

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

RENAN ZAMPIROLI

DERIVA SIMULADA DO HERBICIDA DICAMBA EM PLANTAS DE *Coffea arabica* L.

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS
2023

RENAN ZAMPIROLI

DERIVA SIMULADA DO HERBICIDA DICAMBA EM PLANTAS DE *Coffea arabica* L.

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

Área de concentração: Fitotecnia

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

Coorientador: Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

Z26d
2023 Zampiroli, Renan, 1992-
Deriva simulada do herbicida dicamba em plantas de *Coffea arabica*
L. [recurso eletrônico] / Renan Zampiroli. - 2023.

Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha.
Coorientador: Cleyton Batista de Alvarenga.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2023.7043>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Cunha, João Paulo Arantes Rodrigues da, 1976-,
(Orient.). II. Alvarenga, Cleyton Batista de, 1981-, (Coorient.). III.
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

Glória Aparecida
Bibliotecária Documentalista - CRB-6/2047

RENAN ZAMPIROLI

DERIVA SIMULADA DO HERBICIDA DICAMBA EM PLANTAS DE *Coffea arabica* L.

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADO em 23 de junho de 2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga (UFU)

Profª. Dra. Gleice Aparecida de Assis (UFU)

Prof.^a Dra. Mariana Rodrigues Bueno (UFVJM)

Dr. Giovanni Belutti Voltolini

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha (UFU)
(Orientador)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia
 Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppgagro.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Tese, 005/2023, PPGAGRO				
Data:	Vinte e três de junho de dois mil e vinte e três	Hora de início:	08:00	Hora de encerramento:	12:30
Matrícula do Discente:	11913AGR015				
Nome do Discente:	Renan Zampiróli				
Título do Trabalho:	DERIVA SIMULADA DO HERBICIDA DICAMBA EM PLANTAS DE <i>Coffea arabica</i> L.				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Produção Vegetal em Áreas de Cerrado				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Cleyton Batista de Alvarenga - UFU; Gleice Aparecida de Assis - UFU; Mariana Rodrigues Bueno - UFVJM; Giovani Belutti Voltolini - Pesquisador; João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha - UFU orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/06/2023, às 13:53, 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 **Cleyton Batista de Alvarenga, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/06/2023, às 14:12, 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 **Gleice Aparecida de Assis, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/06/2023, às 17:36, 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 **Mariana Rodrigues Bueno, Usuário Externo**, em 26/06/2023, às 11:24, 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 **Giovani Belutti Voltolini, Usuário Externo**, em 27/06/2023, às 09:50, 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 https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4592983** e o código CRC **15B7247B**.

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Sra. de Fátima, pois sem eles não chegaria até aqui!

A minha esposa Jéssica, que me auxiliou em todos os momentos, inclusive nas avaliações de campo desse trabalho, as quais não foram poucas. Me apoiou e sempre esteve presente nesses quatro anos, alguns momentos que nunca serão esquecidos em nossas vidas durante esse período.

A minha mãe Albina e ao meu maior mestre, meu pai Devanir, que estiveram comigo em todos os momentos de minha vida, felizes e os mais difíceis.

Ao meu orientador, Prof. João Paulo, pelos ensinamentos, incentivo, apoio, paciência e amizade. Pelos grandes ensinamentos sobre minha grande paixão que é a Tecnologia de Aplicação. Suas obras me incentivaram a chegar até aqui, e onde ainda chegarei.

Ao meu coorientador, Prof. Cleyton, pelos ensinamentos e amizade nesses 10 anos de convívio, que me ensinou a superar várias rasteiras que a pesquisa nos dá. E que principalmente, esteve comigo do começo ao fim desse trabalho, nas mais de trinta avaliações de campo, no preparo e transplante das 244 mudas de cafeeiro. Serei sempre grato.

Aos meus colegas discentes que em algum momento me auxiliaram durante esse trabalho.

Ao meu amigo Gustavo Mundim, que além da amizade, disponibilizou sua propriedade para a realização de parte desse trabalho.

A Universidade Federal de Uberlândia, em principal, o Instituto de Ciências Agrárias que fomentaram a execução desse trabalho.

“Somos arquitetos do nosso próprio destino”

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO	1
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVO GERAL	4
2.1 Objetivos específicos	4
REFERÊNCIAS	5
CAPÍTULO II.....	7
RESUMO	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO	10
2. MATERIAL E METODOS	12
2.1 Delineamento experimental	13
2.2 Preparo das caldas	13
2.3 Metodologia de aplicação	14
2.4 Parâmetros avaliados.....	15
2.5 Análise estatística.....	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
Experimento I.....	19
Experimento II.....	29
4. CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS	43
CAPÍTULO III	47
RESUMO	48
ABSTRACT	49
1. INTRODUÇÃO	50
2. MATERIAL E MÉTODOS	52
2.1 Delineamento experimental	53
2.2 Preparo das caldas	54
2.3 Metodologia de aplicação	54
2.4 Variáveis analisadas	55
2.5 Análises estatísticas.....	56
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
Experimento I.....	58
Experimento II.....	69
4. CONCLUSÕES	76
REFERÊNCIAS	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS	79

RESUMO

ZAMPIROLI, RENAN. **Deriva simulada do herbicida dicamba em plantas de *Coffea arabica* L.** 2023. 79 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

O Brasil destaca-se na produção de café, sendo o maior produtor e exportador do produto. Essa cultura, de grande importância para a economia, pode vir a sofrer interferências de cultivos adjacentes ao longo de todo seu ciclo, desde o início de cultivo até em estágio de pleno desenvolvimento produtivo. Essas interferências podem ser as mais diversas possíveis, tendo destaque a deriva de pesticidas, principalmente a deriva de herbicidas não seletivos ao cafeeiro. Visto que o processo de aplicação de pesticidas é rotineiro, a deriva é um fator a ser considerado em todo processo. Dentre os mais diversos herbicidas utilizados na agricultura, recebe destaque o dicamba e o glifosato, esses muitas vezes utilizados em aplicações conjuntas. Porém, um dos desafios da utilização do dicamba é a fitotoxicidade causada nas culturas não alvos da aplicação em situação de deriva, seja por volatilização do ativo, seja por deriva direta de gotas pulverizadas. Diversos são os estudos avaliando os efeitos fitotóxicos desse ativo sobre as mais diversas espécies vegetais, porém ainda são poucos os estudos voltados ao cafeeiro, em situação de deriva de dicamba. Dessa forma, objetivou-se com o estudo o entendimento dos efeitos fitotóxicos ocasionados pela deriva simulada do herbicida dicamba isolado e em mistura com glifosato sobre a cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), cultivar Mundo Novo, correlacionando-os com efeitos na produtividade e características biométricas em plantas em estágio produtivo e em estágio inicial de desenvolvimento. Para tal foram executados dois experimentos a campo, o primeiro avaliando os parâmetros fitotóxicos visuais, biométricos e produtivos em situação de área comercial em produção. O segundo foi executado buscando o entendimento dos efeitos dos tratamentos empregados sobre plantas em estágio inicial de desenvolvimento, avaliando-se parâmetros fitotóxicos visuais e características biométricas. Ambos os experimentos foram conduzidos em duplicata (experimento I e experimento II), em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial $2 \times 5 + 1$, com 4 repetições, onde foram consideradas duas composições de calda de herbicidas (dicamba e dicamba + glifosato) e cinco subdoses (0,25; 1; 5; 10 e 20%) baseadas na dose cheia de 560 g e.a. ha⁻¹ de dicamba (ácido 3,6-dicloro-o-anisico), e 1.000 g e.a. ha⁻¹ de glifosato, além de um tratamento adicional considerado como testemunha. Pelos resultados obtidos, não foi possível observar morte das plantas submetidas à deriva simulada, independente das subdoses utilizadas e estágio de desenvolvimento da planta. A deriva simulada de dicamba isolado e em mistura ao glifosato em plantas em estágio produtivo não ocasionou redução de produtividade e rendimento. No entanto, foram observadas alterações na classificação de peneiras, com maiores danos atrelados a elevação das subdoses empregadas. Em relação aos efeitos visuais observados em mudas, a ação do herbicida dicamba apresentou sintoma semelhante a outras culturas agrícolas. Os principais efeitos fitotóxicos visuais observados foram: epinastia foliar em estágio inicial no primeiro par de folhas com curvatura em direção ao ramo ortotrópico da planta, seguida da alteração de distância de internódios, com deformação drástica do formato de folhas jovens em comprimento e largura, e necrose na bordadura de folhas.

Palavras-chaves: fitotoxicidade; ácido 3,6-dicloro-o-anisico; epinastia foliar; cafeeiro.

ABSTRACT

ZAMPIROLI, RENAN. **Simulated drift of the herbicide dicamba in *Coffea arabica* L.** 2023. 79 p. Thesis (Doctorate in agronomy) - Institute of Agricultural Sciences - Federal University of Uberlandia, Uberlandia, 2023.

Brazil stands out in coffee production, being the largest producer and exporter of the product. This crop, of great importance for the economy, may suffer interference from adjacent crops throughout its entire cycle, from the beginning of cultivation to the stage of full productive development. These interferences can be as diverse as possible, highlighting the drift of pesticides, mainly the drift of non-selective herbicides to the coffee tree. Since the pesticide application process is routine, drift is a factor to be considered in every process. Among the most diverse herbicides used in agriculture, dicamba and glyphosate are highlighted, which are often used in joint applications. However, one of the challenges of using dicamba is the phytotoxicity caused in crops not targeted by the application in a situation of drift, either by volatilization of the active, or by direct drift of sprayed drops. There are several studies evaluating the phytotoxic effects of this active on the most diverse plant species, but there are still few studies focused on coffee trees, in a situation of dicamba drift. Thus, the aim of this study was to understand the phytotoxic effects caused by the simulated drift of the herbicide dicamba alone and in a mixture with glyphosate on the coffee crop (*Coffea arabica* L.), cultivar Mundo Novo, correlating them with effects on productivity and biometric characteristics in plants in the productive stage and in the initial stage of development. For this, two field experiments were carried out, the first evaluating the visual, biometric, and productive phytotoxic parameters in a commercial area in production. The second was carried out seeking to understand the effects of the treatments used on plants at an early stage of development, evaluating visual phytotoxic parameters and biometric characteristics. Both experiments were conducted in duplicate (experiment I and experiment II), in a randomized block design, in a $2 \times 5 + 1$ factorial scheme, with 4 replications, where two herbicide mixture compositions (dicamba and dicamba + glyphosate) were considered and five subdoses (0.25; 1; 5; 10 and 20%) based on the full dose of 560 g a.e. ha⁻¹ of dicamba (3,6-dichloro-o-anisic acid), and 1,000 g a.e. ha⁻¹ of glyphosate, in addition to an additional treatment considered as a control. From the results obtained, it was not possible to observe the death of the plants submitted to simulated drift, regardless of the subdoses used and the stage of plant development. The simulated drift of dicamba alone and mixed with glyphosate in plants at the productive stage did not cause a reduction in productivity and yield. However, alterations in the classification of sieves were observed, with greater damage linked to the increase in subdoses used. Regarding the visual effects observed in seedlings, the action of dicamba herbicide presented similar symptoms to other agricultural crops. The main visual phytotoxic effects observed were foliar epinasty in the initial stage in the first pair of leaves with curvature towards the orthotropic branch of the plant, followed by alteration in the distance of internodes, with drastic deformation of the shape of young leaves in length and width, and necrosis at the leaf margins.

Keywords: phytotoxicity; 3,6-dichloro-o-anisic acid; leaf epinasty; coffee tree.

1. INTRODUÇÃO

A produção de café ganha destaque no cenário nacional, sendo o país o maior produtor e exportador e segundo maior consumidor do dessa commodity de alto valor agregado (Zampiroli *et al.*, 2020). Por ser uma cultura perene pode vir a sofrer interferências externas de cultivos adjacentes durante todo ciclo produtivo, servindo como hospedeiro alternativo de pragas e doenças e, sofrendo deriva de pesticidas aplicados em áreas próximas.

Ochoa e Maestroni (2018) definem de maneira sucinta o fenômeno deriva como o movimento de gotas pulverizadas para fora do alvo almejado. Esse fenômeno muitas vezes invisível aos olhos, porém inerente a maioria dos processos de aplicações fitossanitárias (Zimdahl, 2018) pode ocasionar entraves ambientais e produtivos a culturas não alvos da aplicação, como é o caso do cafeeiro. Gondolfo *et al.* (2013), evidenciaram perdas de ingrediente ativo próximas a 30% para o ambiente em situação de deriva e, Santiago e Guazzelli (2021) afirmaram a ocorrências de 40 e 60% de perdas, tais situações dependentes de vários fatores, como condições meteorológicas, equipamento e ativo utilizado.

O processo de deriva pode ser dividido em dois tipos: exoderiva, classificada como o deslocamento do ativo para fora da área de interesse, com o ativo depositado em áreas adjacentes ao cultivo, geralmente mais agressiva ao meio ambiente e às culturas, sendo de difícil quantificação pois a deposição pode ocorrer em longas distâncias (Merani *et al.*, 2019); e endoderiva, essa classificada pelo deslocamento do ativo para fora do alvo almejado, mas dentro da própria área de cultivo, com perdas principalmente para o solo (Côvre *et al.*, 2020; Merani *et al.*, 2019).

Visto que o processo de aplicação de pesticidas é rotineiro, a deriva é um fator a ser considerado em todo processo. O crescente avanço da agricultura é notório, junto a isso, a preocupação com o uso de pesticidas no que diz respeito a contaminação ambiental e humana acompanha essa ascensão (Fessler *et al.*, 2021). A utilização de pesticidas no processo produtivo é indispensável, devido aos entraves produtivos causados por insetos pragas, doenças e plantas daninhas, podendo essas ocasionar redução de produtividade de até 90% quando não utilizando técnicas adequadas de manejo (Rüdel *et al.*, 2021).

Diversos são os ingredientes ativos utilizados na agricultura, onde a exemplo, uso de um único herbicida pode ocasionar o controle total das espécies invasoras presentes na área (Freitas *et al.*, 2018). Porém, o uso desses ativos nem sempre são posicionados de forma correta (Melo *et al.*, 2019) com falhas rotineiras no processo de aplicação, essas podendo acarretar diversos entraves, não só a cultura alvo, como também a áreas adjacentes a aplicação.

Dentre os mais diversos herbicidas utilizados, o glifosato se destaca devido ao seu amplo espectro de controle. Porém, seu uso contínuo e com problemas inerentes a tecnologia de aplicação acarretou a seleção de populações com tolerância e resistências de algumas espécies de plantas daninhas (Melo *et al.*, 2019), o que favoreceu o aumento do uso de herbicidas, a exemplo o dicamba e 2,4-D (Osipe *et al.*, 2017). O emprego de cultivares de soja resistentes aos herbicidas dicamba e glifosato, como é o caso da tecnologia Intacta 2 Xtend, ganha espaço no mercado nacional, com isso, o uso desses ativos no manejo de plantas daninhas em aplicação conjunta é ascendente.

Entretanto, um dos gargalos da utilização do dicamba é a fitotoxidez causada nas culturas não alvos da aplicação (Mohseni-Moghadam; Doohan, 2015; Knezevic; Osipitan; Scott, 2018; Dixon *et al.*, 2021). De maneira geral, por agir no desbalanço de auxina da planta, um dos sintomas ocasionados pela deriva desse ingrediente ativo é a epinastia foliar (curvatura e enrolamento), resultado de uma desordem hormonal de auxina (Kelley; Riechers, 2007). A exemplo, lesões severas na cultura da uva, quando utilizado 1/30 da dose usual foram constatadas por Mohseni-Moghadam *et al.* (2016). Logo, a utilização desse ativo pode se tornar limitante devido a probabilidade de ocasionar danos em culturas próximas a área de aplicação.

A proximidade espacial de culturas anuais a lavouras cafeeiras faz com que a deriva de herbicidas se torne um ponto de atenção. Por se tratar de uma cultura sensível pode sofrer danos diretos e indiretos durante o ano agrícola. A exemplo, Soltani *et al.* (2020) avaliando a deriva de dicamba na América do Norte observaram danos a soja não resistente a distância superior a 100 metros do local de aplicação. No entanto, ainda são poucos os estudos de avaliação dos efeitos ocasionados pelo dicamba sobre a cultura do café. Diversos trabalhos como, Yamashita *et al.* (2013), Reis *et al.* (2018) e Freitas *et al.* (2018) avaliaram a deriva do herbicida glifosato e seus efeitos sobre o cafeeiro, observaram danos vegetativos e redução de produtividade.

Na maioria das recomendações de aplicação de dicamba, segue em conjunto a recomendação da aplicação do glifosato, buscando assim, o controle de plantas com resistência/tolerância ao glifosato. A prática de mistura em tanque, a partir da publicação da Instrução Normativa IN40 de 11 de outubro de 2018 (Brasil, 2018) foi regulamentada em território nacional, o que corrobora para o aumento de uso de aplicações em conjunto desses ativos no manejo de plantas daninhas. Assim, o entendimento dos danos deletérios sobre a cultura do cafeeiro em uma situação de deriva desses ativos é fundamental.

Além disso, um ponto que deve ser considerado na avaliação da deriva, é a necessidade de interpretação visual dos danos ocasionados pelo dicamba na cultura do cafeeiro, visando o

embasamento científico e prático por profissionais de campo, facilitando-se laudos agrônômicos e tomadas de decisões, com a redução de danos à cultura.

2. OBJETIVO GERAL

Objetivou-se com o estudo avaliar o efeito da deriva de dicamba e glifosato em características fitotécnicas de mudas e plantas adultas da cultura do café (*Coffea arabica* L.), cultivar Mundo Novo.

2.1 Objetivos específicos

- 2.1.1 Identificar e caracterizar sintomas visuais provocados pelos herbicidas dicamba e glifosato em parâmetros biométricos no cafeeiro em diferentes estádios de desenvolvimento.
- 2.1.2 Estudar os efeitos ocasionados pelos herbicidas dicamba e glifosato sobre a produtividade e classificação de peneira de frutos de café.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. [Constituição (2018)]. **Instrução Normativa nº 40, de 11 de outubro de 2018**. Brasília, DF.
- CÔVRE, P. Z.; FREITAS, I.; LOCATELLI, T.; VITÓRIA, E. L. Deposition of spray and drift in coffee conilon with different rates of application. **Brazilian Journal of Production Engineering**, [s.l.], v. 6, n. 4, p. 64–71, jun. 2020.
- DIXON, S. E.; HENRY, J. L.; VOLENBERG, D. S.; SMEDA, R. J. Simulated particle and vapor drift of dicamba to ‘vidal blanc’ hybrid grapevine under Missouri Field conditions. **Horttechnology**, [s.l.], v. 31, n. 6, p. 723-732, dez. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.21273/horttech04854-21>.
- FESSLER, L.; FULCHER, A.; SCHNEIDER, L.; WRIGHT, W. C.; ZHU, H. Reducing the nursery pesticide footprint with laser-guided, variable-rate spray application technology. **Hortscience**, [s.l.], v. 56, n. 12, p. 1572-1584, dez. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.21273/hortsci16157-21>.
- FREITAS, N. M.; FREITAS, F. C. L.; FURTADO, I. F.; TEIXEIRA, M. F. F.; SILVA, V. F. Herbicide mixtures to control dayflowers and drift effect on coffee cultures. **Planta Daninha**, [s.l.], v. 36, p. 1-9, 10 jul. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582018360100047>.
- KELLEY, K. B.; RIECHERS, D. E. Recent developments in auxin biology and new opportunities for auxinic herbicide research. **Pesticide Biochemistry And Physiology**, [s.l.], v. 89, n. 1, p. 1-11, set. 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2007.04.002>.
- KNEZEVIC, S. Z.; OSIPITAN, O. A.; SCOTT, J. Sensitivity of grape and tomato to micro-rates of dicamba-based herbicides. **Journal Of Horticulture**, [s.l.], v. 05, n. 01, p. 1-5, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4172/2376-0354.1000229>.
- MELO, M. S. C.; ROCHA, L. J. F. N.; BRUNHARO, C. A. C. G.; NICOLAI, M.; TORNISIELLO, V. L.; NISSEN, S. J.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Sourgrass resistance mechanism to the herbicide glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 37, p.1-12, 6 maio 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582019370100033>.
- MERANI, V. H.; MUR, M.; RAMIREZ, F.; PONCE, M. J.; GUILINO, F.; PALANCAR, T. C. Efecto de variables operativas sobre la calidad de aplicación y la deriva en la pulverización de agroquímicos. **Agriscientia**, [s.l.], v. 36, n. 2, p. 45-55, 25 dez. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31047/1668.298x.v36.n2.19093>.
- MOHSENI-MOGHADAM, M.; DOOHAN, D. Response of bell pepper and broccoli to simulated drift rates of 2,4-D and dicamba. **Weed Technology**, [s.l.], v. 29, n. 2, p. 226-232, jun. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1614/wt-d-14-00105.1>.
- OCHOA, V.; MAESTRONI, B. Pesticides in water, soil, and sediments. **Integrated Analytical Approaches For Pesticide Management**, [s.l.], p. 133-147, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-816155-5.00009-9>.

OSIPE, J. B.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; TAKANO, H. K.; BIFFE, D. F. Spectrum of weed control with 2,4-D and dicamba herbicides associated to glyphosate or not. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 35, p.1-12, 4 set. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582017350100053>.

RÜDELL, E. C.; PETROLI, I. D. S.; SANTOS, F. M.; FRANDALOSO, D.; SILVA, D. R. O. Weed interference capacity on soybean yield. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, [s.l.], v. 74, n. 2, p. 9541-9547, 1 maio 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v74n2.89705>.

SANTIAGO, H.; GUAZZELLI, T. Simulação de perda por evaporação com diferentes caldas e adjuvantes agrícolas. **Agrarian Academy**, [s.l.], v. 8, n. 16, p. 70-80, 30 dez. 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.18677/agrarian_academy_2021b7.

SOLTANI, N.; OLIVEIRA, M. C.; ALVES, G. S.; WERLE, R.; NORSWORTHY, J. K.; SPRAGUE, C. L.; YOUNG, B. G.; REYNOLDS, D. B.; BROWN, A.; SIKKEMA, P. H. Off-target movement assessment of dicamba in North America. **Weed Technology**, [s.l.], v. 34, n. 3, p. 318-330, 31 jan. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/wet.2020.17>.

YAMASHITA, O. M.; ORSI, J. V. N.; RESENDE, D. D.; MENDONÇA, F. S.; CAMPOS, O. R.; MASSAROTO, J. A.; CARVALHO, M. A. C.; KOGA, P. S.; PERES, W. M.; ALBERGUINI, A. L. Deriva simulada de herbicidas em mudas de *Coffea canephora*. **Scientia Agraria Paranaensis**, [s.l.], v. 12, n. 2, p. 148-156, 30 jun. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v12n2p148-156>.

ZAMPIROLI, R.; ALVARENGA, C. B.; RINALDI, P. C. N.; ANDALÓ, V.; PRADO, J. R.; GONÇALVES, P. A. S. Effectiveness of coffee leaf miner control associated with spray deposition in coffee leaves. **Revista Ceres**, [s.l.], v. 67, n. 5, p. 395-401, out. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x202067050007>.

ZIMDAHL, R. L. Herbicides and plants. **Fundamentals Of Weed Science**, [s.l.], p. 417-443, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-811143-7.00014-7>.

