. 2024.
- CUMMING, J.P. *et al.* Clomazone dissipation in four Tasmanian Topsoils. **Weed Science**, v. 50, n. 3, p. 405-409, 2002.
- CURRAN, W. S. *et al.* Effects of tillage and application method on Clomazone, Imazaquin, and Imazethapyr persistence. **Weed Science**, v. 40, n. 3, p. 482–489, 1992.
- DARWISH, M. *et al.* Pretreatment with alternation of light/dark periods improves the tolerance of tobacco (*Nicotiana tabacum*) to clomazone herbicide. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 134, p. 49-56, 2014.
- DAYAN, F. E. *et al.* p-Hydroxyphenylpyruvate dioxygenase is a herbicidal target site for β -triketones from *Leptospermum scoparium*. **Phytochemistry**, v. 68, n. 14, p. 2004–2014, 2007.
- DECHOUM, M.S.; ZILLER, S.R. **Métodos para controle de plantas exóticas invasoras**. *Biotemas*, v. 26, n. 1, p. 69-77, 2013.
- DEUBER, R. (1992). **Ciência das plantas daninhas 1: Fundamentos**. Legis Luma Ltda, Jaboticabal. 438p
- EFSA. **European Food Safety Authority**. 2005. Disponível em: <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/2345.pdf>. Acesso em: 26 set. 2022.

FERRI, M. V. W. *et al.* Atividade do herbicida acetochlor em solo submetido à semeadura direta e ao preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1697–1703, dez. 2002.

FRANS, R. W. Measuring plant response. In: WILKINSON, R. E. (Ed.). **Research methods in weed science**. Puerto Rico: Weed Science Society, 1972. p. 28-41.

EFSA. **European Food Safety Authority**. 2007. Disponível em: <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/109r.pdf>. Acesso em: 26 set. 2022.

HESS, F. D. Light-Dependent herbicides: An overview. **Weed Science**, v. 48, n. 2, p. 160-70, 2000.

HERNANDEZ, D. D.; ALVES, P. L. C. A.; MARTINS, J. V. F. Influência do resíduo de colheita de cana-de-açúcar sem queima sobre a eficiência do imazapic e imazapic + pendimethalin. **Planta Daninha**, v. 19, n. 3, p. 419-426, 2001.

HINZ, C. **Description of sorption data with isotherm equations**. Geoderma, v.99, n.3- 4, p.225-243, 2001.

INOUE, M. H. *et al.* Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes solos. **Planta Daninha**, v. 29, n. 2, p. 429-435, 2011.

KJÆR, J. *et al.* Transport modes and pathways of the strongly sorbing pesticides glyphosate and pendimethalin through structured drained soils. **Chemosphere**, v. 84, n. 4, p. 471-479, 2011.

KOSKINEN, W.C. & HARPER, S.S. The retention process: mechanisms. In: CHENG, H.H., ed. **Pesticides in the soil environment: process, impacts, and modeling**. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, p.51-77, 1990.

LIPPI, A. M. F.; DE ANDRADE, D.; BOVO, J.; NOGUEIRA, L.; LOURENCETTI, C.; MARCHI, M. R. R.; RIBEIRO, M. L. Influence of sugar cane vinasse on the sorption and degradation of herbicides in soil under controlled conditions. **Journal of Environmental Science and Health Part B**, v.47, p.949- 958, 2014.

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI E.; PERIM L. Efeito residual de herbicidas no solo (“Carryover”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, n.2, p 151-164, 2011.

MATOS, A. K. A. *et al.* Dynamics of diuron and sulfentrazone formulations in soils with different textures. **Planta Daninha**, v. 38, n. e020221524, 1991.

MCGRATH, G. *et al.* Assessing the impact of regional rainfall variability on rapid pesticide leaching potential. **Journal of contaminant hydrology**, v. 113, n. 1-4, p. 56-65, 2010.

MELO, C.A.D., DIAS, R.C; MENDES, K.F.; ASSIS, A.C.D.L.P.; DOS REIS, M.R. Carryover de herbicidas em sistemas cultivados com olerícolas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.15, n.1, p.67-78, 2016.

MERVOSH, T. L. *et al.* Clomazone fate in soil as affected by microbial activity, temperature, and soil moisture. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, n. 2, p. 537–543, 1995.

MILLS, J. A. *et al.* Effects of tillage on the efficacy and persistence of Clomazone in soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, v. 37, p. 217–222, 1989.

NOLDIN, J. A. *et al.* Persistência do herbicida clomazone no solo e na água quando aplicado na cultura do arroz irrigado, no sistema pré germinado. **Planta Daninha**, v. 19, n. 3, p.401-408, 2001.

OLIVEIRA M. F.; BRIGHENTI A. M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: Oliveira Júnior RS, Constantin J, Inoue MH, editores. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax; p.263-304, 2011.

PEREIRA. **ALTERNATIVAS PARA MANEJO QUÍMICO DE AZEVÉM (*Lolium multiflorum*) E BUVA (*Conyza sp.*)**. 2015 Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1346/Disserta__o_final_15676032520212_1346.pdf. Acesso em: 2 set. 2024.

PEREIRA, G. A. M. *et al.* Sorption of clomazone in Brazilian soils with different physical and chemical attributes. **Planta Daninha**, v. 34, p. 357-364, 2016.

PEREIRA, G. A. M. *et al.* Estimativa da lixiviação do Clomazone em colunas de solos utilizando método biológico. **Planta Daninha**, v. 35, e017163378, 2017.

PITELLI, R. A. Interferência das plantas daninhas em culturas agrícolas. **Inf. Agropec.**, v. 11, n. 129, p. 16-27, 1985.

PITELLI, ROBINSON ANTONIO. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série técnica IPEF**, v. 4, n. 12, p. 1-24, 1987.

PPDB, 2022. Pesticide Properties Database PPDB. **University of Hertfordshire**. <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/601.htm>. Acesso em: 22 nov. 2022.

QUAYLE, W. C. *et al.* Field Dissipation and environmental hazard assessment of Clomazone, molinate, and Thiobencarb in Australian rice culture. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 19, p. 7213 – 7220, 2006.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina: 2005. 592 p.
ROSS, M.A.; LEMBI, C.A. **Applied weedscience**. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 452 p.

SALOMÃO, Pedro; FERRO, Antônio; RUAS, Wilson. **Herbicidas no Brasil: uma breve revisão**. 2019.

SANTOS, R. L. *et al.* Quinoa (*Chenopodium quinoa*) reaction to herbicide residue in a Brazilian Savannah soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 771-776, 2003.

THELEN, K. D. *et al.* Comparison of application methods and tillage practices on volatilization of clomazone. **Weed Technology**, v. 2, n. 3, p. 323-326, 1988.

VIDAL, R.A **Herbicidas**: mecanismos de ação e resistência de plantas. Porto Alegre, 1997. 165 p.

ZIMDHAL, R.L. **Fundamentals ofweedsience**. San Diego, CA: Academic Press, Inc. 1993. 450 p.