CAPÍTULO II

EFEITOS FITOTÓXICOS DA DERIVA SIMULADA DO HERBICIDA DICAMBA EM LAVOURA CAFEIRA

EFEITOS FITOTÓXICOS DA DERIVA SIMULADA DO HERBICIDA DICAMBA EM LAVOURA CAFEEIRA

RESUMO

Dentre as culturas cultivadas, a produção de cafés recebe destaque no território brasileiro, sendo o país o maior produtor e exportador da commodity. Por ser uma cultura perene pode vir a sofrer interferências externas ao cultivo, a exemplo a deriva de pesticidas. Visto a necessidade de manejo de plantas daninhas nos cultivos agrícolas, o uso de ativos específicos para tal é comum no território brasileiro. Com o advento da transgenia em culturas como milho, soja e algodão, a utilização de herbicidas de amplo espectro de controle é crescente, como é o caso do dicamba e glifosato. Diante disso, a preocupação com os efeitos deletérios da ação de herbicidas sobre o cafeeiro é crescente, visto a falta de informações pertinentes aos efeitos fitotóxicos do herbicida dicamba sobre a cultura. Com isso, objetivou-se com o presente estudo avaliar os efeitos fitotóxicos do herbicida dicamba isolado e em mistura com glifosato em relação a parâmetros de fitotoxidez, biométricos e produtivos do cafeeiro em condição de deriva simulada em área comercial. As avaliações foram conduzidas área comercial no município de Monte Carmelo – MG. O experimento foi conduzido em um talhão com a cultivar Mundo Novo com quatro anos de idade, com as aplicações realizadas nos meses de novembro (experimento I) e dezembro (experimento II) do ano de 2020, visando a realização de duplicata experimental em diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos do café. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial $2 \times 5 + 1$, com 4 repetições, onde foram consideradas duas composições de calda de herbicidas (dicamba e dicamba + glifosato) e cinco subdoses (0,25; 1; 5; 10 e 20%) delineadas a partir da dose cheia de 560 g e.a. ha⁻¹ de dicamba (ácido 3,6-dicloro-o-anisico), e 1.000 g e.a. ha⁻¹ de glifosato, além de um tratamento testemunha. Foram realizadas avaliações de danos fitotóxicos, empregando-se escala de notas de 0 a 100%, aos 7, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação. Além das análises visuais foram realizadas avaliações de parâmetros biométricos e parâmetros inerentes a produtividade. A deriva de dicamba isolado e em mistura ao glifosato provocou danos visuais ao cafeeiro nos primeiros dias após aplicação. Os principais sintomas observados foram: epinastia de folhas novas, alteração da distância de internódios, além de curvatura do ramo plagiotrópico. O incremento de subdoses acarretou redução da taxa de crescimento para altura de planta e comprimento de ramos. A simulação de deriva de dicamba isolado ou em mistura com glifosato em cafeeiros em estágio produtivo não ocasionou redução de produtividade e rendimento no presente estudo, porém foram observadas alterações nas classificações físicas de grãos distintas de acordo com a época de aplicação dos tratamentos.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.; subdoses de herbicidas; fitotoxidez.

PHYTOTOXIC EFFECTS OF SIMULATED DRIFT OF THE HERBICIDE DICAMBA ON COFFEE CROP

ABSTRACT

Among the cultivated crops, the production of coffee is highlighted in the Brazilian territory, being the country the largest producer and exporter of the commodity. As it is a perennial crop, it may suffer interference from outside the crop, such as pesticide drift. Given the need to manage weeds in agricultural crops, the use of specific assets for this is common in Brazil. With the advent of transgenic crops such as corn, soybeans and cotton, the use of broad-spectrum herbicides for control is increasing, as is the case of dicamba and glyphosate. In view of this, the concern with the deleterious effects of the action of herbicides on the coffee tree is growing, given the lack of information regarding the phytotoxic effects of the herbicide dicamba on the crop. Thus, the aim of this study was to evaluate the phytotoxic effects of the herbicide dicamba alone and in a mixture with glyphosate in relation to phytotoxicity, biometric and productive parameters of the coffee tree under simulated drift conditions in a commercial area. The evaluations were carried out in a commercial area in the municipality of Monte Carmelo - MG. The experiment was carried out in a plot with the Mundo Novo cultivar, four years old, with the applications carried out in the months of November (experiment I) and December (experiment II) of the year 2020, aiming at carrying out experimental duplicates at different stages development of coffee fruits. The experiment was conducted in a randomized block design, in a $2 \times 5 + 1$ factorial scheme, with 4 replications, where two herbicide mixture compositions (dicamba and dicamba + glyphosate) and five subdoses (0.25; 1; 5 ; 10 and 20%) drawn from the full dose of 560 g a.e. ha⁻¹ of dicamba (3,6-dichloro-o-anisic acid), and 1,000 g g a.e. ha⁻¹ of glyphosate, in addition to a control treatment. Evaluations of phytotoxic damage were carried out, using a rating scale from 0 to 100%, at 7, 15, 30, 60, 90 and 120 days after application. In addition to the visual analyses, evaluations of biometric parameters and parameters related to productivity were carried out. The drift of dicamba alone and mixed with glyphosate caused visual damage to the coffee tree in the first days after application. The main symptoms observed were: epinasty of new leaves, change in internode distance, in addition to curvature of the plagiotropic branch. The increment of subdoses led to a reduction in the growth rate for plant height and branch length. Drift simulation of dicamba alone or mixed with glyphosate in coffee trees at the productive stage did not cause a reduction in productivity and yield in the present study, however changes were observed in the physical classifications of different grains according to the time of application of the treatments.

Keywords: *Coffea arabica* L.; herbicide underdoses; phytotoxicity.

1. INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira recebe destaque graças a sua alta tecnificação o que agrega valor à produção. O país é o maior produtor e exportador mundial de café e segundo maior consumidor do produto. Por ser uma cultura perene pode vir a sofrer interferências externas de cultivos adjacentes, a exemplo a deriva de pesticidas.

Da mesma forma, a produção agrícola mundial ao longo de todo ciclo sofre interferências de insetos pragas, doenças e plantas infestantes, para isso a utilização de técnicas de manejo são de suma importância (Kubiak *et al.*, 2021). Os mesmos autores citam um prejuízo mundial de aproximadamente 32 milhões de dólares causados pela interferência de plantas infestantes sobre as culturas agrícolas, com isso, o manejo eficiente da comunidade invasora deve ser priorizado durante o ano agrícola.

Visto a necessidade de manejo dessas invasoras, o uso de ingredientes ativos específicos para tal é comum no território brasileiro. Com o advento da transgenia de culturas, como milho, soja e algodão, o aumento de uso de herbicidas de amplo espectro de controle é ascendente (Dintelmann *et al.*, 2019), porém o uso indiscriminado desses produtos, aliados a falta e conhecimento em tecnologia de aplicação, podem contribuir para um aumento da indução de tolerância e/ou resistência de plantas daninhas a herbicidas (Melo *et al.*, 2019), além de interferir diretamente no processo produtivo como também na qualidade do grão colhido (Özlüoymak, 2022).

Uma das culturas que mais utilizam esses herbicidas hormonais é a soja. O cultivo de soja transgênica tolerante a herbicidas como glifosato, 2,4D e glufosinato é um dos mais importantes no Brasil, e representava cerca de 68,3% da área cultivada com soja no país no ano de 2018 (ISAAA, 2019). Recentemente uma nova tecnologia foi inserida no mercado, e tem conquistado um grande espaço nas lavouras comerciais. Essa tecnologia é conhecida como a plataforma Intacta 2 Xtend, no qual as cultivares de soja além de serem tolerantes a glifosato, também são tolerantes ao herbicida dicamba (Bayer, 2021).

Um dos desafios da aplicação do dicamba é a deriva para áreas adjacentes ao cultivo (Bish *et al.*, 2019), como é o caso do cafeeiro. Áreas produtoras de café no Cerrado Mineiro e Alto Paranaíba, se caracterizam por estarem próximas a produção de cereais, como soja, milho, entre outras, as quais utilizam diversos tipos de herbicidas ao longo do ciclo, como é o caso do dicamba. Esse tendo maior pressão de vapor como característica da molécula, possui maior potencial de volatilização, influenciada pela ação das condições meteorológicas, parâmetros da

tecnologia de aplicação (pontas, adjuvantes, volume de calda etc.), além da formulação comercializada (Oseland *et al.*, 2020; Dintelmann *et al.*, 2019; Alves *et al.*, 2017).

Fatores climáticos e operacionais devem ser levados em consideração durante e após a aplicação dos pesticidas, resultando em maiores ou menores níveis de deriva, fato esse evidenciado em diversos trabalhos (Moraes *et al.*, 2021; Vieira *et al.*, 2020; Perine *et al.*, 2021).

A deriva é um fenômeno que pode ser entendido como o movimento do ingrediente ativo para fora do alvo almejado (Steenwyk *et al.*, 2020). Cunha (2008) e Martini *et al.* (2015) ressaltaram que gotas com diâmetro maior que 500 μm estão menos sujeitas à deriva comparadas a gotas com diâmetro inferior a 50 μm , essas mais sujeitas a evaporação e deslocamentos laterais ocasionado pelo vento. Existem dois tipos básicos de deriva: por escorrimento e aerotransportada, essa segunda é a mais arriscada para as aplicações com dicamba em virtude da alta probabilidade de volatilização da molécula (Jones *et al.*, 2019).

Mueller, Wright e Remund (2013), utilizando ácido dimetilamina (DMA) e diGlycolamina (DGA) demonstraram a menor susceptibilidade de DGA à volatilização. Jones *et al.* (2019), utilizando diferentes formulações de dicamba, determinaram que a formulação com o ativo bis-aminopropil metalamina (BAPMA), apresenta menor atividade de volatilização comparada a formulação com ativo sal de dicamba (DGA).

Handa *et al.* (2020) em seu trabalho observaram os efeitos de subdoses de dicamba e 2,4-D em pepino e melão, onde puderam observar resíduos dos ativos após a colheita dos frutos e sintomas severos de fitotoxicidade para ambas as culturas.

Outros autores também relatam os efeitos deletérios de herbicidas na cultura do café, como glifosato, 2,4-D, entre outros (Reis *et al.*, 2018; Yamashita *et al.*, 2013). Entretanto os efeitos da fitotoxicidade causada pelo herbicida dicamba na cultura ainda são desconhecidos. Os efeitos deletérios de herbicidas sobre as plantas não alvos podem variar desde uma clorose nas folhas, evoluindo para uma deformação estrutural e até a morte da planta, esses dependentes do modo de ação do ativo, dose, estágio vegetativo da cultura e condições edafoclimáticas (Yamashita *et al.*, 2013). Logo, o entendimento dos efeitos ocasionados pela deriva do dicamba e em mistura com glifosato é fundamental para constatação *in loco* e auxiliar na tomada de decisão de manejo.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente estudo avaliar os efeitos fitotóxicos do herbicida dicamba isolado e em mistura com glifosato em decorrência de deriva simulada em área comercial produtora de café.

2. MATERIAL E METODOS

As atividades foram conduzidas em área comercial, na fazenda Jataí II, situada no município de Monte Carmelo – MG, localizada nas coordenadas -18,884471S e -47,351121O, com 956 metros de altitude em relação ao nível do mar. O solo da área é caracterizado como latossolo vermelho distrófico (Embrapa, 2013). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo AW - tropical quente úmido, com inverno frio (15-16 °C) e seco. As médias anuais de precipitação e temperatura são de 1.400 mm e 23°C, respectivamente, de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (Embrapa, 2019).

A simulação de deriva em plantas adultas de café em estágio produtivo foi realizada em uma área irrigada via gotejo, com plantas de café da cultivar Mundo Novo, com quatro anos de idade, no segundo ano de produção. A área apresentava população de 3.508 indivíduos ha⁻¹, em espaçamento de plantio 3,8 m entre linhas x 0,75 m entre plantas e, com altura e diâmetro de copa médio observados antes do início do experimento de 1,69 e 1,47 m, respectivamente (Imagem 1).



Imagem 1. Cafeeiros em estágio produtivo conduzidos com sistema irrigação via gotejamento.

O manejo cultural e fitossanitário da área foi mantido de acordo com o padrão utilizado na fazenda, com manejo de doenças, insetos pragas, plantas infestantes e manejo nutricional tanto via solo como também via folha.

2.1 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em duplicata (experimento I e experimento II), em delineamento de blocos casualizados ao acaso, no esquema fatorial $2 \times 5 + 1$, com 4 repetições, onde foram consideradas duas composições de calda de herbicidas (dicamba e dicamba + glifosato) e cinco subdoses (0,25; 1; 5; 10 e 20%) dos respectivos ativos e, como testemunha, sem aplicação.

As parcelas experimentais foram constituídas por cinco plantas, as duas plantas das extremidades consideradas bordaduras, e as três centrais consideradas úteis. Parcelas essas espaçadas por 20 plantas na linha (15 metros) e 7,6 metros entre blocos.

Para o preparo das caldas dos tratamentos propostos, foram consideradas, uma dose de 560 g e.a. ha⁻¹ de dicamba (ácido 3,6-dicloro-o-anísico), produto comercial Atectra® (BASF SA, Brasil), e 1.000 g e.a. ha⁻¹ de glifosato (sal potássico de N-(phosphonomethyl) glycine), produto comercial Zapp QI620 (Syngenta SA, Brasil), nas respectivas subdoses (Tabela 1).

Tabela 1. Tratamentos experimentais propostos

Tratamento	Calda	Subdose (%)
T1	Dicamba	0,25
T2	Dicamba	1
T3	Dicamba	5
T4	Dicamba	10
T5	Dicamba	20
T6	Dicamba + Glifosato	0,25 + 0,25
T7	Dicamba + Glifosato	1 + 1
T8	Dicamba + Glifosato	5 + 5
T9	Dicamba + Glifosato	10 + 10
T10	Dicamba + Glifosato	20 + 20
T11(testemunha)	0	0

2.2 Preparo das caldas

Para o preparo das caldas, as doses foram calculadas com base em um volume de 2 litros, necessário para abastecimento das garrafas pets utilizadas como reservatórios do pulverizador (Tabela 2).

Tabela 2. Subdoses dos herbicidas utilizadas na simulação da deriva e suas respectivas diluições

Subdose (%)	g e.a. ha ⁻¹		μL do p.c. *	
	dicamba	glifosato	dicamba	glifosato
0,25	1,4	2,5	39	67
1	5,6	10	155	267
5	28	50	777	1333
10	56	100	1555	2667
20	112	200	3109	5333

e.a. - equivalente ácido. * - volume em μL do produto comercial para o preparo de dois litros de calda (reservatório do Pulverizador CO₂).

2.3 Metodologia de aplicação

A aplicação foi realizada nos meses de novembro (experimento I) e dezembro (experimento II) do ano de 2020, realizada em duplicata experimental em diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos do café, chumbinho - quando os frutos não apresentavam crescimento visível, e a fase de expansão de frutos - frutos com expansão de tamanho visível (Pezzopane *et al.*, 2003) (Imagem 2).



Imagem 2. Estádio de desenvolvimento dos frutos no momento da aplicação dos tratamentos. A – Chumbinho; B – Expansão de frutos.

Para a aplicação dos tratamentos foi utilizado um pulverizador costal pressurizado, com reservatório de CO₂ com capacidade de carga de 2 kg, com reservatório de calda tipo garrafa pet de dois litros (Herbicat, São Paulo, Brasil). A barra de aplicação foi equipada com um bico, onde foi instalada ponta tipo leque modelo GRD 12002 (Hypro Pentair, Minnesota, EUA), ângulo de abertura do jato de 120° e vazão nominal de 0,757 L min⁻¹ a 280 kPa, com produção de espectro de gotas finas a muito finas, segundo o fabricante.

Na aplicação, a ponta foi mantida a 0,5 m de distância da copa das plantas do café, com a aplicação executada a fim de cobrir toda a área foliar das plantas com movimento para cima e para baixo, em ambos os lados. A condição de trabalho foi mantida buscando uma taxa de aplicação de 150 L ha⁻¹, com aproximadamente 42,75 mL planta⁻¹.

As condições meteorológicas em ambos os campos foram monitoradas em tempo real com auxílio de um termo-higro-anemômetro modelo LM-800 (Instrutherm, São Paulo, Brasil) (Tabela 3).

Tabela 3. Condições médias meteorológicas durante as aplicações dos tratamentos propostos

Campo	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Velocidade do vento (m s ⁻¹)
I	23,6	85	0,8
II	26,7	71	1,9

2.4 Parâmetros avaliados

Foi realizada avaliação de danos, empregando-se escala de notas adaptada de França et al. (2013), com escala de notas de 0 a 100%, onde 0 se remetia à planta sem nenhum sintoma, 10-30% às folhas com sintomas visuais com mudança de formato do limbo foliar, 40-60% aos danos foliares com necrose do tecido vegetal e 70-100% à morte das gemas apicais e necrose generalizada do ramo, onde 100% classificariam morte da planta. As avaliações foram realizadas aos 7, 15, 30, 60, 90 e 120 DAA (dias após a aplicação), observando-se as 3 plantas centrais da parcela de forma a se obter a condição média de sintoma. Junto a essa avaliação foi procedida a descrição de sintomas por meio de anotação.

As demais variáveis analisadas e respectivas metodologias foram realizadas seguindo metodologia adaptada de Dubberstein et al. (2020). Onde, com auxílio de um trena rígida determinou-se a altura de planta tomando a altura das três plantas centrais da parcela, considerando o ponto ao nível do solo até a gema apical e diâmetro de copa foi determinado o

diâmetro médio de copa, através da medida entre extremidades dos ramos plagiotrópicos do terço médio da planta; com auxílio de uma trena flexível foi determinado o comprimento de ramo no terço médio nas três plantas centrais da parcela, em ambos os lados da planta, do ponto de inserção no ramo ortotrópico até o ponto de crescimento do ramo e número de internódios - nos mesmos ramos onde foi determinado o comprimento de ramo foi realizada a contagem direta do número de internódios. Essas procedidas aos 0, 30, 60, 90 e 120 DAA e, pôr fim ao final do experimento foi calculada taxa de crescimento de cada variável biométrica avaliada por meio da diferença entre o crescimento dentro do período sobre o tempo correspondente, onde taxa de crescimento = (Crescimento final – Crescimento inicial) / tempo de quatro meses.

Ao final do experimento foram realizadas avaliações de parâmetros produtivos, seguindo metodologia adaptada de Fernandes et al. (2020) e Vicente et al. (2017). Para melhor controle, a colheita das parcelas foi realizada manualmente quando a porcentagem de frutos verdes era inferior a 20%, seguindo metodologia adaptada Gallet et al. (2022). Após a colheita do volume total produzido em cada parcela, foi separada uma amostra de 6 L, para proceder as análises pós-colheita. Simultaneamente foi retirada uma amostra representativa de aproximadamente 100 mL de cada parcela para determinação dos estádios de maturação (verde, verde-cana, cereja, passa e seco) por meio da contagem direta e posteriormente o valor calculado em porcentagem.

Essa amostra de 6 L foi acondicionada em sacos de rede de polietileno, com secagem realizada em terreiro suspenso até atingir umidade de 12%, aferida em um medidor de umidade modelo G800 (Gehaka, São Paulo, Brasil). Em seguida foram determinados a massa do café seco, utilizando balança semi-analítica modelo BL3200H (Shimadzu, São Paulo, Brasil), e o volume da amostra, aferido com proveta graduada de 1000 mL. Posteriormente, as amostras foram beneficiadas utilizando beneficiadora de amostras, modelo DRC-1 (Carmomaq, São Paulo, Brasil), e novamente feita a determinação de massa e volume. Em seguida foi determinada a umidade das amostras para correção das massas.

Com base na relação do volume da amostra de 6 L do café colhido e da massa da amostra beneficiada, foi determinada a produção por parcela, posteriormente extrapolada para produtividade em sacas de 60 kg ha⁻¹. Também foram avaliados parâmetros de rendimento: café da roça - volume de café colhido ainda maduro, para gerar um kg de café beneficiado, e café seco - volume de café após secagem, para gerar um kg de café beneficiado.

A classificação física quanto ao tamanho e formato dos grãos foi realizada seguindo metodologia descrita na Legislação Brasileira (MAPA, 2003), utilizando uma amostra de 100 g de café beneficiado e um conjunto de peneiras de crivos circulares (18, 17, 16, 15, 14 e 13/64

avos de polegada) e de crivo oblongo (13, 12, 11, 10, 9 e 8/64 avos de polegada). Onde as peneiras de crivo circulares retinham os grãos tipo chato, enquanto as de crivo oblongo separavam os grãos tipo moca. Dessa forma, realizou-se a separação nas seguintes categorias: chato graúdo - peneiras 18 e 17; chato médio - peneiras 16 e 15; chato miúdo peneira 14 e menores; moca graúdo - peneiras 13, 12 e 11; moca médio peneira 10 e moca miúdo: peneira 9 e menores.

2.5 Análise estatística

A normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias analisadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), realizada análise de regressão para estudo das subdoses dos produtos, teste F para comparação das médias dos fatores qualitativos, e teste de Dunnett para comparações das médias dos fatores qualitativos com a testemunha. Para isso foi utilizado software de análises estatísticas R (R CORE TEAM, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais sintomas visuais observados com a deriva simulada de dicamba e dicamba + glifosato sobre a cultura do cafeeiro em estágio produtivo, podem ser observados na Imagem 3. Não foram notados sintomas como necrose de folhas e ramos, tão pouco morte da planta para nenhum dos tratamentos de herbicidas empregados.



Imagem 3. Sintomas da deriva simulada de dicamba e dicamba + glifosato na cultura do café em estágio produtivo. (A) Ramo e folhas sem sintomas. (B) Epinastia no primeiro par de folha. (C) epinastia e alteração morfológica de folhas novas. (D) alongamento de internódios, com deformação drástica do formato de folhas jovens em comprimento e largura e, deformação da curvatura do ramo plagiotrópico próximo ao ponto de crescimento.

As plantas apresentaram sintomas característicos da ação de herbicidas auxínicos devido ao aumento anormal da auxina, o que ocasiona divisão celular acelerada e desordenada (D'antonino *et al.*, 2012). Esses sintomas observados corroboram com os encontrados por Voltolini *et al.* (2019), avaliando efeitos da deriva de 2,4-D sobre o cafeeiro, relataram epinastia foliar nos primeiros dias após a aplicação, com deformação do limbo foliar em comprimento e largura. Os mesmos autores observaram curvatura do ramo ortotrópico, o que não foi observado nesse trabalho, apenas ocorrendo nos ramos plagiotrópicos em doses superiores a 5%, fato esse possivelmente explicado pela capacidade de metabolização dos ativos em plantas adultas, o que difere do referido onde os autores utilizaram plantas em estágio inicial de desenvolvimento.

Experimento I

Independente da data de avaliação, calda e subdoses empregadas mostraram efeitos para fitotoxidez, com interação significativa aos 90 e 120 DAA para composição de calda e subdoses utilizadas. Em relação à interação entre os fatores testados e a testemunha, observou-se efeito em todos os períodos de avaliações (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para percentual de fitotoxidez ocasionado na cultura do cafeeiro pela deriva simulada de dicamba e dicamba + glifosato em diferentes subdoses

F.V.	p-valor					
	7	15	30	60	90	120
Calda	0,001*	0,036*	0,001*	0,018*	0,001*	0,001*
Subdose	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*
Calda x Subdose	1,000	0,140	0,267	0,220	0,007*	0,007*
Adicional x Fatorial	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*
Bloco	0,147	0,059	0,520	0,720	0,741	0,106
Homogeneidade	0,043*	0,017*	0,084	0,006*	0,065	0,041*
Normalidade	0,054	0,137	0,038	0,048*	0,032*	0,021*
C.V. (%)	23,92	16,67	21,21	19,69	14,34	16,25

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). 7, 15, 30, 60, 90 e 120 = dias após a aplicação.

Nota-se efeito entre a testemunha e os tratamentos propostos em subdoses superiores a 5% de ativos independente da data de avaliação. Observou-se que quando adicionado o herbicida glifosato à calda, o efeito fitotóxico foi potencializado a partir de 7 dias após a aplicação. Aos 60 DAA, a menor subdose empregada se equiparou à testemunha, sem efeitos fitotóxicos independente da composição de calda. No tratamento dicamba a 1%, observou-se equiparação a testemunha a partir de 90 DAA, o que não foi observado na mesma subdose com a calda com glifosato em mistura (Tabela 5)

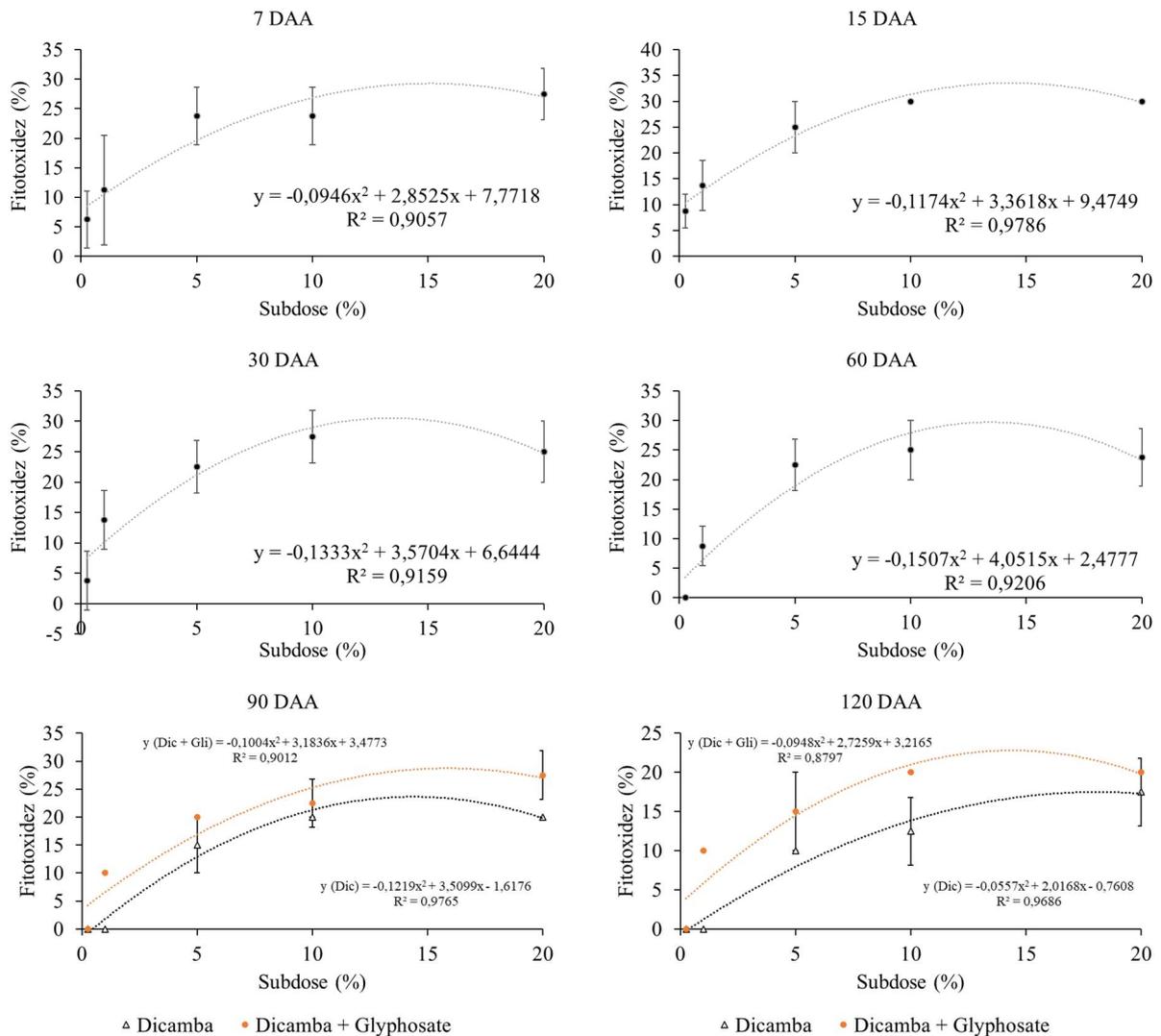
Tabela 5. Médias de fitotoxidez (%) observadas em plantas de cafeeiro após a aplicação de tratamentos de herbicidas e diferentes subdoses

Subdose (%)	Fitotoxidez (%)											
	7 DAA		15 DAA		30 DAA		60 DAA		90 DAA		120 DAA	
	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli
0,25	5,00*	7,50*	7,50*	10,00*	2,50	5,00*	0,00	0,00	0,00A	0,00A	0,00A	0,00A
1	5,00*	17,50*	10,00*	17,50*	10,00*	17,50*	7,50*	10,00*	0,00A	10,00B*	0,00A	10,00B*
5	20,00*	27,50*	22,50*	27,50*	20,00*	25,00*	20,00*	25,00*	15,00A*	20,00B*	10,00A*	15,00B*
10	20,00*	27,50*	30,00*	30,00*	25,00*	27,50*	25,00*	25,00*	20,00A*	22,50A*	12,50A*	20,00B*
20	25,00*	30,00*	30,00*	30,00*	20,00*	30,00*	20,00*	27,50*	20,00A*	27,50B*	17,50A*	20,00A*
Média	15,00A	16,50B	20,00A	23,00B	20,10A	21,00B	14,50A	17,50B	11,00	16,00	8,00	13,00
Testemunha	0		0		0		0		0		0	

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na linha, para cada época diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$). Médias seguidas de * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). Dic = dicamba; Dic + Gli = dicamba + glifosato. DAA: Dias após a aplicação.

As menores subdoses de dicamba (0,25 e 1%) apresentaram baixo efeito fitotóxico, independente da mistura com glifosato. Esse resultado pode ser explicado pela possível metabolização dos compostos pelas plantas em compostos menos tóxicos ou não tóxicos (Reddy *et al.*, 2008). A adição do glifosato à calda em doses superiores a 1%, propiciou maiores danos fitotóxicos, o que pode ser evidenciado pela má formação do limbo foliar com tendência a alongamento a partir de 7 DAA, efeito também observado por França *et al.* (2013).

As subdoses, independente da data de avaliação, ocasionaram aumento significativo nos danos fitotóxicos, com tendência polinomial para todos os períodos de avaliação, onde aos 90 e 120 DAA foi possível observar diferença significativa entre as caldas testadas (Prancha gráfica 1).



Prancha gráfica 1. Comportamento fitotóxico de subdoses de dicamba e dicamba + glifosato em diferentes épocas de avaliação após a simulação de deriva no cafeeiro em área comercial. Dic = dicamba; Dic + Gli = dicamba + glifosato.

Os dados obtidos nesse trabalho corroboram com as observações de França et al. (2012), avaliando diferentes subdoses do herbicida glifosato sobre cultivares de cafeeiro, observaram efeito polinomial no comportamento dos efeitos fitotóxicos com a elevação das subdoses empregadas. Pode-se observar que a partir da subdose de 10% (56 e 100 g e.a. ha⁻¹ de dicamba e glifosato, respectivamente), ocorreu tendência a estabilização com redução dos efeitos fitotóxicos. Reis et al. (2018) observaram danos severos ao limbo foliar de cafeeiro com a simulação da deriva de glifosato, com clorose e afinamento do limbo foliar. Além disso, os autores ressaltaram no trabalho que a translocação do glifosato no tecido vegetal é lenta, o que pode explicar os efeitos

observados nesse trabalho com diferença significativa entre as caldas utilizadas nas doses empregadas aos 90 e 120 DAA.

Independente da data de avaliação para os parâmetros biométricos, não foram observadas diferenças entre os tratamentos para o experimento I (Tabelas 6 e 8). Porém, a taxa de crescimento apresentou efeito para a variável altura de planta quanto ao tipo de composição de calda e às subdoses propostas. Já para a variável comprimento de ramo observa-se efeito apenas entre os fatores avaliados e a testemunha (Tabela 8).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para altura, diâmetro de copa e, taxa de crescimento para os respectivos, de cafeeiros submetidos a aplicação de tratamentos de herbicidas e diferentes subdoses em condição de deriva simulada

F.V.	p-valor											
	Altura de planta						Diâmetro de copa					
	0	30	60	90	120	T.C	0	30	60	90	120	T.C
Calda	0,857	0,676	0,267	0,178	0,339	0,011*	0,325	0,200	0,201	0,278	0,111	0,274
Subdose	0,944	0,347	0,290	0,145	0,054	0,001*	0,189	0,357	0,347	0,522	0,289	0,232
Calda x Subdose	0,646	0,769	0,375	0,184	0,262	0,072	0,803	0,697	0,750	0,502	0,458	0,415
Adicional x Fatorial	0,343	0,597	0,286	0,180	0,194	0,443	0,306	0,187	0,384	0,857	0,962	0,074
Bloco	0,175	0,255	0,143	0,243	0,280	0,262	0,975	0,938	0,711	0,829	0,819	0,408
Homogeneidade	0,135	0,100	0,143	0,167	0,091	0,148	0,328	0,388	0,184	0,485	0,224	0,056
Normalidade	0,793	0,086	0,062	0,063	0,068	0,619	0,618	0,325	0,147	0,788	0,755	0,406
C.V. (%)	4,66	4,34	4,20	4,00	3,95	12,43	6,29	6,58	7,29	5,92	5,63	32,46

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). T.C = taxa de crescimento. 0, 30, 60, 90 e 120 = dias após a aplicação.

A média da taxa de crescimento de altura de plantas das caldas utilizadas podem ser observadas na tabela 7. O herbicida dicamba em mistura com glifosato promoveu 11,09% de redução da taxa de crescimento, em relação a calda com apenas dicamba.

Tabela 7. Taxa de crescimento de altura (cm mês⁻¹) de cafeeiro submetidos a diferentes composições de calda de herbicidas aplicados em condição de deriva simulada

Calda	Taxa de crescimento (cm mês ⁻¹)
Dicamba	6,61a
Dicamba + Glifosato	5,95b
Testemunha	6,62

Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Essa diferença entre as taxas de crescimento pode ser explicada pela ação conjunta dos herbicidas dicamba e glifosato em sítios de ação distintos. A ação do herbicida glifosato em mistura com 2,4-D em simulação de deriva em *C. canephora* resultou em redução de crescimento, comparadas a aplicações dos ativos isolados (Yamashita *et al.*, 2013). D'Antonino *et al.* (2012) ressaltam que a exposição de plantas sensíveis aos herbicidas auxínicos ocasiona a redução na taxa de crescimento, além do favorecimento de distúrbio do aparato fotossintético e o metabolismo de ácidos nucleicos, ocasionando epinastia de folhas e ramos e morte do meristema apical em algumas situações.

O aumento da subdose dos herbicidas utilizados proporcionou redução da taxa de crescimento de altura de planta de 0,1143 cm para cada 1% de subdose empregada ao longo de quatro meses de avaliação (Gráfico 1).

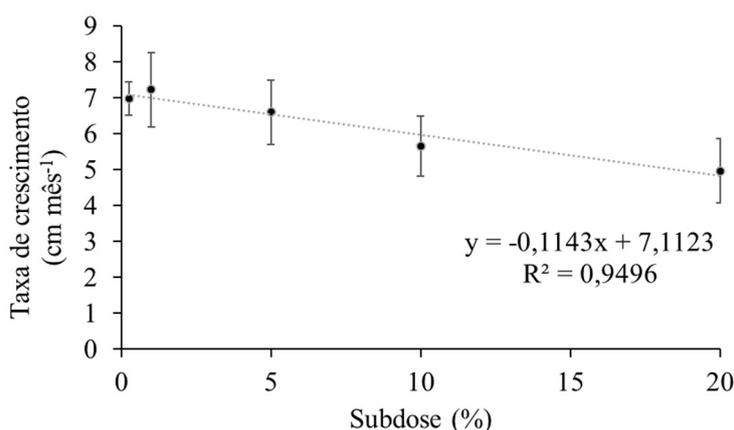


Gráfico 1. Taxa de crescimento de altura de cafeeiros (cm mês⁻¹) submetidos a diferentes subdoses de herbicidas em condição de deriva simulada.

Doses crescentes de herbicidas em culturas suscetíveis a determinados grupos químicos apresentam como característica efeitos deletérios (França *et al.*, 2013) em que as maiores doses de glifosato em simulação de deriva em cultivares *C. arabica* resultaram na redução de altura

de planta. Esse efeito pode ser potencializado em misturas com grupos de herbicidas mimetizadores de auxinas, como é o caso do dicamba. Wells, Prostko e Carter (2019) em seu trabalho com a avaliação da deriva simulada de dicamba e 2,4-D sobre a cultura da noqueira (*Carya illinoensis*), observaram danos severos no que diz respeito aos parâmetros biométricos. Como mencionado por Salomon e Brandley (2014), com o desenvolvimento e crescimento inadequado das plantas têm-se, por exemplo, a redução de número de ramificações, altura, diâmetro e área foliar, com possível comprometimento da produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, podendo interferir diretamente em parâmetros produtivos.

Observa-se na Tabela 8, que apenas a variável taxa de crescimento para comprimento de ramo apresentou diferença significativa para os fatores e a testemunha.

Tabela 8. Resumo da análise de variância para comprimento de ramo, número de internódios e, taxa de crescimento para os respectivos, de cafeeiros submetidos a aplicação de tratamentos de herbicidas e diferentes subdoses em condição de deriva simulada

F.V.	p-valor											
	Comprimento de ramo						Número de internódios					
	0	30	60	90	120	T.C	0	30	60	90	120	T.C
Calda	0,347	0,366	0,339	0,491	0,442	0,656	0,672	0,438	0,573	0,746	0,846	0,8534
Subdose	0,818	0,751	0,690	0,724	0,744	0,145	0,713	0,895	0,874	0,864	0,956	0,393
Calda x Subdose	0,996	0,999	0,996	0,999	0,995	0,218	0,878	0,976	0,967	0,908	0,765	0,072
Adicional x Fatorial	0,427	0,284	0,288	0,174	0,121	0,005*	0,202	0,296	0,213	0,109	0,156	0,646
Bloco	0,469	0,432	0,524	0,509	0,543	0,490	0,927	0,964	0,935	0,836	0,925	0,345
Homogeneidade	0,232	0,648	0,652	0,752	0,661	0,070	0,935	0,954	0,930	0,947	0,985	0,991
Normalidade	0,569	0,263	0,859	0,797	0,678	0,615	0,489	0,805	0,728	0,809	0,500	0,068
C.V. (%)	9,09	9,09	8,96	8,74	8,72	26,33	8,85	8,59	8,48	8,45	8,28	21,26

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). T.C = taxa de crescimento. 0, 30, 60, 90 e 120 = dias após a aplicação.

A utilização em conjunto do herbicida dicamba e glifosato em doses superiores a 5% interferiu, onde essas reduziram em torno de 81,5% o crescimento de ramo comparado a testemunha, com dano a essa variável (Tabela 9).

Tabela 9. Taxa de crescimento de comprimento de ramo (cm mês⁻¹) de plantas de cafeeiro submetidas a diferentes composições de calda de herbicidas e subdoses em condição de deriva simulada

Subdose (%)	Taxa de crescimento (cm mês ⁻¹)	
	Dicamba	Dicamba + Glifosato
0,25	1,89	2,00
1	1,84	2,46
5	2,21	1,72
10	1,73	1,46*
20	1,77	1,43*
Testemunha	2,65	

Médias seguidas de * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett (p < 0,05).

A ação de subdoses de herbicidas auxínicos é evidenciada pela desordem hormonal, com a ação em pontos de crescimento, como extremidades apicais, tais como o ponteiro de ramos plagiotrópicos, como também em frutos em estádios de desenvolvimento (Silva *et al.*, 2018). Em áreas produtoras de café, a deriva de herbicidas advinda de áreas adjacentes pode interferir diretamente em parâmetros biométricos da cultura, sendo extremamente prejudicial a safra do ano agrícola, como também safras subsequentes, como é o caso da redução do crescimento de ramo, á diretamente relacionado ao potencial produtivo das plantas (Carvalho *et al.*, 2010).

Para a variável maturação de frutos no momento da colheita, pode-se observar que não foi obtida diferença significativa independente do herbicida utilizado e suas subdoses, tampouco diferença em relação à testemunha (Tabela 10).

Tabela 10. Resumo da análise de variância para estágio de maturação de frutos de cafeeiro submetidos a aplicação de diferentes caldas herbicidas e subdoses em condição de deriva simulada

FV	p-valor				
	Verde	Verde cana	Cereja	Passa	Seco
Calda	0,481	0,838	0,374	0,306	0,285
Subdose	0,071	0,728	0,250	0,053	0,103
Calda x Subdose	0,184	0,378	0,165	0,538	0,671
Adicional x Fatorial	0,717	0,364	0,054	0,054	0,072
Bloco	0,941	0,751	0,815	0,373	0,332
Homogeneidade	0,766	0,941	0,844	0,078	0,550
Normalidade	0,328	0,198	0,612	0,444	0,304
C.V. (%)	35,52	45,76	28,21	40,40	44,27

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$).

Silva et al. (2018) ressaltam a ação de herbicidas auxínicos diretamente em parâmetros fisiológicos de diversas culturas dentre as alterações se destaca a ação de auxinas sintéticas sobre a formação de frutos. No entanto, nesse trabalho não foi possível identificar tais efeitos sobre a maturação de frutos, porém é válido ressaltar que alterações sobre essa variável são passíveis de ocorrência em situações de deriva em mais de um ano agrícola.

A classificação quanto ao tamanho e formato dos grãos apresentou efeito entre as composições de calda utilizadas para as categorias chato e moca miúdo (Tabela 11).

Tabela 11. Resumo da análise de variância da classificação quanto ao tamanho e formato de grãos de café colhidos em plantas de cafeeiro submetidas a aplicação de diferentes caldas herbicidas e subdoses em condição de deriva simulada

F.V.	p-valor					
	Chato			Moca		
	Graúdo	Médio	Miúdo	Graúdo	Médio	Miúdo
Calda	0,152	0,539	0,030*	0,258	0,958	0,040*
Subdose	0,449	0,514	0,088	0,560	0,056	0,098
Calda x Subdose	0,624	0,350	0,114	0,907	0,098	0,147
Adicional x Fatorial	0,278	0,661	0,056	0,977	0,744	0,771
Bloco	0,200	0,344	0,647	0,856	0,638	0,250
Homogeneidade	0,876	0,981	0,132	0,985	0,332	0,071
Normalidade	0,667	0,365	0,264	0,376	0,299	0,112
C.V. (%)	28,20	15,20	46,39	33,65	19,15	27,15

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$).

A aplicação em conjunto de dicamba e glifosato apresentou maior percentual das classificações tipo chato e moca miúdo, com aumentou de 27,5% e 16,8% para as respectivas classificações em comparação a aplicação isolada do dicamba (Tabela 12).

Tabela 12. Percentual de grãos de café tipo chato e moca miúdo, colhidos em plantas de cafeeiro submetidas a aplicação deriva simulada de diferentes composições de caldas com herbicida

Calda	Peneira (%)	
	Chato miúdo	Moca miúdo
Dicamba	3,74a	6,16a
Dicamba + glifosato	5,16b	7,40b
Testemunha	2,41	6,52

Médias seguidas de letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

Classificações de peneira miúda são prejudiciais à comercialização do café, logo a deriva de ativos que ocasionam o aumento dessa percentagem irá propiciar maior desvalorização da *commodity*. Conforme mencionado por Silva et al. (2018), a ação de herbicidas auxínicos ocasiona alterações fisiológicas nas culturas suscetíveis dentre elas se destaca a ação de auxinas sintéticas sobre a formação de frutos, o que pode estar relacionado com os dados obtidos, principalmente pela aplicação ter ocorrido em estágio inicial de desenvolvimento do fruto, o que pode ter propiciado tal alteração.

Para os parâmetros produtivos, não foi observado efeito significativo dos tratamentos propostos (Tabela 13).

Tabela 13. Resumo da análise de variância de parâmetros quanto a produtividade, rendimento de café da roça e rendimento de café seco, de cafeeiro submetidas à deriva simulada de diferentes caldas herbicidas e subdoses

FV	p-valor		
	Produtividade	Rendimento café roça	Rendimento café seco
Calda	0,292	0,879	0,526
Subdose	0,664	0,422	0,084
Calda x Subdose	0,994	0,321	0,725
Adicional x Fatorial	0,774	0,058	0,553
Bloco	0,171	0,012	0,914
Homogeneidade	0,714	0,622	0,059
Normalidade	0,254	0,370	0,797
C.V. (%)	23,44	8,92	5,65

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$).

Rochi et al. (2005), avaliando a deriva de 2,4-D no cafeeiro em intervalos de aplicação de treze dias, em diferentes estádios de crescimento de frutos, não observaram diferença significativa sobre a produtividade, corroborando com os dados obtidos no presente trabalho. É válida a consideração, em uma situação de deriva em mais de uma safra ser passível de danos mais agressivos sobre a cultura, além disso, como foi observado nesse campo, a redução de parâmetros biométricos quando ocorreu a simulação de deriva, e esses diretamente relacionados ao potencial produtivo, em uma possível avaliação futura de parâmetros de produtividade e rendimento, possivelmente ocorreria alterações nessas variáveis.

Experimento II

Independente da data de avaliação foi observado efeito entre a testemunha e os tratamentos propostos. As subdoses empregadas apresentaram efeito significativo aos 60 DAA, enquanto apenas aos 30 e 60 DAA foi possível observar significância na calda utilizada. Aos 90 e 120 DAA foi observado efeito entre os fatores propostos (Tabela 14).

Tabela 14. Resumo da análise de variância para percentual de de fitotoxidez ocasionado na cultura do cafeeiro pela deriva simulada de dicamba e dicamba + glifosato em diferentes subdoses

F.V.	p-valor					
	7 DAA	15 DAA	30 DAA	60 DAA	90 DAA	120 DAA
Calda	0,701	0,086	0,001*	0,012*	0,001*	0,001*
Subdose	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*
Calda x Subdose	0,962	0,183	0,087	0,183	0,025*	0,005*
Adicional x Fatorial	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*
Bloco	0,685	0,701	0,648	0,701	0,906	0,106
Homogeneidade	0,035*	0,050	0,051	0,058	0,016*	0,057
Normalidade	0,021*	0,035*	0,134	0,043*	0,042*	0,044*
C.V. (%)	24,48	19,62	22,13	28,03	30,03	27,36

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$).

A ação dos tratamentos sobre a cultura do cafeeiro independente da data de avaliação mostrou-se significativa em relação a testemunha, onde subdoses superiores a 5%, independente da data de avaliação, resultaram em danos fitotóxicos. Na subdose de 0,25% não foi observado efeito fitotóxico a partir dos 60 DAA, resultado semelhante ao observado com a subdose de 1% quando utilizada apenas a calda de aplicação com o herbicida dicamba isolado a partir dos 90 DAA. Aos 30 e 60 DAA observou-se maior efeito danoso às plantas de cafeeiro quando utilizada a calda com glifosato. Esse comportamento também se mostrou como uma tendência aos 90 e 120 DAA (Tabela 15).

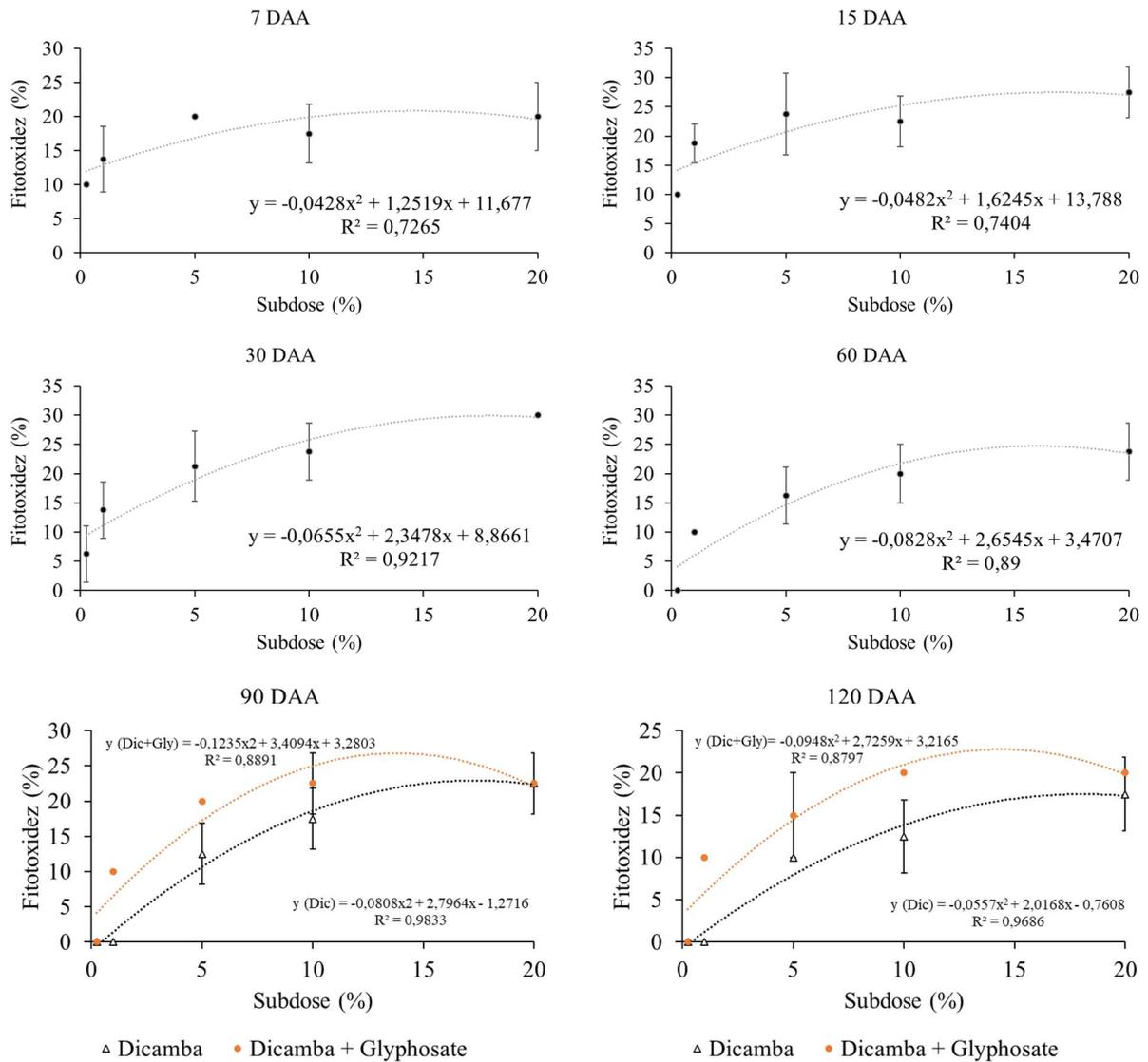
Tabela 15. Médias de fitotoxidez (%) observados em plantas de cafeeiro após a aplicação de tratamentos de herbicidas e diferentes subdoses

Subdose (%)	Fitotoxidez (%)											
	7 DAA		15 DAA		30 DAA		60 DAA		90 DAA		120 DAA	
	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli
0,25	10,00*	10,00*	10,00*	10,00*	7,50*	7,50*	0,00	0,00	0,00A	0,00A	0,00A	0,00A
1	12,50*	15,00*	17,50*	20,00*	10,00*	17,50*	10,00*	10,00*	0,00A	10,00B	0,00A	10,00B*
5	20,00*	20,00*	27,50*	27,50*	17,50*	25,00*	12,50*	20,00*	12,50A*	20,00B*	10,00A*	15,00B*
10	17,50*	17,50*	20,00*	25,00*	20,00*	27,50*	17,50*	22,50*	17,50A*	22,50A*	12,50A*	20,00B*
20	20,00*	20,00*	30,00*	27,50*	30,00*	30,00*	22,50*	25,00*	22,50A*	22,50A*	17,50A*	20,00A*
Média	16,00	16,50	21,00	22,00	17,00A	21,50B	12,50A	15,50B	10,50	15,00	8,00	13,00
Testemunha	0		0		0		0		0		0	

Média seguidas de letras maiúscula na linha difere entre si pelo teste F ($p < 0,05$). Médias seguidas de * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). Dic = dicamba; Dic + Gli = dicamba + glifosato.

A fitotoxidez observada na cultura do cafeeiro mostraram-se danosa já nos primeiros dias após aplicação, mesmo em baixas concentrações. Batts et al. (2020), avaliando a deriva simulada de dicamba e dicamba em mistura com glifosato observaram efeitos deletérios superiores à cultura da batata com glifosato em mistura, corroborando com os dados obtidos nesse trabalho. Wells, Prostko e Carter (2019) observaram danos significativos sobre a cultura da *C. illinoensis* (nogueira-pecã) em doses inferiores a 1% (47,9 g e.a. ha⁻¹) de dicamba que, como enfatizado pelos autores, são passíveis de ocasionar perdas significativas tanto em produtividade como também em parâmetros biométricos.

Os danos ocasionados pelas subdoses na cultura do café apresentaram tendência polinomial, conforme observado na Prancha Gráfica 2, independente da data de avaliação, dados que corroboram com as observações no campo I desse trabalho. Aos 90 e 120 DAA foi observado diferença significativa entre as caldas testadas e as subdoses empregadas.



Prancha gráfica 2. Comportamento fitotóxico de subdoses de dicamba e dicamba + glifosato em diferentes momentos após a simulação de deriva na cultura do café em área comercial. Dic = dicamba; Dic + Gli = dicamba + glifosato.

Santos et al. (2005) ressaltam que a ação de herbicidas sobre plantas não resistentes apresenta tendência a aumento de fitotoxidez à medida que se aumentam as doses empregadas. Isso respalda os dados obtidos no presente estudo, onde independente da data de avaliação, observou-se incremento aos danos ocasionados à medida que se elevaram as subdoses empregadas. A ação do

glifosato sobre as plantas caracteriza-se por ser lenta em subdoses, conforme relatado por Reis et al. (2018), o que reforça os dados obtidos nesse trabalho. Aos 90 e 120 DAA observou-se efeito distinto com tendência de menores danos com apenas dicamba na composição, isso respalda o entendimento de que a adição do glifosato em mistura com dicamba em situações de deriva sobre a cultura do cafeeiro pode aumentar os danos ocasionados a cultura, com características de danos mais prologados no tempo, situação essa que deve ser levada em consideração no momento da avaliação fitotóxica.

Em relação a variável altura de planta houve efeito aos 90 e 120 DAA entre os tratamentos propostos e a testemunha. Observa-se efeito para variável taxa de crescimento de altura nos fatores de caldas e as subdoses, assim como efeito dos tratamentos empregados em relação à testemunha. Não foi observado efeito para a variável diâmetro de copa independente do período de avaliação (Tabela 16).

Tabela 16. Resumo da análise de variância para altura, diâmetro de copa e, taxa de crescimento das respectivas, de plantas de cafeeiro submetidas a aplicação de tratamentos de herbicidas e diferentes subdoses em condição de deriva simulada

F.V.	p-valor											
	Altura de planta						Diâmetro de copa					
	0	30	60	90	120	T.C	0	30	60	90	120	T.C
Calda	0,107	0,613	0,796	0,925	0,776	0,008*	0,068	0,277	0,771	0,530	0,365	0,230
Subdose	0,775	0,672	0,460	0,173	0,324	0,001*	0,657	0,639	0,944	0,738	0,916	0,255
Calda x Subdose	0,507	0,487	0,407	0,179	0,408	0,486	0,881	0,639	0,395	0,282	0,321	0,421
Adicional x Fatorial	0,147	0,069	0,073	0,015*	0,009*	0,001*	0,522	0,479	0,717	0,770	0,752	0,062
Bloco	0,5661	0,428	0,503	0,658	0,319	0,521	0,521	0,567	0,770	0,996	0,927	0,067
Homogeneidade	0,3161	0,846	0,740	0,375	0,274	0,085	0,925	0,808	0,814	0,369	0,265	0,564
Normalidade	0,8387	0,944	0,335	0,453	0,682	0,057	0,062	0,077	0,224	0,091	0,359	0,997
C.V. (%)	3,72	3,92	3,99	3,52	3,72	13,25	5,27	5,35	5,03	4,21	4,42	28,19

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). T.C = taxa de crescimento. 0, 30, 60, 90 e 120 = dias após a aplicação.

Aos 90 e 120 DAA, a altura de planta foi comprometida quando utilizada a composição de calda com dicamba em mistura com glifosato na maior concentração (112 e 200 g e.a. ha⁻¹ de dicamba e glifosato, respectivamente). Para a variável taxa de crescimento observa-se efeito quando na presença de glifosato na calda, com redução de aproximadamente 0,69 cm mês⁻¹, comparada a calda com apenas o herbicida dicamba. Na subdose de 20% dos ativos, independente do dicamba isolado ou em mistura, notou-se redução da taxa de crescimento em relação a testemunha de aproximadamente 1,73 cm mês⁻¹, efeito também observado na mistura de dicamba e glifosato nas subdoses de 5 e 10% (Tabela 17).

Tabela 17. Altura de planta (m) e taxa de crescimento de altura (cm mês⁻¹) de plantas de cafeeiro submetidas a diferentes composições de calda de herbicidas e subdoses aplicados em condição de deriva simulada

Subdose (%)	Altura de planta (m)					
	90		120		T.C. (cm mês ⁻¹)	
	Dic.	Dic + Gli	Dic.	Dic + Gli	Dic.	Dic + Gli
0,25	1,87	1,93	1,89	1,95	6,46	6,21
1	1,94	1,94	1,95	1,96	6,91	6,19
5	1,86	1,91	1,88	1,93	6,02	5,42*
10	1,94	1,90	1,94	1,92	5,66	5,33*
20	1,90	1,81*	1,91	1,85*	5,60*	4,04*
Média	1,90	1,89	1,91	1,92	6,13A	5,44B
Testemunha	1,99		2,02		7,23	

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$). Médias seguidas de * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). Dic = dicamba; Dic + Gli = dicamba + glifosato; T.C. = taxa de crescimento. 90 e 120 = dias após a aplicação.

O incremento de 1% de subdose propiciou redução da taxa de crescimento para a variável altura de planta de 0,0819 cm mês⁻¹ (Gráfico 2).

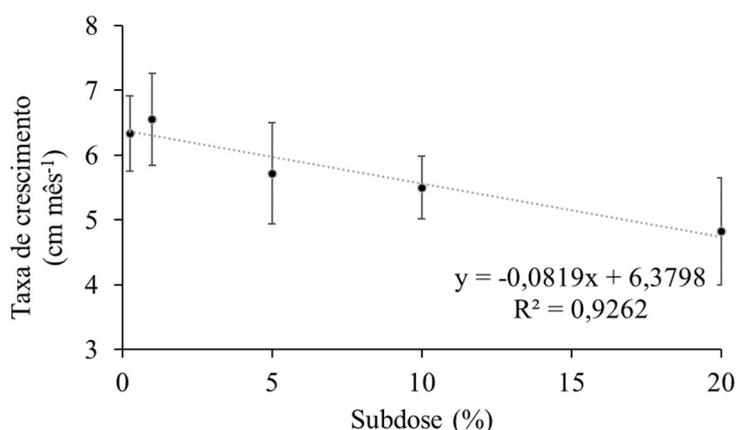


Gráfico 2. Taxa de crescimento de altura de plantas de cafeeiro (cm mês⁻¹) submetidas a diferentes subdoses de herbicidas em condição de deriva simulada.

A redução observada confirma o resultado obtido no experimento I, onde nota-se que, independentemente da subdose utilizada, houve redução de crescimento da planta. Fisiologicamente esse impacto no crescimento pode resultar em redução de potencial produtivo nos anos subsequentes, com isso a é válido entendimento sobre o efeito da deriva desses ativos sobre o cafeeiro, em parâmetros inerentes a biometria das plantas.

A taxa de crescimento para a variável comprimento de ramo no experimento II, diferentemente do experimento I, foi influenciada pela composição da calda e pelas subdoses (Tabela 18).

Tabela 18. Resumo da análise de variância para comprimento de ramo, número de internódios e, taxa de crescimento das respectivas, de plantas de cafeeiro submetidas a aplicação de tratamentos de herbicidas e diferentes subdoses em condição de deriva simulada

F.V.	p-valor											
	Comprimento de ramo						Número de internódios					
	0	30	60	90	120	T.C.	0	30	60	90	120	T.C.
Calda	0,159	0,147	0,174	0,504	0,526	0,010*	0,058	0,105	0,109	0,115	0,218	0,592
Subdose	0,602	0,562	0,691	0,490	0,514	0,001*	0,151	0,601	0,247	0,305	0,442	0,178
Calda x Subdose	0,476	0,271	0,247	0,375	0,250	0,074	0,421	0,585	0,420	0,152	0,374	0,216
Adicional x Fatorial	0,508	0,563	0,466	0,466	0,521	0,944	0,601	0,581	0,741	0,875	0,981	0,384
Bloco	0,250	0,373	0,293	0,378	0,349	0,249	0,076	0,056	0,071	0,202	0,126	0,770
Homogeneidade	0,128	0,05	0,065	0,086	0,513	0,561	0,363	0,524	0,384	0,149	0,188	0,514
Normalidade	0,138	0,087	0,096	0,095	0,513	0,726	0,983	0,928	0,706	0,881	0,544	0,346
C.V. (%)	5,77	5,62	5,96	5,81	5,66	19,96	5,07	5,49	5,78	5,53	5,95	25,43

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). T.C. = taxa de crescimento. 0, 30, 60, 90 e 120 = dias após a aplicação.

Independente da subdose, a mistura do dicamba e glifosato promoveu redução da taxa de crescimento de 19,4% quando comparada aos tratamentos com apenas o dicamba (Tabela 19).

Tabela 19. Taxa de crescimento de comprimento de ramo (cm mês⁻¹) de cafeeiros submetidos a diferentes composições de calda de herbicidas em condição de deriva simulada

Calda	Taxa de crescimento (cm mês ⁻¹)
Dicamba	1,66a
Dicamba + Glifosato	1,39b
Testemunha	1,52

Médias seguidas de letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

Efeitos deletérios de herbicidas auxínicos sobre parâmetros fisiológicos das mais diversas culturas já foram previamente observados (Costa *et al.*, 2020; Wells, Prostko e Carter, 2019; Silva *et al.*, 2018). No entanto, esses efeitos podem ser potencializados quando há mistura com herbicidas em formulação concentrado solúvel (SL), como é o caso do glifosato utilizado nesse trabalho. Em sua composição há surfactantes e estabilizantes de ativo, o que pode ter contribuído para os maiores efeitos deletérios sobre o cafeeiro devido a possível alteração de pH, conforme mostrado por Oliveira *et al.* (2021), com o aumento da absorção da auxina nas membranas devido a acidificação da calda.

O incremento de 1% de subdose dos ativos propiciou decréscimo na taxa de crescimento do comprimento de ramos ao longo do período de avaliação de 0,0284 cm mês⁻¹ (Gráfico 3).

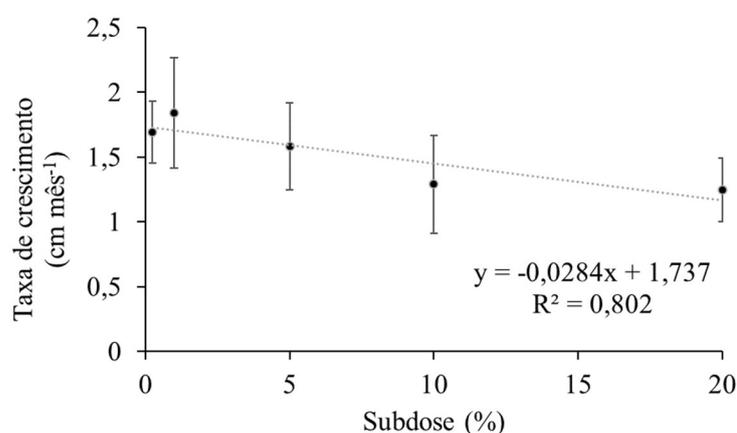


Gráfico 3. Taxa de crescimento de comprimento de ramos de cafeeiro (cm mês⁻¹) submetidos a

diferentes subdoses de herbicidas em condição de deriva simulada.

Costa et al. (2020), Silva et al. (2018) e Sperry et al. (2022) observaram danos gradativos na cultura da soja com o incremento de subdoses de herbicidas auxínicos, efeito passível de potencialização com a utilização de misturas com glifosato, como foi o caso desse trabalho.

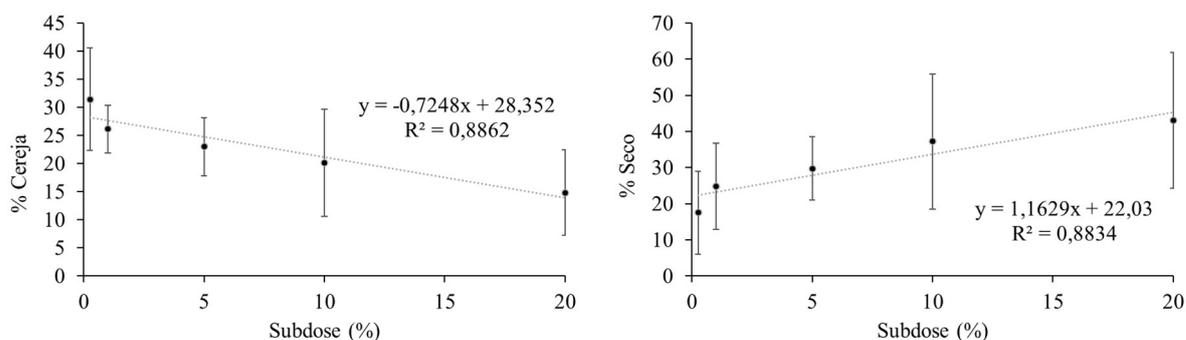
Ao se analisar a Tabela 20, observa-se efeito da variável subdose sobre as classificações cereja e seco.

Tabela 20. Resumo da análise de variância para estágio de maturação de frutos de café submetidos a aplicação de diferentes caldas herbicidas e subdoses em condição de deriva simulada

FV	p-valor				
	Verde	Verde cana	Cereja	Passa	Seco
Calda	0,289	0,173	0,129	0,434	0,174
Subdose	0,370	0,501	0,004*	0,070	0,023*
Calda x Subdose	0,644	0,862	0,774	0,635	0,643
Adicional x Fatorial	0,268	0,743	0,926	0,465	0,364
Bloco	0,069	0,724	0,854	0,191	0,949
Homogeneidade	0,216	0,075	0,320	0,115	0,076
Normalidade	0,786	0,551	0,624	0,087	0,365
C.V. (%)	53,72	52,56	34,99	33,34	52,50

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$).

Com o incremento de 1% das subdoses dos herbicidas nota-se um decréscimo de 0,72% na percentagem de frutos tipo cereja. Paralelamente com a redução de frutos tipo cereja, ocorreu um incremento de 1,16% da quantidade de frutos tipo seco (Gráficos 4 e 5).



Gráficos 4 e 5. Percentagem de frutos tipo cereja e seco em relação às subdoses de herbicidas empregadas em condição de deriva.

A classificação cereja é a mais buscada no momento da colheita de frutos de café quando a qualidade da bebida é priorizada. Quanto maior esse percentual em relação às demais classificações, maiores as chances da produção de cafés com elevadas pontuações (Silva *et al.*, 2014). Logo, redução no percentual de frutos tipo cereja diminuem o potencial de qualidade.

Pode-se inferir com dados de maturação obtido uma notória aceleração no processo de maturação dos frutos com o incremento de subdoses. Silva *et al.* (2014) salientaram que amostras de café com valores elevados de classificação verde e seco reduzem significativamente a qualidade final da bebida, com sabor amargo e fermentado.

Em relação às variáveis de caracterização físicas de grãos de café, pôde-se observar que os herbicidas utilizados interferiram nas classificações chato graúdo e chato miúdo. Além disso, observou-se que, diferentemente do experimento I, as características de classificação de frutos foram influenciadas pelas subdoses empregadas (Tabela 21).

Tabela 21. Resumo da análise de variância da classificação quanto ao tamanho e formato de grãos de café colhidos em plantas de cafeeiro submetidas a aplicação de diferentes caldas herbicidas e subdoses em condição de deriva simulada

F.V.	p-valor					
	Chato			Moca		
	Graúdo	Médio	Miúdo	Graúdo	Médio	Miúdo
Calda	0,037*	0,136	0,043*	0,563	0,665	0,104
Subdose	0,001*	0,007*	0,009*	0,660	0,012*	0,006*
Calda x Subdose	0,7697	0,997	0,327	0,502	0,982	0,775
Adicional x Fatorial	0,165	0,320	0,649	0,489	0,199	0,450
Bloco	0,395	0,873	0,099	0,844	0,162	0,079
Homogeneidade	0,585	0,384	0,070	0,763	0,801	0,085
Normalidade	0,605	0,962	0,412	0,580	0,759	0,129
C.V. (%)	21,37	11,72	31,71	29,21	18,61	28,91

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$).

A presença de glifosato na calda, independente da subdose utilizada, reduziu a classificação de peneira chato graúdo em 16,6% e, aumentou 19,0% a classificação tipo chato miúdo (Tabela 22).

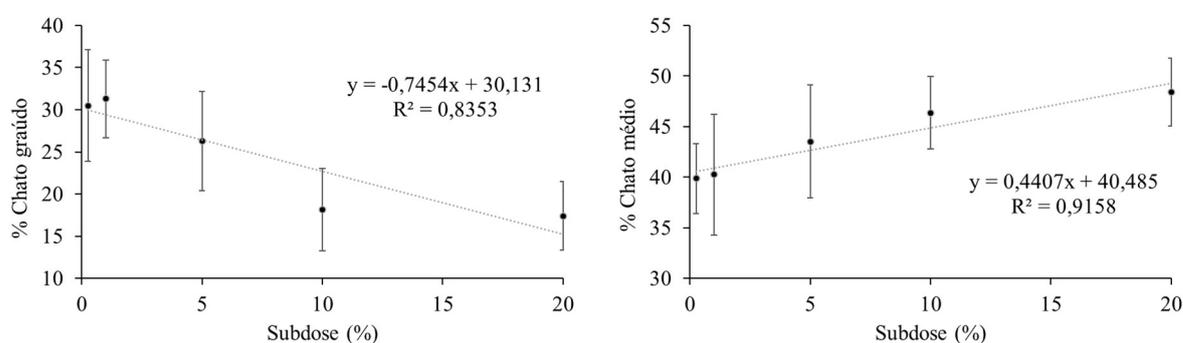
Tabela 22. Percentual de grãos de café tipo chato graúdo e miúdo, colhidos em plantas de cafeeiro submetidas a aplicação deriva simulada de diferentes composições de caldas com herbicida

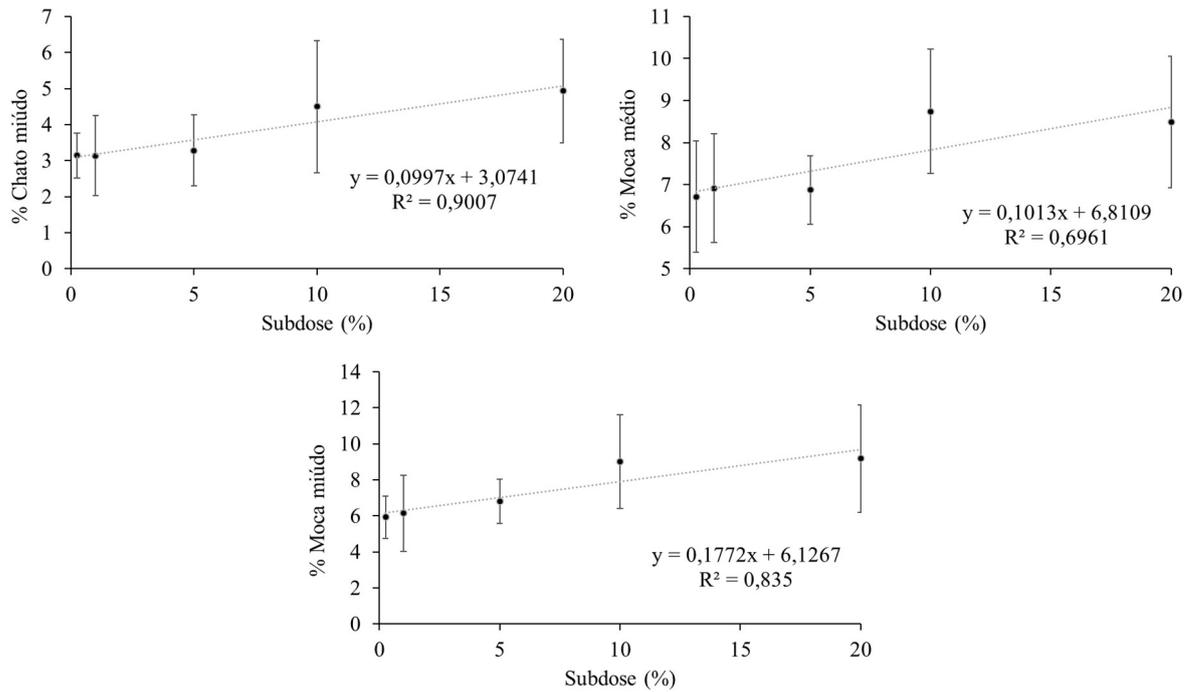
Calda	Peneira (%)	
	Chato graúdo	Chato miúdo
Dicamba	26,67a	3,40a
Dicamba + glifosato	22,88b	4,20b
Testemunha	28,70	3,50

Médias seguidas de letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

Wells, Prostko e Carter (2019) ressaltaram que caldas com o herbicida glifosato derivado de formulações SL propiciam maior absorção de auxinas sintéticas nos tecidos vegetais. Assim, esse acréscimo de absorção pode estar relacionado com a redução de classificação chato graúdo e aumento de classificação chato miúdo. Classificações onde a amostra de café beneficiada apresenta maior quantitativo de grãos chato graúdo resultam maior valorização de comercialização, o que reforça o problema da presença da mistura do glifosato à calda.

O aumento das subdoses dos ativos utilizados propiciou alterações diretas nas percentagens de classificação de tipos de peneira das amostras. Notou-se que apenas a classificação graúda apresentou declínio progressivo com aumento das subdoses, onde a cada 1% de subdose empregada, houve uma redução de 0,74% nessa classificação, e com isso aumento para as demais classificações, a exemplo variando de 0,09% para a classificação chato miúdo e 0,44% para chato médio, a cada 1% de incremento de subdose (Prancha gráfica 3).





Prancha gráfica 3. Comportamento de classificação física de grãos de café submetidos a diferentes subdoses de herbicidas em simulação de deriva.

González et al. (2019) observaram que classificações de peneiras menores, a exemplo da 13/64 avos, apresentaram melhor classificação SCAA (*Specialty Coffee Association of America. Protocols-Cupping*) comparadas a chato graúdo. Porém, em uma situação de simulação de deriva de ativos, uma alternativa a classificação SCAA, seria avaliação em cromatografia, visando identificar possíveis residuais de ativo no grão, para assim se proceder uma análise da bebida.

Independente do parâmetro avaliado inerente a produtividade e rendimento de grãos, não foram observadas diferenças entre os tratamentos propostos (Tabela 23).

Tabela 23. Resumo da análise de variância de parâmetros quanto a produtividade, rendimento de café da roça e rendimento de café seco, de cafeeiro submetidas a deriva simulada de diferentes caldas herbicidas e subdoses

F.V.	p-valor		
	Produtividade	Rendimento café roça	Rendimento café seco
Calda	0,629	0,904	0,636
Subdose	0,907	0,852	0,077
Calda x Subdose	0,511	0,648	0,253
Adicional x Fatorial	0,997	0,805	0,755
Bloco	0,856	0,254	0,541
Homogeneidade	0,402	0,659	0,786
Normalidade	0,597	0,243	0,898
C.V. (%)	13,03	9,33	3,95

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$).

Como mostrado anteriormente foi observada redução da taxa de crescimento de altura de planta e ramo plagiotrópicos, esses diretamente correlacionados com potencial produtivo de anos subsequentes. Como durante as avaliações não foram observadas quedas de frutos, é possível inferir que a deriva dos ativos utilizados quando ocorre em estádios posteriores ao florescimento, como foi o caso do presente estudo, não foi suficiente para alteração na carga pendente do cafeeiro (carga observada após florescimento). Além disso, conforme evidenciado por Dixon et al. (2021) parâmetros complementares visando o entendimento de características residuais dos produtos seriam necessários, como a determinação de resíduos químicos de herbicidas e suas alterações sobre o fruto do cafeeiro para uma discussão fundamentada em parâmetros químicos, além de a avaliação em mais de uma safra, visando-se avaliar possíveis alterações de parâmetros produtivos e biométricos.

Hand et al. (2021), avaliando a presença de dicamba em frutos de melão e pepino, constataram resíduos do ativo em diferentes períodos após a aplicação nos frutos. Na cafeicultura, essa observação também seria importante por tratar-se de uma cultura de alto valor agregado. Onde o mercado consumidor está em grande evolução em relação a qualidade da bebida consumida, fazendo-se necessário, portanto, pesquisas voltadas a esse entendimento.

Ainda é valido ressaltar que estudos complementares em relação a cultivares utilizadas são necessários, pois sabe-se que cada cultivar de cafeeiro apresenta parâmetros biométricos e fisiológicos distintos, além de potenciais produtivos e capacidade de regeneração após redução abrupta de massa vegetal muito diferentes.

4. CONCLUSÕES

A deriva de dicamba isolado e em mistura ao glifosato provocou danos visuais ao cafeeiro nos primeiros dias após aplicação.

Os principais sintomas observados foram: epinastia de folhas novas, alteração da distância de internódios, além de curvatura do ramo plagiotrópico.

O incremento de subdoses acarretou redução da taxa de crescimento para altura de planta e comprimento de ramos.

A simulação de deriva de dicamba isolado ou em mistura com glifosato em cafeeiros em estágio produtivo não ocasionou redução de produtividade e rendimento no presente estudo, porém foram observadas alterações nas classificações físicas de grãos distintas de acordo com a época de aplicação dos tratamentos.

REFERÊNCIAS

ISAAA - International Service For The Acquisition Of Agri-Biotech Applications. **Beyond Promises: Facts about Biotech/GM Crops in 2018**. 2018. Disponível em:

<https://www.isaaa.org/>. Acesso em: 04 jul. 2023.

ALVES, G. S.; KRUGER, G. R.; CUNHA, J. P. A. R.; SANTANA, D. G., PINTO, L. A. T.; GUIMARÃES, F.; ZARIC, M. Dicamba spray drift as influenced by wind speed and nozzle type. **Weed Technology**, [s.l.], v. 31, n. 5, p. 724-731, 20 set. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/wet.2017.61>.

BATTS, T. M; MILLER, D. K.; GRIFFIN, J. L.; VILLORDON, A. O.; STEPHENSON, D. O; JENNINGS, K. M.; CHAUDHARI, S.; BLOUIN, D. C.; COPEL, J. T.; SMITH, T. P. Impact of reduced rates of dicamba and glyphosate on sweetpotato growth and yield. **Weed Technology**, [s.l.], v. 35, n. 1, p. 27-34, 19 maio 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/wet.2020.54>.

Bayer S.A. **Nova Tecnologia INTACTA 2 XTEND®**. 2021. Disponível em: <https://www.bayer.com.br/pt/midia/bayer-lanca-intacta-2-xtend-nova-geracao-soja-que-ira-revolucionar-potencial-produtivo-brasil>. Acesso em: 04 jul. 2023.

BISH, M. D.; FARRELL, S. T.; LERCH, R. N.; BRADLEY, K. W. Dicamba losses to air after applications to soybean under stable and nonstable atmospheric conditions. **Journal Of Environmental Quality**, [s.l.], v. 48, n. 6, p. 1675-1682, nov. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2019.05.0197>.

CARVALHO, A. M.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; GONÇALVES, F. M. A.; FERREIRA, A. D. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 45, n. 3, p. 269-275, mar. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2010000300006>.

CASTANHEIRA, D. T.; ALECRIM, A. O.; VOLTOLINI, G. B.; REZENDE, T. T.; NETTO, P. M.; GUIMARÃES, R. J. Growth, anatomy and physiology of coffee plants intoxicated by the herbicide glyphosate. **Coffee Science**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 76-82, 28 mar. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v14i1>.

COSTA, E. M.; JAKELAITIS, A.; ZUCHI, J.; PEREIRA, L. S.; VENTURA, M. V. A.; OLIVEIRA, G. S.; SOUSA, G. D.; SILVA, J. N. Simulated drift of dicamba and 2,4-D on soybeans: effects of application dose and time. **Bioscience Journal**, [s.l.], v. 36, n. 3, p. 857-864, 13 fev. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/bj-v36n3a2020-47742>.

DINTELMANN, B. R.; WARMUND, M. R.; BISH, M. D.; BRADLEY, K. W. Investigations of the sensitivity of ornamental, fruit, and nut plant species to driftable rates of 2,4-D and dicamba. **Weed Technology**, [s.l.], v. 34, n. 3, p. 331-341, 15 nov. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/wet.2019.118>.

DUBBERSTEIN, D.; PARTELLI, F.L.; GUILHEN, J.H.s.; RODRIGUES, W.P.; RAMALHO, J.C.; RIBEIRO-BARROS, A.I. Research article biometric traits as a tool for the

identification and breeding of *Coffea canephora* genotypes. **Genetics And Molecular Research**, [s.l.], v. 19, n. 2, p. 1-17, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr18541>.

FERNANDES, M. I. S.; ASSIS, G. A.; NASCIMENTO, L. G.; CUNHA, B. A.; AIRÃO, A. L. C.; GALLET, D. S. Parâmetros produtivos e de qualidade de cultivares de cafeeiros na região do Alto Paranaíba, Minas Gerais, Brasil. **Research, Society And Development**, [s.l.], v. 9, n. 9, p. 1-18, 14 ago. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.6681>.

FRANÇA, A. C.; CARVALHO, F. P.; FIALHO, C. M. T.; D'ANTONINO, L.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, L. R. Deriva simulada do glyphosate em cultivares de café Acaia e Catucaí. **Planta Daninha**, [s.l.], v. 31, n. 2, p. 443-451, 15 jun. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582013000200023>.

HAND, L. C.; VANCE, J. C.; RANDELL, T. M.; SHUGART, J.; GRAY, T.; LUO, X.; CULPEPPER, A. S. Effects of low-dose applications of 2,4-D and dicamba on cucumber and cantaloupe. **Weed Technology**, [s.l.], v. 35, n. 3, p. 357-362, 9 nov. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/wet.2020.129>.

MORAES, J. G.; BUTTS, T. R.; ANUNCIATO, V. M.; LUCK, J. D.; HOFFMANN, W. C.; ANTUNIASSI, U. R.; KRUGER, G. R. Nozzle selection and adjuvant impact on the efficacy of glyphosate and ppo-inhibiting herbicide tank-mixtures. **Agronomy**, [s.l.], v. 11, n. 4, p. 754-767, 13 abr. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy11040754>.

OLIVEIRA, G. M. P.; GANDOLFO, M. A.; DALAZEN, G.; OSIPE, J. B.; OLIVEIRA, S. M. P.; SILVA, M. A. A. Regression analysis to evaluate herbicide drift and injury in Roundup Ready cotton in wind tunnel. **Revista Ciência Agronômica**, [s.l.], v. 52, n. 2, p. 2-8, 13 jan. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20210025>.

GONZÁLEZ, A. L.; LOPEZ, A. M.; GAYTÁN, O. R. T.; RAMOS, V. M. Cup quality attributes of Catimors as affected by size and shape of coffee bean (*Coffea arabica* L.). **International Journal Of Food Properties**, [s.l.], v. 22, n. 1, p. 758-767, 1 jan. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10942912.2019.1603997>.

OSELAND, E.; BISH, M.; STECKEL, L.; BRADLEY, K. Identification of environmental factors that influence the likelihood of off-target movement of dicamba. **Pest Management Science**, [s.l.], v. 76, n. 9, p. 3282-3291, 28 maio 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ps.5887>.

OSIPE, J. B.; OLIVEIRA JUNIOR., R. S.; CONSTANTIN, J.; TAKANO, H. K.; BIFFE, D. F. Spectrum of weed control with 2,4-D and dicamba herbicides associated to glyphosate or not. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 35, p.1-12, 4 set. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582017350100053>.

ÖZLÜOYMAK, Ö. B. Development and assessment of a novel camera-integrated spraying needle nozzle design for targeted micro-dose spraying in precision weed control. **Computers And Electronics In Agriculture**, [s.l.], v. 199, n. 1, p. 107134-107144, ago. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2022.107134>.

PERINE, J.; ANDERSON, J.C.; KRUGER, G.R.; ABI-AKAR, F.; OVERMYER, J. Effect of nozzle selection on deposition of thiamethoxam in Actara® spray drift and implications for

off-field risk assessment. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 772, p. 144808-144817, 01 jun. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144808>.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; THOMAZIELLO, R. A.; CAMARGO, M. B. P. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, [s.l.], v. 62, n. 3, p. 499-505, 12 jan. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052003000300015>.

R Core Team (2019). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical.

REDDY, K. N.; RIMANDO, A.; DUKE, S. O.; NANDULA, V. K. Aminomethylphosphonic acid accumulation in plant species treated with glyphosate. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [s.l.], v. 56, n. 6, p. 2125-2130, 26 fev. 2008. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf072954f>.

REIS, L.A.C.; CARVALHO, F.P.; FRANÇA, A.C.; FRANCINO, D.M.T.; PINTO, N.A.V.D.; FREITAS, A.F. Leaf morphoanatomy and biochemical variation on coffee cultivars under drift simulation of glyphosate. **Planta Daninha**, [s.l.], v. 36, n. 018143560, p. 1-12, 01 jan. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582018360100149>.

SANTOS, L. D. T.; FERREIRA, F.A.; MEIRA, R. M. S. A.; BARROS, N. F.; FERREIRA, L. R.; MACHADO, A. F. L. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, [s.l.], v. 23, n. 1, p. 133-142, 01 mar. 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582005000100016>.

SCAA. Specialty Coffee Association of America. Protocols-cupping specialty coffee, 2015q. **Published by the Specialty Coffee Association of America, USA**

SILVA, D. R. O.; SILVA, E. D. N.; AGUIAR, A. C. M.; NOVELLO, B. D.; SILVA, Á. O. A. A.; BASSO, C. J. Drift of 2,4-D and dicamba applied to soybean at vegetative and reproductive growth stage. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 48, n. 8, p. 1-7, 6 ago. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20180179>.

SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M. de; PINTO, F. de A. C.; SANTOS, N. T. Coffee quality and its relationship with Brix degree and colorimetric information of coffee cherries. **Precision Agriculture**, [s.l.], v. 15, n. 5, p. 543-554, 23 fev. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-014-9352-y>.

SPERRY, B. P; SCHOLTES, A. B; A GOLUS, J.; VIEIRA, B. C; REYNOLDS, D. B; KRUGER, G. R; IRBY, J. T.; EUBANK, T. W; BARBER, L T.; DODDS, D. M. Soybean dose-response to 2, 4-D and dicamba at vegetative and reproductive growth stages. **Pest Management Science**, [s.l.], v. 78, n. 7, p. 2759-2766, 12 maio 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ps.6863>.

TAKANO, H. K.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; SILVA, V. F. V.; MENDES, R. R. Chemical control of glyphosate-resistant goosegrass. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 36, p.1-10, 10 jul. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582018360100055>.

VAN STEENWYK, R. A.; SIEGEL, J. P.; BISABRI, B.; CABUSLAY, C. S.; CHOI, J. M.; STEGGALL, J. W.; MACE, K. C.; BLECKER, S. W.; A POE, P.; PETERS-COLLAER, S. R. Spray drift mitigation using opposing synchronized air-blast sprayers. **Pest Management Science**, [s.l.], v. 77, n. 2, p. 895-905, 21 out. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ps.6094>.

VICENTE, M. R.; MANTOVANI, E. C.; FERNANDES, A. L. T.; NEVES, J. C. L.; DELAZARI, F. T.; FIGUEREDO, E. M. Efeitos da irrigação na produção e no desenvolvimento do cafeeiro na região oeste da Bahia. **Coffee Science**, [s.l.], v. 12, n. 4, p. 544-551, 28 nov. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v12i4.1367>.

VIEIRA, B. C.; BUTTS, T. R.; RODRIGUES, A. O.; SCHLEIER, J. J.; FRITZ, B. K.; KRUGER, G. R. Particle drift potential of glyphosate plus 2,4-D choline pre-mixture formulation in a low-speed wind tunnel. **Weed Technology**, [s.l.], v. 34, n. 4, p. 520-527, 3 fev. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/wet.2020.15>.

WELLS, M. L.; PROSTKO, E. P.; CARTER, O. W. Simulated single drift events of 2,4-D and dicamba on pecan trees. **Horttechnology**, [s.l.], v. 29, n. 3, p. 360-366, 03 jun. 2019. American Society for Horticultural Science. <http://dx.doi.org/10.21273/horttech04265-19>.

YAMASHITA, O. M.; ORSI, J. V. N.; RESENDE, D. D.; MENDONÇA, F. S.; CAMPOS, O. R.; MASSAROTO, J. A.; CARVALHO, M. A. C.; KOGA, P. S.; PERES, W. M.; ALBERGUINI, A. L. Deriva simulada de herbicidas em mudas de *Coffea canephora*. **Scientia Agraria Paranaensis**, [s.l.], v. 12, n. 2, p. 148-156, 30 jun. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v12n2p148-156>.

CAPÍTULO III

EFEITOS FITOTÓXICOS DA DERIVA SIMULADA DE DICAMBA EM MUDAS DE CAFEEIRO

EFEITOS FITOTÓXICOS DA DERIVA SIMULADA DE DICAMBA EM MUDAS DE CAFEIEIRO

RESUMO

A correta implantação e condução de uma lavoura cafeeira ao longo do primeiro ano agrícola é primordial para se obter uma área com elevados índices produtivos e alta qualidade de produção. Por ser uma cultura suscetível, as mudas de cafeeiros podem ficar sujeitas a interferências de ativos utilizados em áreas adjacentes ao cultivo, como a deriva de herbicidas. O uso do herbicida dicamba, esse mimetizador da auxina, ganha espaço no mercado nacional nos últimos anos, tão logo uma das preocupações de sua utilização é a deriva para áreas adjacentes, como é o caso de lavouras cafeeiras. Diante disso, objetivou-se com esse estudo a avaliação dos sintomas fitotóxicos e da alteração de parâmetros biométricos em mudas de cafeeiros, submetidos à deriva simulada de dicamba isolado e em mistura com glifosato em diferentes subdoses. Para a avaliação dos parâmetros fitotóxicos, dois campos experimentais foram instalados. Para isso, foram utilizadas mudas de cafeeiros cultivar 'Mundo Novo' (*Coffea arabica* L.), transplantadas para recipientes tipo saco plástico de 15 L. O experimento foi conduzido em duplicata experimental, em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial $2 \times 5 + 1$, com 4 repetições, onde foram consideradas duas composições de calda de herbicidas (dicamba e dicamba + glifosato) e cinco subdoses (0,25; 1; 5; 10 e 20%) em relação a dose cheia de 560 g e.a. ha⁻¹ de dicamba (ácido 3,6-dicloro-o-anisico), e 1.000 g e.a. ha⁻¹ de glifosato, além de um tratamento adicional considerado como testemunha absoluta. Foi realizada avaliação de danos fitotóxicos, empregando-se escala de notas de 0 a 100%, aos 7, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação. Além da análise visual, foram realizadas avaliações de parâmetros biométricos a fim de se determinar a evolução e a interferência da aplicação dos tratamentos. Com os dados obtidos foi observado que subdoses superiores a 5% de dicamba isolado e em mistura com glifosato ocasionaram maiores efeitos fitotóxicos em mudas, com redução significativa de parâmetros biométricos. Os efeitos fitotóxicos do dicamba em mudas de cafeeiro mostraram-se dependentes da época de realização da deriva simulada, provavelmente em função das condições meteorológicas. A ação fitotóxica do dicamba sobre mudas de cafeeiro mostrou efeitos semelhante a outras culturas agrícolas. Os principais efeitos notados foram: epinastia foliar em estágio inicial no primeiro par de folhas com curvatura em direção ao ramo ortotrópico da planta, seguida da alteração de distância de internódios, com deformação drástica do formato de folhas jovens em comprimento e largura, necrose das bordaduras de folhas jovens, além do aspecto coreáceo de folhas desenvolvidas. Independente da calda e subdose empregada, não foram observados danos drásticos nas mudas de cafeeiro, como queda de folhas, morte de ramos ou até mesmo morte das plantas.

Palavras-chaves: cafeeiro; exoderiva; herbicida mimetizador de auxina.

PHYTOTOXIC EFFECTS OF SIMULATED DICAMBA DRIFT ON COFFEE SEEDLINGS

ABSTRACT

The correct implantation and management of a coffee plantation during the first agricultural year is essential to obtain an area with high productive indexes and high quality of production. As it is a susceptible crop, coffee seedlings may be subject to interference from actives used in areas adjacent to the crop, such as herbicide drift. The use of dicamba herbicide, which mimics auxin, has been gaining ground in the national market in recent years, as soon as one of the concerns with its use is drift to adjacent areas, as is the case of coffee plantations. In view of this, the objective of this study was to evaluate the phytotoxic symptoms and the alteration of biometric parameters in coffee seedlings, submitted to simulated drift of dicamba alone and in a mixture with glyphosate in different subdoses. For the evaluation of phytotoxic parameters, two experimental fields were installed. For this, seedlings of 'Mundo Novo' coffee trees (*Coffea arabica* L.) were transplanted into 15 L plastic bag containers. The experiment was conducted in experimental duplicate, in a randomized block design, in a 2×5 factorial scheme. + 1, with 4 repetitions, where two compositions of herbicide mixture (dicamba and dicamba + glyphosate) and five sub-doses (0.25; 1; 5; 10 and 20%) were considered in relation to the full dose of 560 g a.e. ha⁻¹ of dicamba (3,6-dichloro-o-anisic acid), and 1,000 g a.e. ha⁻¹ of glyphosate, in addition to an additional treatment considered as an absolute control. Evaluation of phytotoxic damage was carried out, using a rating scale from 0 to 100%, at 7, 15, 30, 60, 90 and 120 days after application. In addition to the visual analysis, evaluations of biometric parameters were carried out to determine the evolution and interference of the application of treatments. With the data obtained, it was observed that doses greater than 5% of dicamba alone and in a mixture with glyphosate caused greater phytotoxic effects in seedlings, with a significant reduction of biometric parameters. The phytotoxic effects of dicamba on coffee seedlings were dependent on the time of the simulated drift, probably due to meteorological conditions. The phytotoxic action of dicamba on coffee seedlings showed effects like other agricultural crops. The main effects noted were foliar epinasty in the initial stage in the first pair of leaves with curvature towards the orthotropic branch of the plant, followed by alteration in the distance of internodes, with drastic deformation of the shape of young leaves in length and width, necrosis of the borders of young leaves, in addition to the choreaceous aspect of developed leaves. Regardless of the syrup and subdose used, no drastic damage was observed in coffee seedlings, such as leaf fall, branch death or even plant death.

Keywords: coffee plant; exoderivative; auxin-mimicking herbicide.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de mudas de cafeeiro (*Coffea* sp.) saudáveis e posteriormente a boa condução ao longo do primeiro ano agrícola é o ponto inicial para a perpetuação de uma área com elevados índices produtivos e com alta qualidade de produção. Assim, qualquer interferência que venha a prejudicar o crescimento e desenvolvimento dessas plantas após implantação deve ser evitada (Silva *et al.*, 2017).

A proximidade de lavouras cafeeiras á áreas produtoras de cereais é comum em regiões como Cerrado Mineiro e Alto Paranaíba, devido seu relevo favorável para ambos os cultivos. Com o advento de tecnologias voltadas ao desenvolvimento de culturas resistentes a multi-herbicidas, a utilização dessas ganhou evidência nos últimos anos (Lemes *et al.*, 2022; Striegel e Jhala, 2022), conseqüentemente aumento dos riscos de contaminação por herbicidas sobre culturas não alvos (Roesler *et al.*, 2020), principalmente por meio da deriva.

O uso de herbicidas no manejo de plantas daninhas é indispensável em áreas produtoras, porém, o conhecimento da ação desses ativos em culturas comerciais sensíveis, como é o caso do cafeeiro, torna-se uma necessidade. Visando evitar a deriva desses ativos para áreas adjacentes, a utilização de parâmetros de tecnologia de aplicação, como pontas com sistema anti-deriva, adjuvantes específicos e aplicação em condições meteorológicas favoráveis, devem ser priorizadas.

Nesse contexto, com o advento da soja geneticamente modificada com resistência ao dicamba, o uso desse herbicida tem crescido. Trata-se de um produto sistêmico pertencente à classe dos mimetizadores de auxina, do grupo químico dos ácidos benzoicos, empregado para o manejo de plantas daninhas dicotiledôneas. Porém, um dos entraves da utilização do dicamba é a fitotoxidez ocasionada em culturas não alvos, principalmente ocasionado em situações de deriva do ativo, a exemplo, Jones, Norsworthy e Barber (2019) relataram deriva de dicamba em distâncias superiores a 152 m, com isso, danos a culturas adjacentes não resistentes podem ser constatados.

Em algumas culturas anuais não tolerantes ao dicamba, como é o caso da soja convencional, os sintomas conhecidos da fitotoxidez desse ativo são clorose, enrugamento e epinastia das folhas mais novas, redução do crescimento de planta e morte de meristema apical, com à morte da planta em algumas situações (Foster; Griffin, 2019; Roesler *et al.*, 2020). Esses efeitos também já foram relatados em algumas culturas perenes, como uva e noqueira (Mohseni-Moghadam *et al.*, 2017; Wells; Prostko e Carter, 2019).

No entanto, tais efeitos não são adequadamente conhecidos no cafeeiro, principalmente quando se trata de plantas em estágio inicial de desenvolvimento. Wells; Prostko e Carter (2019) observaram lesão grave em noqueira-pecã (*Carya illinoensis*) submetida a subdose de 1,0% de dicamba. Segundo os autores, é possível que maiores subdoses desse herbicida levem a um aumento da translocação e maiores níveis de lesão na folhagem da cultura testada.

Trabalhos com a avaliação efeitos fitotóxicos de deriva de herbicidas auxínicos como 2,4-D e inibidor da EPSPS (glifosato), no cafeeiro já foram realizados ao longo dos anos (França *et al.*, 2013; Voltolini *et al.*, 2019). Haring *et al.* (2022) e Dintelmann *et al.* (2019), demonstraram efeito de maior agressividade sobre plantas em estádios iniciais de desenvolvimento, assim justificando estudos de deriva desses herbicidas em estágio inicial de desenvolvimento do cafeeiro.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo, a avaliação dos sintomas fitotóxicos e da alteração de parâmetros biométricos em mudas de cafeeiros em estágio inicial de desenvolvimento vegetativo, submetidos à deriva simulada de dicamba isolado e em mistura com glifosato em diferentes subdoses.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a avaliação dos parâmetros fitotóxicos em mudas de cafeeiros ocasionados pela deriva simulada do herbicida dicamba, dois campos experimentais foram instalados em área experimental da Universidade Federal de Uberlândia *campus* Monte Carmelo, 18°43'35,46"S e 47°31'27,66"O (Imagem 1), no período de novembro de 2020 a novembro de 2021.

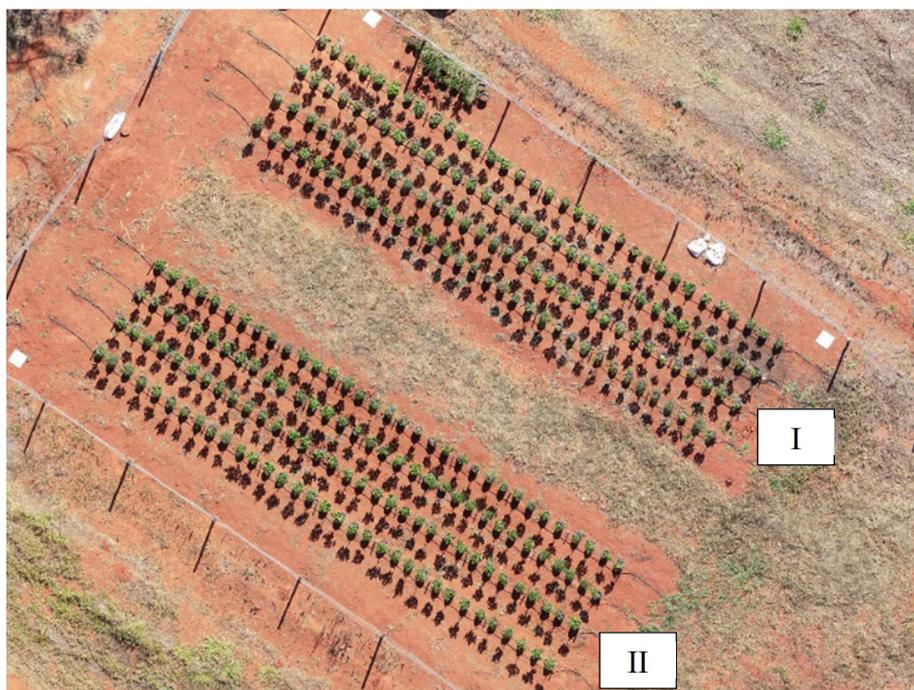


Imagem 1: Área experimental localizada na Universidade Federal de Uberlândia *campus* Monte Carmelo – MG, com mudas de cafeeiros submetidos à deriva simulada de dicamba: Experimento I e Experimento II.

Para a análise da fitotoxidez foram utilizadas mudas de cafeeiro cultivar ‘Mundo Novo’ (*C. arabica* L.), cultivadas em viveiro de produção de mudas, adquiridas com 4 pares de folhas formadas, transplantadas para recipientes tipo saco plástico de 15 L, em janeiro de 2021. Para o transplântio foi utilizado solo coletado de barranco devidamente peneirado, e para a correção de parâmetros nutricionais foi realizada análise química e física em laboratório e seguido as recomendações da 5ª aproximação (Ribeiro *et al.*, 1999). O solo utilizado como substrato foi classificado como argiloso (72% de argila, 10% de silte e 18% de areia). A análise química do solo apresentou o seguinte resultado: pH (água) de 5,5; teor de matéria orgânica de 2,8 daq kg⁻¹; P e K de 8 e 187 mg dm⁻³, respectivamente; e Ca, Mg, Al, H+Al e CTCefetiva de 1,42; 0,67; 0,13; 2,00 e 2,70 cmolc dm⁻³, respectivamente.

Visando a adequação do teor de fósforo a nível de 25 mg.dm⁻³ e a elevação do teor de matéria orgânica a fim de promover a melhor condição física de solo, foram acrescidos para incorporação em proporção a 1 m³ de solo, 165 g de P₂O₅ e 100 kg de compostagem bovina, respectivamente. Após homogeneização do solo e peneiramento foi procedido o transplântio das mudas. Essas foram mantidas 120 DAT (dias após transplântio), com aplicações de fertilizantes foliares e fertilizante nitrogenado em intervalos de 30 dias, realizadas até a data de aplicação dos tratamentos. A irrigação foi mantida por sistema de gotejamento com capacidade de vazão de 1,2 L h⁻¹, com uma lâmina de 0,3 L por vaso, mantendo a capacidade de campo do solo, em intervalos de 24 horas. Para isso utilizou-se de sistema de automatização por timer analógico devidamente programado para período de rega de 15 minutos, acoplado a uma válvula solenoide na linha de distribuição, a qual ligava e desligava o sistema da irrigação.

2.1 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em duplicata (experimento I e experimento II), em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 × 5 + 1, com 4 repetições, onde foram consideradas duas composições de calda de herbicidas (dicamba e dicamba + glifosato) e cinco subdoses (0,25; 1; 5; 10 e 20%) dos respectivos ativos e, um tratamento adicional considerado como testemunha absoluta (Tabela 1). Para o preparo das caldas dos tratamentos propostos foi considerada uma solução com 100% da dose com 560 g e.a. ha⁻¹ de dicamba (ácido 3,6-dicloro-o-anisico), produto comercial Atectra® (BASF SA, Brasil), e 1.000 g e.a. ha⁻¹ de glifosato (sal potássico de N-(phosphonomethyl) glycine), produto comercial Zapp QI620 (Syngenta SA, Brasil).

As parcelas experimentais foram constituídas de três plantas, onde as plantas ficaram espaçadas entre si por 0,5 m e 1 m entre blocos.

Tabela 1. Tratamentos experimentais propostos

Tratamento	Calda	Subdose (%)
T1	Dicamba	0,25
T2	Dicamba	1
T3	Dicamba	5
T4	Dicamba	10
T5	Dicamba	20
T6	Dicamba + Glifosato	0,25 + 0,25
T7	Dicamba + Glifosato	1 + 1
T8	Dicamba + Glifosato	5 + 5

T9	Dicamba + Glifosato	10 + 10
T10	Dicamba + Glifosato	20 + 20
T11(testemunha)	0	0

2.2 Preparo das caldas

Para o preparo da calda, as doses foram calculadas para um depósito com capacidade de 2 litros, volume necessário para abastecimento das garrafas pets usadas no pulverizador (Tabela 2).

Tabela 2. Subdoses dos ativos utilizadas na simulação da deriva

Subdose (%)	g e.a. ha ⁻¹		μL do p.c. *	
	Dicamba	Glifosato	Dicamba	Glifosato
0,25	1,4	2,5	39	67
1	5,6	10	155	267
5	28	50	777	1333
10	56	100	1555	2667
20	112	200	3109	5333

e.a. – equivalente ácido; * - volume em μL do produto comercial para o preparo de um volume de 2 L de calda (reservatório do CO₂).

2.3 Metodologia de aplicação

A simulação da deriva dos herbicidas foi realizada no dia 06/06/2021 (experimento I) e 21/06/2021(experimento II), visando a realização de duplicata experimental.

Para tal foi utilizado um pulverizador costal de pressão constante, com reservatório de CO₂ com capacidade de carga de 2 kg e reservatório de calda tipo garrafa pet de 2 L, equipado com barra de aplicação com apenas um bico. Foi instalada ponta de pulverização tipo leque da marca Hypro, modelo GRD 12002, com ângulo de abertura de leque de 120° e vazão nominal de 0,757 L min⁻¹ a 280 kPa. Segundo o fabricante, apresenta espectro de gotas finas a muito finas.

Para a aplicação dos tratamentos a campo, a ponta de pulverização foi mantida a 0,5 m de distância da copa dos cafeeiros, com a aplicação em movimento tipo zigue-zague visando cobrir toda a parte aérea das plantas. A condição de trabalho foi mantida buscando uma taxa de aplicação de 150 L ha⁻¹, com aproximadamente 7,5 mL planta⁻¹. Para a redução da deriva física paras as demais parcelas foi desenvolvido uma estrutura metálica envolvida com polietileno,

onde essa era posicionada de modo a manter a aplicação nas três plantas úteis da parcela (Imagem 2).

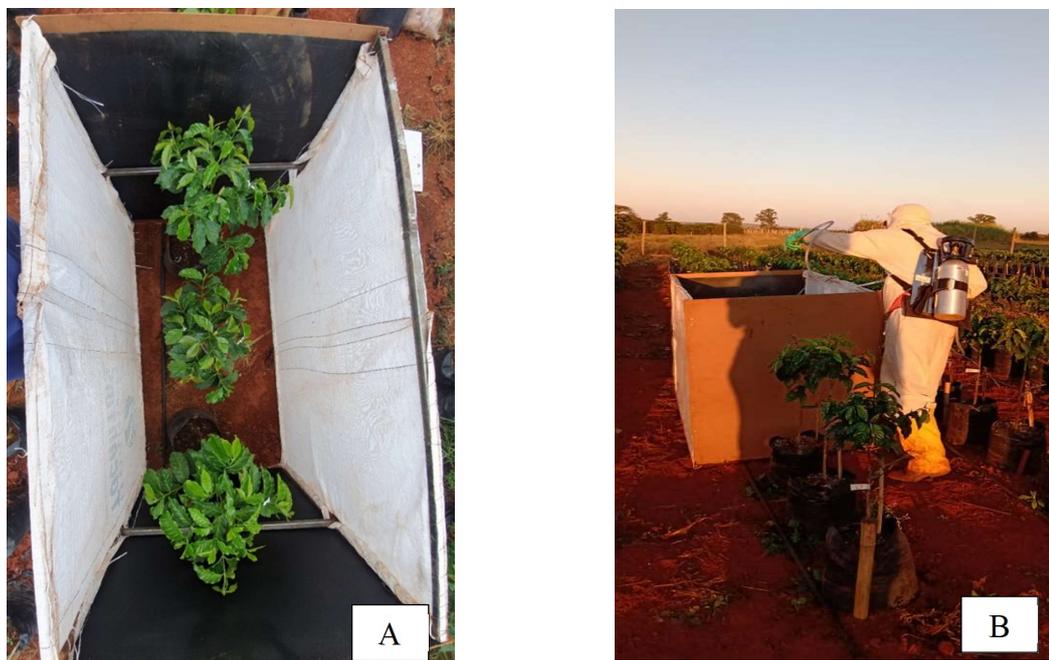


Imagem 2. A - Aparato utilizado para a proteção da deriva física entre as parcelas; B - aplicação realizada na parcela experimental.

As condições meteorológicas em ambos os campos foram monitoradas em tempo real com auxílio de um termo-higro-anemômetro modelo LM-800 (Instrutherm, São Paulo, Brasil) (Tabela 3).

Tabela 3. Condições médias meteorológicas durante as aplicações dos tratamentos propostos

Campo	Temperatura (°C)	UR (%)	Velocidade do vento (m s ⁻¹)
I	20,5	70	0,7
II	22,9	66	1,1

2.4 Variáveis analisadas

Foi realizada avaliação de danos, empregando-se escala de notas adaptada de França et al. (2013), com escala de 0 a 100%, onde 0 se remetia à planta sem nenhum sintoma, 10-30% às folhas com sintomas visuais tendendo a mudança de formato do limbo foliar, 40-60% aos danos foliares com a necrose do tecido vegetal e 70-100% à morte das gemas apicais e necrose generalizada do ramo, onde 100% classificariam morte da planta. As avaliações foram

realizadas aos 7, 15, 30, 60, 90 e 120 DAA (dias após a aplicação), observando-se as 3 plantas centrais da parcela de forma a se obter a condição média de sintoma. Junto a essa avaliação foi procedida a descrição de sintomas por meio de anotação.

As demais variáveis analisadas e respectivas metodologias de avaliação foram feitas seguindo metodologia adaptada de Metodologia adaptada de Dubberstein et al. (2020). Onde, com auxílio de um trena rígida determinou-se a altura de planta tomando a altura das três plantas centrais da parcela, considerando o ponto ao nível do solo até a gema apical e diâmetro de copa foi determinado o diâmetro médio de copa, através da medida entre extremidades dos ramos plagiotrópicos do terço médio da planta; com auxílio de uma trena flexível foi determinado o comprimento de ramo no terço médio nas três plantas centrais da parcela, em ambos os lados da planta, do ponto de inserção no ramo ortotrópico até o ponto de crescimento do ramo e número de internódio - nos mesmos ramos onde foi determinado o comprimento de ramo foi realizada a contagem direta do número de internódios. Essas procedidas aos 0, 30, 60, 90 e 120 DAA e, pôr fim ao final do experimento foi calculada taxa de crescimento de cada variável biométrica avaliada por meio da diferença entre o crescimento dentro do período sobre o tempo correspondente, onde taxa de crescimento = $(\text{Crescimento final} - \text{Crescimento inicial}) / \text{tempo}$ de quatro meses.

2.5 Análises estatísticas

A normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias analisadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), realizada análise de regressão para estudo das subdoses dos produtos, teste F para comparação das médias dos fatores, e teste de Dunnett para comparações das médias dos fatores e a testemunha. Para isso foi utilizado software de análises estatísticas R Core Team (2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais sintomas visuais após a deriva simulada de dicamba e dicamba + glifosato sobre o cafeeiro em estágio inicial de desenvolvimento podem ser observados na Imagem 3.

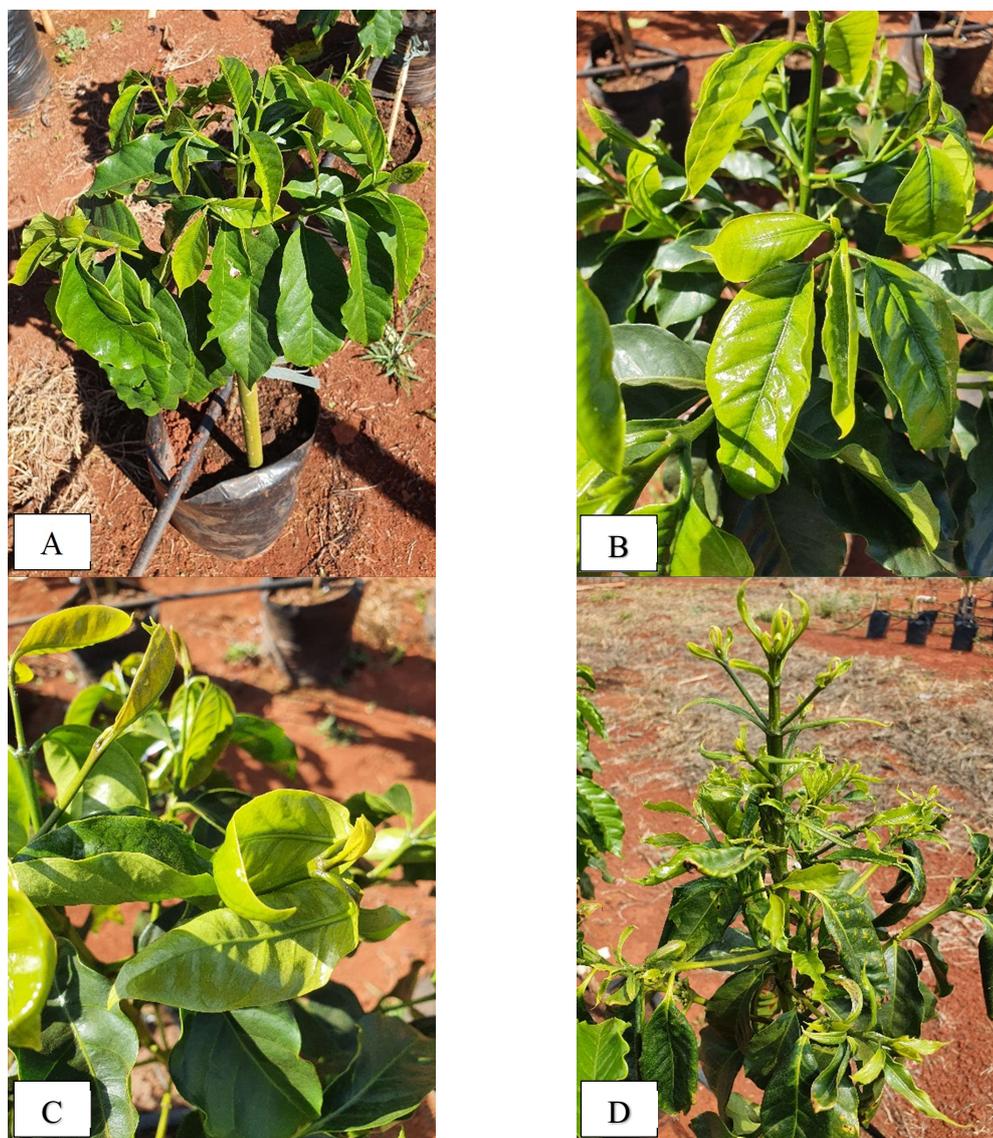


Imagem 3. Sintomas fitotóxicos da deriva simulada de dicamba e dicamba + glifosato na cultura do cafeeiro em estágio inicial de desenvolvimento. (A) Planta jovem sem sintomas fitotóxicos. (B) Epinastia foliar em estágio inicial. (C) Epinastia foliar no primeiro par de folha com curvatura em direção ao ramo ortotrópico da planta. (D) Alteração de distância de internódios, com deformação drástica do formato de folhas jovens em comprimento e largura, necrose das bordaduras de folhas jovens, além do aspecto coreáceo de folhas desenvolvidas.

Plantas jovens de cafeeiros naturalmente apresentam maior suscetibilidade às injúrias causadas por herbicidas de forma geral. Em ambos os campos foi possível observar necrose em folhas jovens nas maiores subdoses e composições testadas, porém, mesmo com esses sintomas, não foi possível chegar à morte de ramos nem tão pouco morte das plantas para os tratamentos empregados.

Experimento I

Os dados obtidos em relação a fitotoxidez ocasionada pelos tratamentos sobre plantas jovens de cafeeiro demonstraram que, independentemente da data da avaliação, houve efeito das subdoses, e apenas aos 15, 30 e 60 DAA houve diferença em relação a calda utilizada e às subdoses empregadas. Observou-se ainda que em todos os períodos de avaliação houve efeito entre a testemunha e os tratamentos propostos (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para percentual de fitotoxidez ocasionada no cafeeiro pela deriva simulada de dicamba e dicamba + glifosato em diferentes subdoses

F.V.	p-valor					
	7 DAA	15 DAA	30 DAA	60 DAA	90 DAA	120 DAA
Calda	0,175	0,001*	0,001*	0,009*	0,155	0,191
Subdose	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*
Calda x Subdose	0,131	0,002*	0,019*	0,012*	0,361	0,157
Adicional x Fatorial	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*
Bloco	0,551	0,057	0,604	0,932	0,592	0,071
Homogeneidade	0,057	0,049*	0,117	0,124	0,048*	0,031*
Normalidade	0,062	0,106	0,067	0,435	0,377	0,404
C.V. (%)	24,64	15,60	15,91	15,38	17,03	23,29

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$).

As subdoses empregadas não foram capazes de levar à morte das plantas, com ou sem a adição do glifosato em calda. Independente do período de avaliação, a testemunha não apresentou efeitos fitotóxicos da deriva simulada dos tratamentos empregados. Observou-se que aos 15, 30 e 60 DAA, a adição de glifosato à calda elevou as médias de danos fitotóxicos. Independente das datas de avaliação e das subdoses empregadas observou ainda que mesmo em plantas jovens, não foram identificados danos superiores a 40% (Tabela 7).

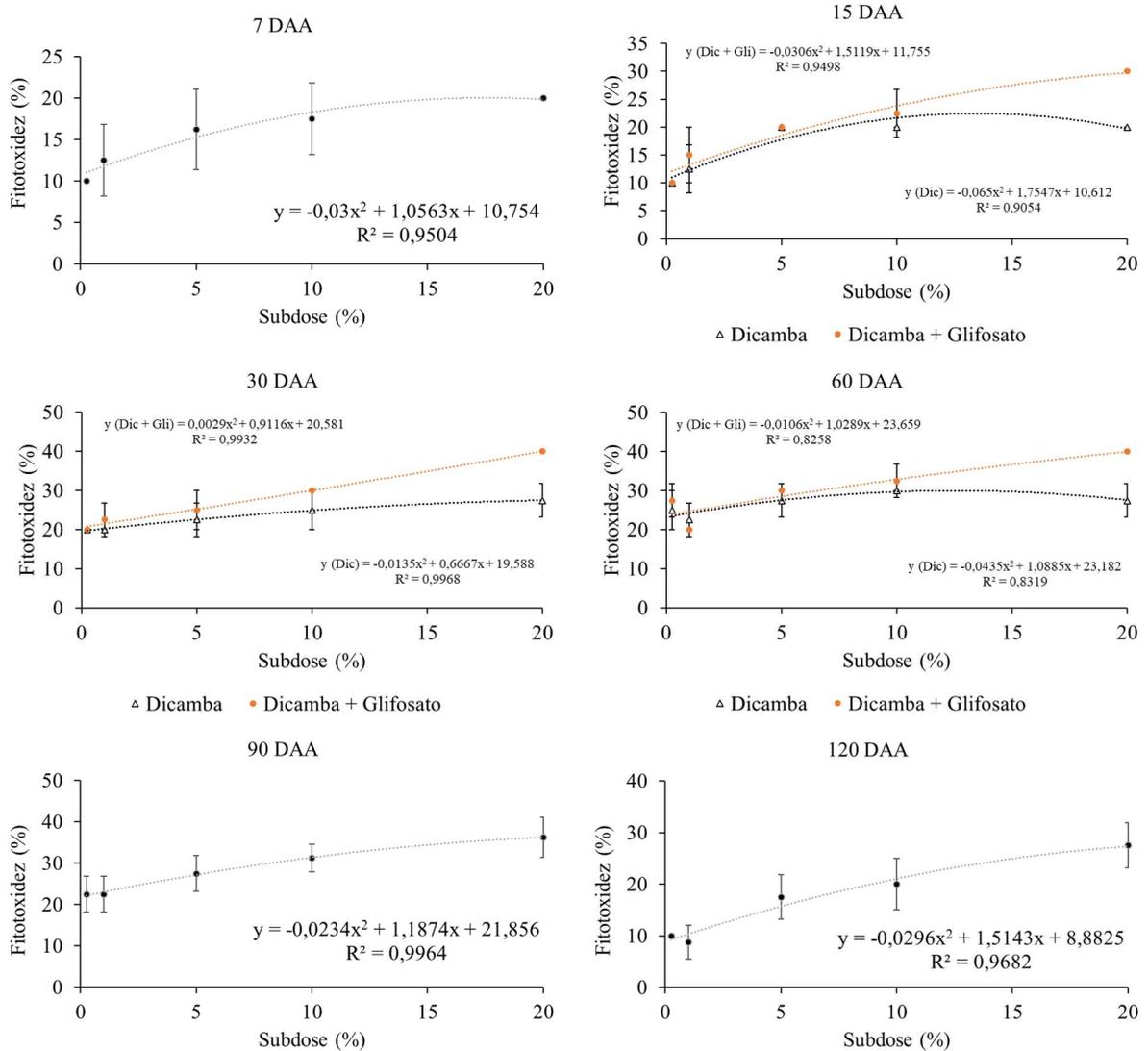
Tabela 7. Médias de fitotoxidez (%) observados em cafeeiros após a aplicação de tratamentos de herbicidas e diferentes subdoses

Subdose (%)	Fitotoxidez (%)											
	7 DAA		15 DAA		30 DAA		60 DAA		90 DAA		120 DAA	
	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli
0,25	10,00*	10,00*	10,00A*	10,00A*	20,00A*	20,00A*	25,00A*	27,50A*	22,50*	22,50*	10,00*	10,00*
1	10,00*	15,00*	12,50A*	15,00A*	20,00A*	22,50A*	22,50A*	20,00A*	22,50*	22,50*	10,00*	10,00*
5	17,50*	15,00*	20,00A*	20,00A*	22,50A*	25,00A*	27,50A*	30,00A*	27,50*	27,50*	17,50*	17,50*
10	15,00*	20,00*	20,00A*	22,50A*	25,00A*	30,00A*	30,00A*	32,50A*	30,00*	32,50*	17,50*	22,50*
20	20,00*	20,00*	20,00A*	30,00B*	27,50A*	40,00B*	27,50A*	40,00B*	32,50*	40,00*	25,00*	30,00*
Testemunha	0		0		0		0		0		0	

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$). Médias seguidas de * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). Dic = dicamba; Dic + Gli = dicamba + glifosato.

Haring et al. (2022) ressaltaram em seu trabalho em videira, que plantas jovens tendem a maior susceptibilidade à ação de herbicidas auxínicos em comparação com plantas adultas. No presente estudo, a adição do herbicida glifosato junto ao dicamba se mostrou um potencializador das injúrias ocasionados sobre a cultura do cafeeiro em estágio inicial de desenvolvimento, resultados semelhantes encontrados por Dintelmann et al. (2019) avaliando os efeitos fitotóxicos da deriva simulada de dicamba isolado e em mistura com glifosato em diferentes subdoses empenhadas, onde obtiveram maiores efeitos fitotóxicos independente da subdose quando utilizado a mistura.

O aumento da subdose dos herbicidas elevou a fitotoxidez progressivamente com tendência polinomial nas diferentes datas de avaliação. Aos 15, 30 e 60 DAA observou-se que a calda com glifosato em mistura apresentou as maiores médias de danos fitotóxicos, diferindo da calda com dicamba (Prancha gráfica 1).



Prancha gráfica 1. Comportamento fitotóxico de subdoses de dicamba e dicamba + glifosato em diferentes momentos após a simulação de deriva no cafeeiro. Dic = dicamba; Dic + Gli = dicamba + glifosato.

A tendência de elevação de sintomas é notória com o aumento da subdose. Efeitos semelhantes foram encontrados por Haring et al. (2022), avaliando efeitos da deriva simulada de diferentes herbicidas auxínicos sobre a cultura da uva. Evidencia-se, desta forma, a importância do manejo da tecnologia de aplicação desses ativos em áreas adjacentes aos cultivos não alvos da aplicação.

Para a variável altura de planta, observou-se efeitos significativos para o aumento das subdoses empregadas aos 30 e 60 DAA, com interação entre herbicidas utilizados e subdoses empregadas aos 90 e 120 DAA. Para a variável taxa de crescimento de altura de planta, apenas o fator subdose apresentou efeito significativo. Observando-se a variável diâmetro de copa, nota-se efeito significativo entre os tratamentos empregados e a testemunha aos 30, 60 e 90 DAA. Aos 120 DAA apenas a fator subdoses mostrou efeito para diâmetro de copa (Tabela 8).

Tabela 8. Resumo da análise de variância para altura e diâmetro de copa de plantas de café submetidas a aplicação de tratamentos de herbicidas e diferentes subdoses em condição de deriva simulada

F.V.	p-valor											
	Altura de planta						Diâmetro de copa					
	0	30	60	90	120	T.C.	0	30	60	90	120	T.C.
Calda	0,887	0,769	0,697	0,263	0,561	0,338	0,892	0,281	0,313	0,288	0,810	0,659
Subdose	0,283	0,008*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,561	0,757	0,606	0,285	0,036*	0,062
Calda x Subdose	0,275	0,472	0,175	0,041*	0,015*	0,054	0,573	0,340	0,307	0,431	0,340	0,923
Adicional x Fatorial	0,201	0,711	0,624	0,662	0,147	0,757	0,892	0,027*	0,009*	0,004*	0,129	0,058
Bloco	0,449	0,237	0,302	0,081	0,051	0,112	0,829	0,267	0,271	0,237	0,286	0,493
Homogeneidade	0,543	0,814	0,704	0,505	0,764	0,094	0,978	0,903	0,845	0,205	0,498	0,665
Normalidade	0,822	0,953	0,203	0,485	0,663	0,844	0,253	0,405	0,617	0,398	0,875	0,331
C.V. (%)	5,47	5,41	4,73	4,54	4,34	13,64	10,62	10,32	9,45	8,81	8,33	24,24

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). T.C. = taxa de crescimento. 0, 30, 60, 90 e 120 = dias após a aplicação.

Subdoses superiores a 5% com glifosato na composição, reduziram significativamente a altura de planta aos 90 e 120 DAA, onde aos 120 DAA foi possível observar redução de 6,89% comparada a calda com apenas dicamba a 20% (Tabela 9).

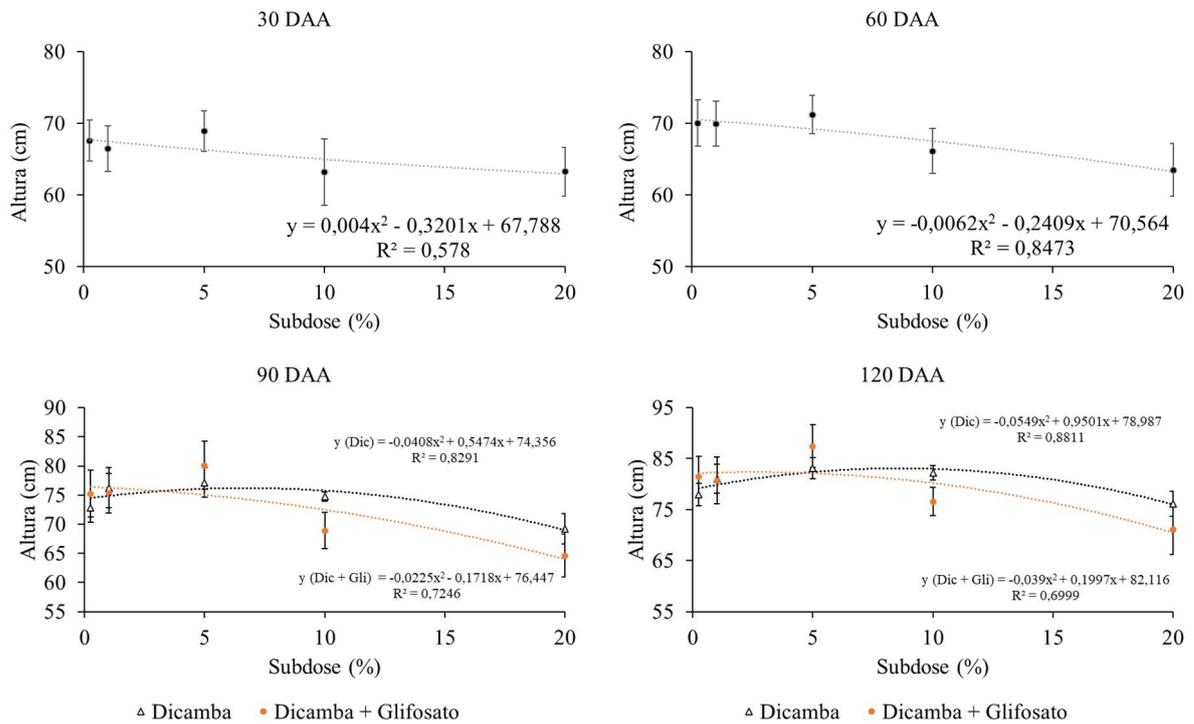
Tabela 9. Altura de planta (cm) de plantas de cafeeiro submetidas a diferentes composições de calda de herbicidas e subdoses aplicados em condição de deriva simulada

Subdose (%)	Altura de planta (cm)			
	90 DAA		120 DAA	
	Dicamba	Dic + Gli	Dicamba	Dic + Gli
0,25	72,83A	75,25A	77,92A	81,50A
1	76,25A	75,33A	81,00A	80,71A
5	77,17A	80,08A	83,17A	87,42A
10	74,75A	68,92B	82,25A	76,58B
20	69,17A	64,58B	76,17A	71,08B
Testemunha	72,70		77,10	

Médias seguidas de letras maiúscula distintas na linha diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Dic = dicamba; Dic + Gli = dicamba + glifosato.

França et al. (2013) utilizando doses crescentes (57,6 a 460,8 g i.a ha⁻¹) de glifosato sobre a cultura do cafeeiro em situação de deriva simulada, observaram aos 120DAA redução significativa no parâmetro altura de plantas, o que pode corroborar com os dados obtidos nesse trabalho.

O aumento da subdose empregada interferiu diretamente sobre os parâmetros altura de planta e taxa de crescimento, com comportamento polinomial em todas as datas de avaliação, com diferença significativa entre as composições de caldas aos 90 e 120 DAA. Nesse caso a adição do glifosato promoveu redução significativa no parâmetro altura de planta (Prancha gráfica 2). Para a variável taxa de crescimento de altura de planta, notou-se efeito polinomial no comportamento gráfico, com tendência a elevação da taxa nas subdoses de 1 e 5% e posteriormente redução em subdoses superiores (Gráfico 1).



Prancha gráfica 2. Efeito de subdoses do herbicida dicamba isolado e em mistura com glifosato em diferentes épocas de avaliação sobre a altura de plantas.

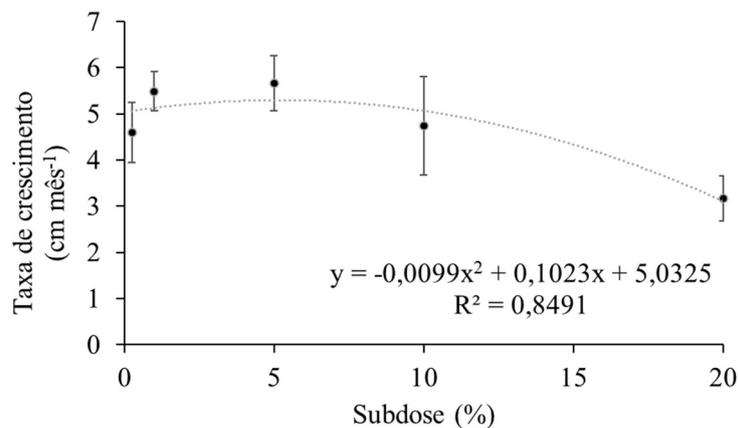


Gráfico 1. Taxa de crescimento de altura de cafeeiros (cm mês^{-1}) submetidos a diferentes subdoses de herbicidas em condição de deriva simulada.

Pela análise dos gráficos de comportamento da altura de plantas aos 30 e 60 DAA, verifica-se que possivelmente os herbicidas estavam no pico de ação metabólica nas plantas, o que levou a uma redução drástica no crescimento de planta. Após esse período, com a metabolização, as subdoses empregadas apresentaram comportamentos distintos nas datas

subsequentes. O acréscimo da altura das plantas aos 90 e 120 DAA na subdose de 5% em ambas as caldas, evidenciado também na subdose de 1% para a variável taxa de crescimento, pode ser explicado pelo estímulo na redução da síntese de etileno e alongamento celular promovida pela auxina (Grossmann; Hansen, 2001), o que pode explicar o comportamento polinomial dessas variáveis. Comportamento semelhante obtidos aos 90 e 120 DAA também foi relatado por Velini et al. (2008), avaliando subdoses de glifosato (1,8 a 36 g e.a. ha⁻¹) em pinus.

O emprego da subdose de 20% com dicamba e glifosato em mistura interferiu no diâmetro de copa aos 30, 60 e 90 DAA em comparação a testemunha, com uma redução de 26,55%, 27,66% e 30,11% respectivamente (Tabela 10).

Tabela 10. Diâmetro de copa (cm) de plantas de cafeeiro submetidas a diferentes composições de calda de herbicidas e subdoses aplicados em condição de deriva simulada

Subdose (%)	Diâmetro de copa (cm)					
	30 DAA		60 DAA		90 DAA	
	Dicamba	Dic + Gli	Dicamba	Dic + Gli	Dicamba	Dic + Gli
0,25	32,33	33,08	32,86	33,75	34,58	35,67
1	33,09	29,92	33,58	30,83	36,50	34,17
5	31,74	32,50	32,49	33,91	35,17	35,92
10	31,50	32,00	32,25	32,00	34,92	34,22
20	32,83	28,25*	33,25	28,92*	34,50	30,42*
Testemunha	35,75		36,92		39,58	

Médias seguidas de * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). Dic = dicamba; Dic + Gli = dicamba + glifosato.

Subdoses elevadas, a exemplo das utilizadas nesse trabalho de 20% (112 e 200 g e.a. ha⁻¹ de dicamba e glifosato, respectivamente) demonstraram ser altamente danosas a parâmetros biométricos e produtivos de diversas espécies vegetais, como demonstrado por Brooke et al. (2021), avaliando diferentes subdoses de ativos e composições de calda com dicamba e glifosato, observaram danos expressivos em sintomas fitotóxicos e parâmetros produtivos na cultura da batata.

Notou-se efeito polinomial em relação ao diâmetro de copa das plantas, ao 120 DAA, submetidas à deriva simulada de dicamba isolado e em mistura com glifosato (Gráfico 2).

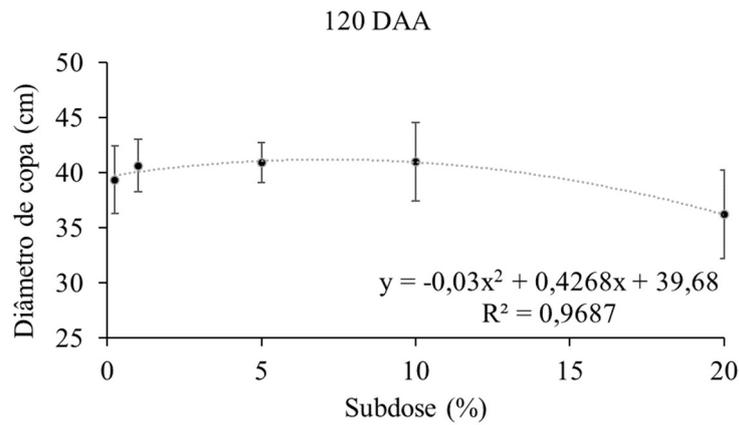


Gráfico 2. Diâmetro de copa (cm) de cafeeiros submetidos a diferentes subdoses de herbicidas em condição de deriva simulada.

De forma semelhante à variável altura de planta, efeitos diretos da ação de auxina sobre a divisão celular se correlacionam com os dados obtidos no presente trabalho para diâmetro de copa, também nesse tipo de parâmetro a divisão celular é inerente ao alongamento dos ramos plagiotrópicos (Hansen; Grossmann, 2001).

As subdoses dos ativos apresentaram efeito para a variável comprimento de ramo aos 120 DAA. Observou-se também que os tratamentos propostos apresentaram diferença em relação à testemunha aos 60 e 90 DAA e para taxa de crescimento. Em análise da variável número de internódios foi encontrado efeito em relação à testemunha, aos 30 e 60 DAA, como também foi observado efeito das subdoses empregadas para a taxa de crescimento dessa variável (Tabela 11).

Tabela 11. Resumo da análise de variância para comprimento de ramo e número de internódios de plantas de cafeeiro submetidas a aplicação de tratamentos de herbicidas e diferentes subdoses em condição de deriva simulada

F.V.	p-valor											
	Comprimento de ramo						Número de internódios					
	0	30	60	90	120	T.C	0	30	60	90	120	T.C
Calda	0,334	0,124	0,186	0,147	0,837	0,245	0,797	0,230	0,110	0,238	0,533	0,579
Subdose	0,642	0,347	0,254	0,105	0,008*	0,001*	0,704	0,659	0,068	0,058	0,195	0,006*
Calda x Subdose	0,219	0,282	0,294	0,316	0,145	0,748	0,180	0,070	0,248	0,309	0,157	0,363
Adicional x Fatorial	0,868	0,072	0,024*	0,035*	0,093	0,006*	0,700	0,072	0,097	0,074	0,379	0,444
Bloco	0,296	0,146	0,134	0,071	0,050	0,228	0,192	0,082	0,057	0,092	0,143	0,577
Homogeneidade	0,901	0,912	0,844	0,183	0,305	0,900	0,342	0,761	0,540	0,176	0,199	0,781
Normalidade	0,663	0,699	0,977	0,372	0,498	0,907	0,756	0,666	0,365	0,933	0,992	0,453
C.V. (%)	12,32	10,55	10,53	9,38	8,98	20,96	14,77	11,59	10,60	9,44	9,30	14,69

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). T.C = taxa de crescimento. 0, 30, 60, 90 e 120 = dias após a aplicação.

A adição de glifosato à calda em maior concentração reduziu drasticamente o comprimento de ramo aos 60 e 90 DAA, 28,80% e 27,80% respectivamente, assim como a taxa de crescimento, com uma redução de 92,25%, com redução de 166,67% em relação a testemunha com a calda com apenas dicamba (Tabela 12).

Tabela 12. Comprimento de ramo (cm) e taxa de crescimento (cm mês⁻¹) de plantas de cafeeiro submetidas a diferentes composições de calda de herbicidas e subdoses em condição de deriva simulada

Subdose (%)	Comprimento de ramo (cm)					
	60 DAA		90 DAA		T.C. (cm mês ⁻¹)	
	Dicamba	Dic + Gli	Dicamba	Dic + Gli	Dicamba	Dic + Gli
0,25	23,92	24,91	25,24	25,92	2,09	2,14
1	24,58	21,08	26,79	23,42	2,17	2,13
5	23,34	23,71	25,67	26,34	1,95	2,31
10	22,96	22,58	25,21	24,28	1,79	1,81
20	23,00	20,25*	24,17	21,58*	0,93*	1,29*
Testemunha	26,08		27,58		2,48	

Médias seguidas de * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). Dic = dicamba; Dic + Gli = dicamba + glifosato. T.C. = taxa de crescimento.

De forma semelhante às variáveis altura de planta e diâmetro de copa observou-se efeito deletério da ação conjunta de dicamba e glifosato na maior subdose utilizada. Isso enfatiza a ação desses ativos sobre os parâmetros biométricos estudados nesse trabalho. Mesmo sem efeito significativo nas demais subdoses, a taxa de crescimento de comprimento de ramo é um indicador para alterações drásticas causadas pela ação de herbicidas auxínicos em conjunto com glifosato sobre mudas de cafeeiro em estágio inicial de desenvolvimento.

O aumento das subdoses no crescimento dos ramos apresentou efeito polinomial tanto aos 120 DAA, como também para a taxa de crescimento, com ligeira elevação de valores observados na subdose de 5% (Gráficos 3 e 4).

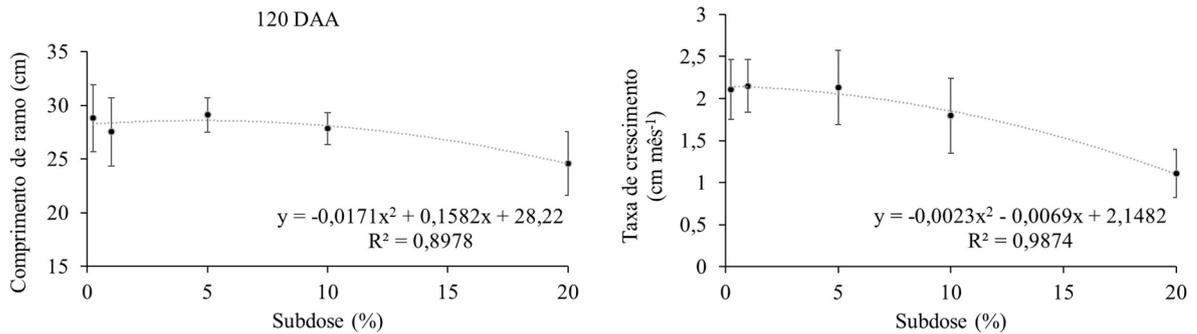


Gráfico 3 e 4. Comprimento de ramo (cm) e taxa de crescimento de comprimento de ramo (cm mês⁻¹) de plantas de café submetidas a diferentes subdoses de herbicidas em condição de deriva simulada.

Os efeitos deletérios em parâmetros de crescimento em subdoses superiores a 10% dos ativos são expressivos, visto que se observa uma redução de aproximadamente 50% na taxa de crescimento comparada às obtidas nas subdoses inferiores a 20%. De fato, a subdose de 20% somente ocorreria em uma situação de deriva direta dos ativos sobre a cultura, seja por ação de vento no momento da aplicação, ou pela própria aplicação dirigida à cultura não alvo em casos extremos de operação malsucedida. A resposta hormonal acrescentando os valores da subdose de 5% também pode ser observada nessa variável resposta, ressaltando novamente o efeito de subdoses no que se diz respeito ao desequilíbrio hormonal ocasionado.

A alteração na taxa de crescimento de número de internódios foi significativa à medida em que se elevaram as subdoses dos ativos, com efeito linear (Gráfico 5).

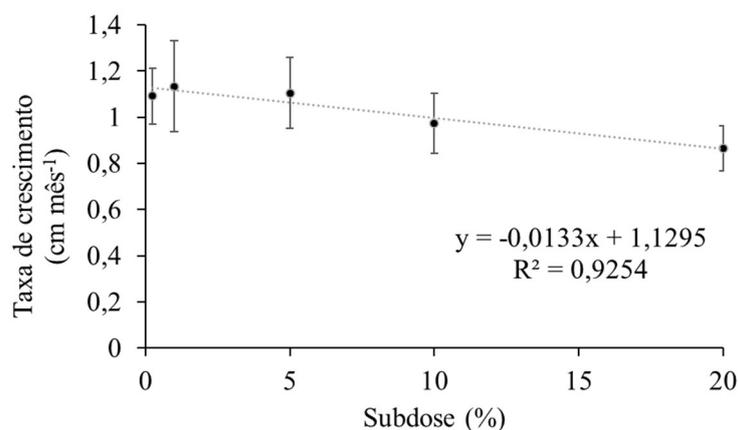


Gráfico 5. Taxa de crescimento de número de internódios (n mês⁻¹) de plantas de café submetidas a diferentes subdoses de herbicidas em condição de deriva simulada.

O número de internódios se correlaciona diretamente com a produtividade, assim, alterações por menores que sejam nessa variável acarretarão diretamente em alterações produtivas em anos subsequentes. Essa redução na quantidade de internódios pode ser correlacionada com os menores valores de comprimento de ramo obtidos nesse trabalho, quando utilizada a maior subdose dos ativos em mistura.

Experimento II

Para a variável fitotoxidez não foi observado interação significativa entre os fatores calda e subdose. Porém, observa-se efeito significativo em todos os períodos de avaliação para as subdoses empregadas, como também efeito entre as médias dos tratamentos propostos e a testemunha (Tabela 14).

Tabela 14. Resumo da análise de variância para percentual de fitotoxidez ocasionado na cultura do cafeeiro pela deriva simulada de dicamba e dicamba + glifosato em diferentes subdoses

F.V.	p-valor					
	7 DAA	15 DAA	30 DAA	60 DAA	90 DAA	120 DAA
Calda	0,303	0,068	0,141	0,598	0,079	0,653
Subdose	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*
Calda x Subdose	0,375	0,079	0,107	0,886	0,081	0,164
Adicional x Fatorial	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*
Bloco	0,406	0,816	0,064	0,095	0,948	0,191
Homogeneidade	0,123	0,087	0,068	0,044*	0,049*	0,032*
Normalidade	0,082	0,114	0,789	0,296	0,125	0,056
C.V. (%)	10,53	15,41	16,64	13,45	16,37	19,98

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$).

Por serem herbicidas hormonais e as épocas de aplicação serem diferentes, pode-se explicar o comportamento distinto dos dados obtidos em comparação ao experimento I, relacionando com a capacidade de absorção e translocação dos ativos nas plantas em condições meteorológicas distintas (Xie; Hsiao; Quick, 1996). Onde no mês de julho do ano de 2021, foram observadas as menores médias de temperatura na região, com temperaturas inferiores a 11°C nos primeiros 15 DAA dos tratamentos (SISMET COOXUPÉ, 2023).

Independente da época de avaliação, a deriva simulada sobre mudas de cafeeiro apresentou efeitos deletérios, diferindo significativamente da testemunha avaliada (Tabela 15).

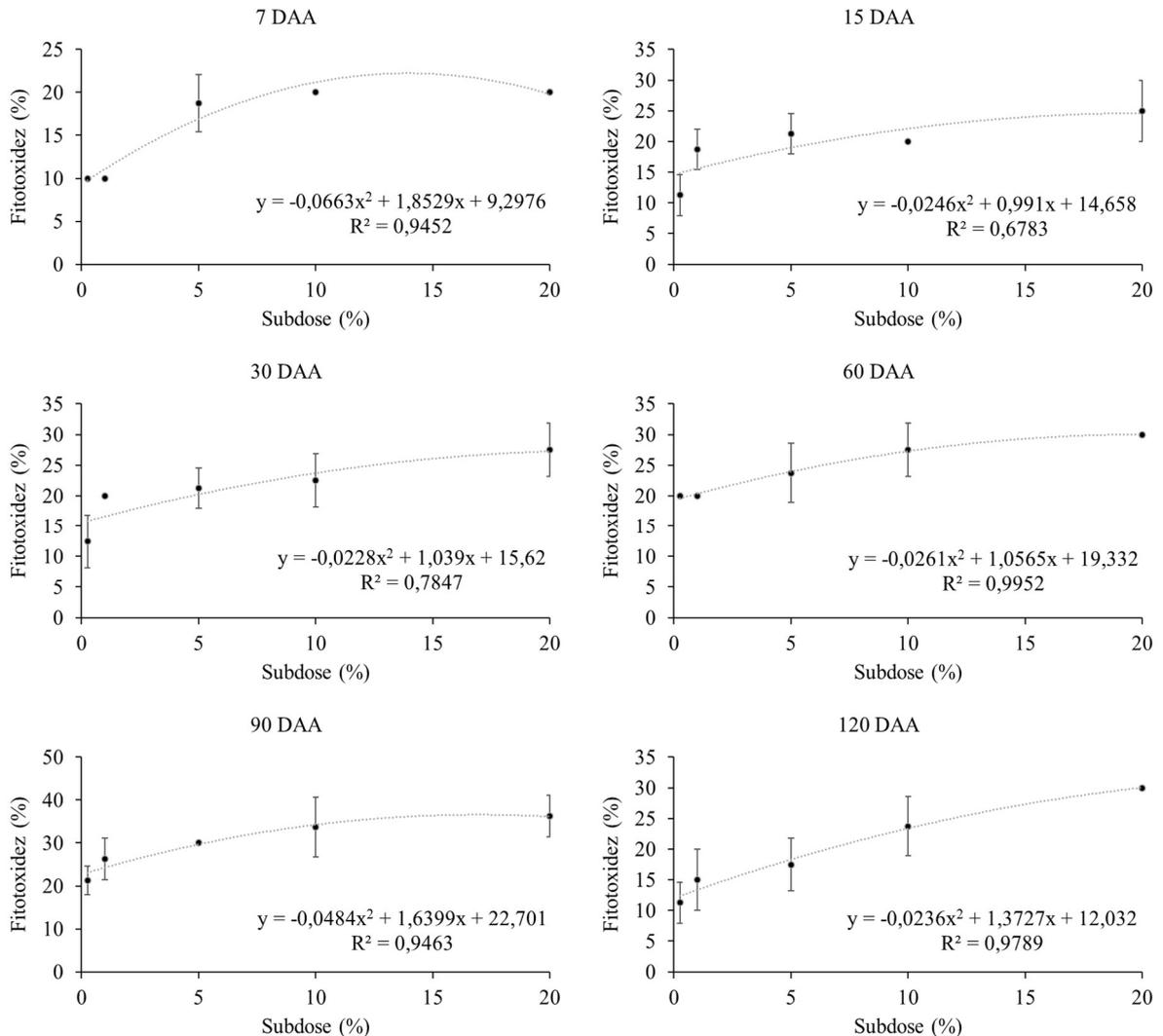
Tabela 15. Médias de fitotoxidez (%) observados em cafeeiros após a aplicação de tratamentos de herbicidas e diferentes subdoses

Subdose (%)	Fitotoxidez (%)											
	7 DAA		15 DAA		30 DAA		60 DAA		90 DAA		120 DAA	
	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli	Dic	Dic + Gli
0,25	10,00*	10,00*	12,50*	10,00*	10,00*	15,00*	20,00*	20,00*	22,50*	20,00*	10,00*	12,50*
1	10,00*	10,00*	17,50*	20,00*	20,00*	20,00*	20,00*	20,00*	22,50*	30,00*	10,00*	15,00*
5	20,00*	17,50*	20,00*	22,50*	20,00*	22,50*	22,50*	25,00*	30,00*	30,00*	20,00*	17,50*
10	20,00*	20,00*	20,00*	20,00*	22,50*	20,00*	27,50*	27,50*	35,00*	32,50*	25,00*	22,50*
20	20,00*	20,00*	25,00*	30,00*	25,00*	30,00*	30,00*	30,00*	32,50*	40,00*	30,00*	30,00*
Testemunha	0		0		0		0		0		0	

Médias seguidas de * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). Dic = dicamba; Dic + Gli = dicamba + glifosato.

A ação do herbicida dicamba sobre culturas não alvos em subdoses se destaca pela agressividade em curto período após aplicação. Roesler et al. (2020), avaliando o efeito da deriva simulada de dicamba em citrus, não observaram danos significativos sobre a cultura nas subdoses testadas e no período avaliado. No presente trabalho observa-se efeito crescente de sintomas até os 90DAA, com redução de sintomas visuais aos 120DAA. Isso pode ser explicado pelo aumento do metabolismo das plantas devido ao início das chuvas e condições meteorológicas ao desenvolvimento vegetativo no final do experimento (novembro, período chuvoso na região).

O aumento das subdoses apresentaram efeitos semelhantes ao experimento I, com comportamento polinomial em todas as datas de avaliação. Observou-se ainda incremento de sintoma visual na subdose de 5% nas datas avaliadas, justificando assim o comportamento polinomial dos sintomas fitotóxicos como observado na prancha gráfica 3.



Prancha gráfica 3. Comportamento fitotóxico de subdoses de dicamba e dicamba + glifosato em diferentes momentos após a simulação de deriva na cultura do café em área comercial.

Uma possível explicação para esse comportamento polinomial dos efeitos fitotóxicos das subdoses empregadas é a subdose de 5% ter ocasionado uma reação de agressividade de desbalanço hormonal. Como mostrado nos dados do experimento I, essa subdose ocasionou em algumas situações incremento nos parâmetros biométricos, além disso apresentou sintomas característicos da deriva de auxinas expressivos.

A diferença entre datas de aplicação entre o experimento I e o experimento II, interferiu diretamente no comportamento dos tratamentos sobre as plantas, fato esse possivelmente correlacionado ao comportamento ambiental da região durante o período de avaliação, o que pode estar relacionado ao metabolismo de absorção dos ativos ou até mesmo metabolização desses. Aos 60 e 90 DAA ocorreu efeito significativo das subdoses na altura de planta. Em relação ao diâmetro de copa observou-se efeito apenas para taxa de crescimento para as subdoses testadas (Tabela 16).

Tabela 16. Resumo da análise de variância para altura e diâmetro de copa de plantas de cafeeiro submetidas a aplicação de tratamentos de herbicidas e diferentes subdoses em condição de deriva simulada

F.V.	p-valor											
	Altura de planta						Diâmetro de copa					
	0	30	60	90	120	T.C.	0	30	60	90	120	T.C.
Calda	0,790	0,311	0,255	0,264	0,818	0,995	0,600	0,946	0,712	0,781	0,441	0,469
Subdose	0,397	0,163	0,034*	0,001*	0,057	0,056	0,722	0,720	0,637	0,358	0,121	0,001*
Calda x Subdose	0,594	0,652	0,455	0,311	0,704	0,254	0,812	0,927	0,810	0,780	0,832	0,130
Adicional x Fatorial	0,235	0,980	0,651	0,501	0,583	0,064	0,579	0,957	0,716	0,325	0,767	0,190
Bloco	0,978	0,956	0,845	0,609	0,396	0,234	0,103	0,318	0,105	0,083	0,569	0,366
Homogeneidade	0,087	0,079	0,061	0,423	0,271	0,130	0,272	0,085	0,255	0,586	0,594	0,374
Normalidade	0,836	0,581	0,630	0,941	0,769	0,123	0,861	0,625	0,780	0,926	0,993	0,373
C.V. (%)	3,94	4,05	3,80	3,19	3,67	13,84	7,75	8,56	8,19	6,80	8,12	20,66

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$) ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). T.C. = taxa de crescimento. 0, 30, 60, 90 e 120 = dias após a aplicação.

Aos 60 e 90 DAA, observou-se efeito significativo em relação à altura de planta submetida a diferentes subdoses de herbicidas, com comportamento polinomial (Gráfico 6 e 7).

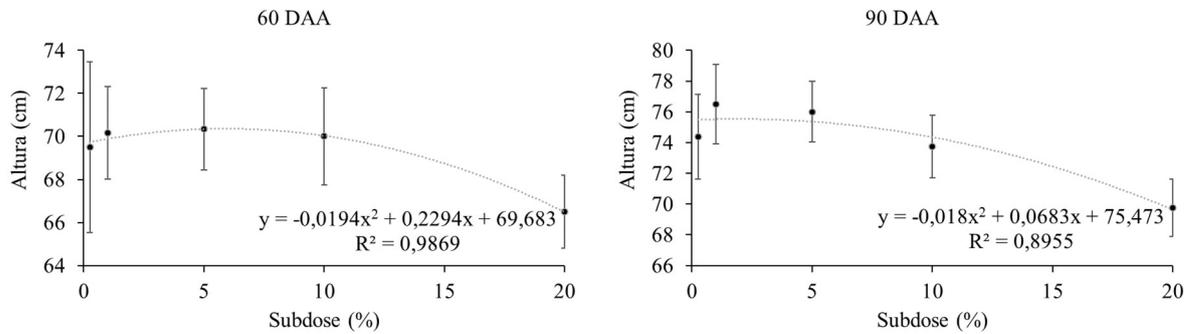


Gráfico 6 e 7. Altura (cm) de cafeeiros submetidos a diferentes subdoses de herbicidas em condição de deriva simulada.

Conforme dados obtidos no experimento I, a tendência polinomial pode ser explicada pelo estímulo ao crescimento das plantas submetidas às subdoses de 1 e 5%. Nunes et al. (2023), avaliando altura de plantas de soja submetidas à deriva simulada de herbicidas auxínicos observaram semelhantes, com a redução de altura de plantas a medida que ocorreu o aumento das subdoses.

Houve redução da taxa de crescimento do diâmetro de copa com o incremento das subdoses (Gráfico 8).

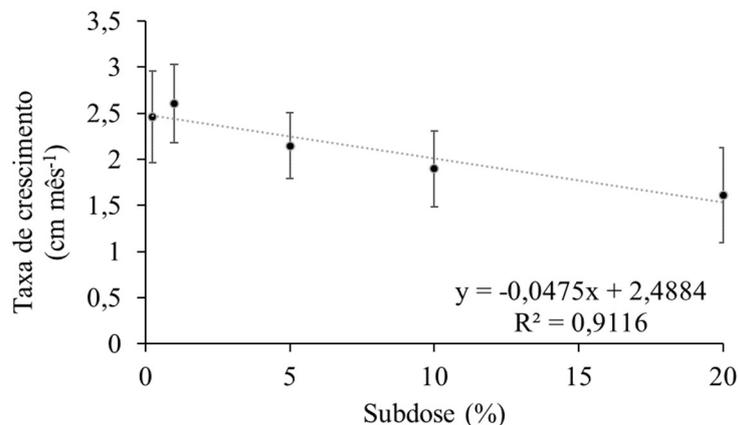


Gráfico 8. Taxa de crescimento de diâmetro de copa (cm mês⁻¹) de plantas de café submetidas a diferentes subdoses de herbicidas em condição de deriva simulada.

A ação de auxinas sintéticas se destaca pela alteração do metabolismo do etileno nos tecidos vegetais, essa alteração está diretamente relacionada ao fechamento estomático, o que ocasiona redução de crescimento e desenvolvimento vegetativo da planta (VOLTOLINI *et al.*, 2019), com consequente diminuição de parâmetros biométricos, como diâmetro de copa. Diferente do comportamento polinomial encontrado para altura de planta foi possível observar que mesmo que as plantas apresentassem tendência a alongamento em altura em baixas subdoses, por efeito hormonal, para a variável diâmetro de copa não tiveram incremento, logo como observado a campo, plantas com desordem de crescimento.

Plantas de cafeeiro que apresentam maior diâmetro de copa, consequentemente maior volume de material fotossinteticamente ativo, garantirão maior metabolização de nutrientes e aporte nutricional para os frutos em safras subsequente. Por isso, qualquer alteração ao desenvolvimento vegetal, nesse caso promovida pela ação de auxinas sintéticas e inibidores de EPSPS, resultarão em redução de produtividades em anos posteriores.

Para as variáveis comprimento de ramo e número de internódios, não foi observado efeito significativo dos tratamentos empregados, resultados distintos aos encontrados no experimento I (Tabela 17).

Tabela 17. Resumo da análise de variância para comprimento de ramo e número de internódios de plantas de cafeeiro submetidas a aplicação de tratamentos de herbicidas e diferentes subdoses em condição de deriva simulada

F.V.	p-valor											
	Comprimento de ramo						Número de internódios					
	0	30	60	90	120	T.C.	0	30	60	90	120	T.C.
Calda	0,709	0,868	0,788	0,987	0,539	0,706	0,101	0,136	0,521	0,260	0,110	0,706
Subdose	0,530	0,673	0,400	0,240	0,193	0,176	0,380	0,194	0,107	0,105	0,238	0,176
Calda x Subdose	0,729	0,664	0,665	0,895	0,892	0,306	0,180	0,060	0,123	0,343	0,161	0,300
Adicional x Fatorial	0,413	0,689	0,679	0,996	0,629	0,711	0,541	0,739	0,256	0,276	0,441	0,718
Bloco	0,078	0,168	0,132	0,248	0,505	0,099	0,147	0,278	0,108	0,394	0,427	0,097
Homogeneidade	0,312	0,146	0,272	0,440	0,921	0,946	0,947	0,867	0,783	0,110	0,671	0,946
Normalidade	0,630	0,905	0,615	0,785	0,677	0,337	0,109	0,972	0,247	0,209	0,689	0,337
C.V. (%)	9,37	9,40	8,78	7,92	8,08	28,08	9,97	8,14	8,13	6,74	6,94	28,08

F.V: fontes de variação; C.V: coeficiente de variação. * Significativo a 5% pelo teste F ($p < 0,05$). Homogeneidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$); Normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). T.C. = taxa de crescimento. 0, 30, 60, 90 e 120 = dias após a aplicação.

Conforme enfatizado anteriormente, alterações de comportamento entre o experimento I e II podem estar relacionadas ao comportamento ambiental da região durante o período de estudo, diante disso, avaliações completares sobre o comportamento de auxinas sintéticas em situação de deriva com ou sem a mistura com inibidores de EPSPS, em diferentes situações ambientais, são importantes, visando-se determinar possíveis alterações de comportamento fitotóxicos, como evidenciado nesse trabalho.

4. CONCLUSÕES

Subdoses superiores a 28 g ha⁻¹ de dicamba isolado e em mistura com glifosato ocasionaram maiores efeitos fitotóxicos, com redução significativa de parâmetros biométricos.

Os efeitos fitotóxicos do dicamba em mudas de cafeeiro mostraram-se dependentes da época de realização da deriva simulada, provavelmente em função das condições meteorológicas.

A ação das subdoses do herbicida dicamba sobre as mudas de cafeeiro apresentou efeito semelhante a outras culturas agrícolas.

Os principais efeitos fitotóxicos notados foram: epinastia foliar em estágio inicial no primeiro par de folhas com curvatura em direção ao ramo ortotrópico da planta, com posterior alteração de distância de internódios, com deformação drástica do formato de folhas jovens em comprimento e largura seguido de necrose das bordaduras de folhas jovens, além do aspecto coreáceo de folhas desenvolvidas.

A maior subdose empregada de dicamba (20%) isolado ou em mistura ao glifosato não foi suficiente para ocasionar danos drásticos às mudas de cafeeiro, como queda de folhas, morte de ramos ou até mesmo morte das plantas.

REFERÊNCIAS

- BROOKE, M. J.; STENGER, J.; SVYANTEK, A. W.; AUWARTER, C.; HATTERMAN-VALENTI, H. 'Atlantic' and 'Dakota Pearl' chipping potato responses to glyphosate and dicamba simulated drift. **Weed Technology**, [s.l.], v. 36, n. 1, p. 15-20, 4 out. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/wet.2021.83>.
- DINTELMANN, B. R.; WARMUND, M. R.; BISH, M. D.; BRADLEY, K. W. Investigations of the sensitivity of ornamental, fruit, and nut plant species to driftable rates of 2,4-D and dicamba. **Weed Technology**, [s.l.], v. 34, n. 3, p. 331-341, 15 nov. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/wet.2019.118>.
- DIXON, S. E.; HENRY, J. L.; VOLENBERG, D. S.; SMEDA, R. J. Simulated particle and vapor drift of dicamba to 'vidal blanc' hybrid grapevine under missouri field conditions. **Horttechnology**, [s.l.], v. 31, n. 6, p. 723-732, dez. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.21273/horttech04854-21>.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 179.
- GROSSMANN, K.; HANSEN, H. Ethylene triggered abscisic acid: A principle in plant growth regulation? **Physiologia Plantarum**, v. 113, n. 1, p. 9-14, 2001.
- HAND, L. C.; VANCE, J. C.; RANDELL, T. M.; SHUGART, J.; GRAY, T.; LUO, X.; CULPEPPER, A. S. Effects of low-dose applications of 2,4-D and dicamba on cucumber and cantaloupe. **Weed Technology**, [s.l.], v. 35, n. 3, p. 357-362, 9 nov. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/wet.2020.129>.
- HARING, S. C.; OU, J.; AL-KHATIB, K.; HANSON, B. D. Grapevine injury and fruit yield response to simulated auxin herbicide drift. **Hortscience**, [s.l.], v. 57, n. 3, p. 384-388, mar. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.21273/hortsci16317-21>.
- JONES, G. T.; NORSWORTHY, J. K.; BARBER, T. Off-target movement of diglycolamine dicamba to non-dicamba soybean using practices to minimize primary drift. **Weed Technology**, [s.l.], v. 33, n. 1, p. 24-40, 18 jan. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/wet.2018.90>.
- LEMES, E. M.; COELHO, L.; ANDRADE, S. L.; OLIVEIRA, A. S.; MARQUES, M. G.; NASCIMENTO, F. M. A.; CUNHA, J. P. A. R. Triangular greenness index to evaluate the effects of dicamba in soybean. **Agriengineering**, [s.l.], v. 4, n. 3, p. 758-769, 23 ago. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agriengineering4030049>.
- MOHSENI-MOGHADAM, M.; WOLFE, S.; DAMI, I.; DOOHAN, D. Response of wine grape cultivars to simulated drift rates of 2,4-D, dicamba, and glyphosate, and 2,4-D or dicamba plus glyphosate. **Weed Technology**, [s.l.], v. 30, n. 3, p. 807-814, set. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1614/wt-d-15-00106.1>.
- NUNES, R. T.; ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P.; LORENZETTI, J. B.; DANILUSSI, M. T. Y.; SILVA, R. M. H.; SILVA, A. F. M.; BARROSO, A. A. M. Soybean

injury caused by the application of subdoses of 2,4-D or dicamba, in simulated drift. **Journal Of Environmental Science And Health**, Part B, [s.l.], p. 1-7, 6 fev. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/03601234.2023.2173927>.

OSTER, M. R.; GRIFFIN, J. L. Changes in soybean yield components in response to dicamba. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 1-6, jan. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.2134/age2019.04.0026>.

R Core Team (2019). R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical.

RANÇA, A. C.; FREITAS, M. A. M.; FIALHO, C. M. T.; SILVA, A. A.; REIS, M. R.; GALON, L.; VICTORIA FILHO, R. Crescimento de cultivares de cafeeiro arábica submetidos a doses do glyphosate. **Planta Daninha**, [s.l.], v. 28, n. 3, p. 599-607, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582010000300017>.

ROESLER, G. D.; JONCK, L. C. G.; SILVA, R. P.; JERONIMO, A. V.; HIRATA, A. C. S.; MONQUERO, P. A. Decontamination methods of tanks to spray 2,4-D and dicamba and the effects of these herbicides on citrus and vegetable species. August 2020, [s.l.], n. 14082020, p. 1302-1309, 20 ago. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.20.14.08.p2586>.

SILVA, L. G.; CASTANHEIRA, D. T.; VOLTOLINI, G. B.; SOUZA, I. F.; GONÇALVES, A. H.; GUIMARÃES, R. J. Sintomas de fitotoxicidade e crescimento de mudas de cafeeiro submetidas aos herbicidas inibidores da protox. **Coffee Science**, [s. l], v. 12, n. 3, p. 290-296, jun. 2017.

STRIEGEL, A.; JHALA, A. J. Economics of reducing *Palmer amaranth* seed production in dicamba/glufosinate/glyphosate-resistant soybean. **Agronomy Journal**, [s.l.], v. 114, n. 4, p. 2518-2540, 3 jun. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/agj2.21042>.

VELINI, E. D; ALVES, E; GODOY, M. C; MESCHEDE, D. K; SOUZA, R. T; DUKE, S. O. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Management Science**, [s.l.], v. 64, n. 4, p. 489-496, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ps.1562>.

VOLTOLINI, G. B.; CASTANHEIRA, D. T.; SILVA, L. C.; ALECRIM, A. O.; REZENDE, T. T.; BARBOSA, J. P R. A. D.; GUIMARÃES, R. J. Phytotoxicity and growth of coffee plants as a function of the application of herbicide 2,4-D. **Coffee Science**, [s.l.], v. 14, n. 4, p. 438-445, 9 dez. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v14i4.1605>.

WELLS, M. L; PROSTKO, E. P.; CARTER, O. W. Simulated single drift events of 2,4-D and dicamba on pecan trees. **Horttechnology**, [s.l.], v. 29, n. 3, p. 360-366, jun. 2019. DOI: <http://dx.do.i.org/10.21273/horttech04265-19>.

XIE, H. S.; HSIAO, A. I.; QUICK, W. A. Influence of temperature and light intensity on absorption, translocation, and phytotoxicity of fenoxaprop-ethyl and imazamethabenz-methyl in *Avena fatua*. **Journal Of Plant Growth Regulation**, [s.l.], v. 15, n. 2, p. 57-62, abr. 1996. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/bf00192932>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avaliações em áreas produtoras onde o manejo fitossanitário e nutricional, não são controlados pela pesquisa, podem interferir em dados experimentais.

Avaliações em mais de um ano safra é fundamental para obter parâmetros deletérios a cultura a longo prazo.

Estudos da interferência radicular são necessários.

A avaliação residual de dicamba no grão de café deve ser considerado por meio de análise de cromatografia.

O estudo da ação fitotóxica em diferentes fases fenológicas do cafeeiro são fundamentais, a exemplo abertura floral.

O correto posicionamento do dicamba em áreas adjacentes ao cultivo do café deve ser priorizado, buscando máxima redução de deriva.