

TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM CAFÉ
CONILON

TAMARA LOCATELLI

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO - 2020

TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM CAFÉ CONILON

TAMARA LOCATELLI

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Silvério de Paiva Freitas.

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO - 2020

TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM CAFÉ CONILON

TAMARA LOCATELLI

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutorado em Produção Vegetal.

Aprovada em 19 de Fevereiro de 2020

Comissão Examinadora

Pós Doc. Weverton Pereira Rodrigues (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

Prof. Edney Leandro da Vitória (D.Sc., Engenharia Agrícola) - UFES

Prof. Sávio da Silva Berilli (D.Sc., Produção Vegetal) – IFES
(Coorientador)

Prof. Silvério de Paiva Freitas (D.Sc., Fitotecnia) – UENF
(Orientador)

*“Não é sobre chegar no topo do mundo e saber que venceu
É sobre escalar e sentir que o caminho te fortaleceu”*

(Ana Carolina Vilela Da Costa)

A meus pais, Angela Maria e Luiz Carlos, por todo amor, confiança, dedicação, apoio e incentivo;

A meus irmãos, Tallita e Anderson, por todo amor e cuidado.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus em primeiro lugar, por todas as graças alcançadas.

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade de realizar o curso.

Ao Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador Prof. Silvério por aceitar me orientar, pelo apoio, paciência, amizade e dedicação.

Ao meu Coorientador Prof. Sávio por toda ajuda.

Ao professor Edney por todo apoio, dedicação, amizade e tempo disponibilizado para ajudar.

À minha linda família que sempre torceu por mim, o verdadeiro motivo do meu sucesso. Aos meus pais Angela Maria e Luiz Carlos pelo amor incondicional, carinho, dedicação e incentivo. Aos meus irmãos Tallita e Anderson pelo carinho, incentivo constante e companheirismo.

À minha cunhada Kelly pela amizade.

Ao meu sobrinho e afilhado Vicente por trazer todo amor e alegria para nossas vidas.

Ao Ismael por todo auxílio profissional e também por todo carinho e companheirismo. Ninguém trabalha só, e nem mesmo nasceu para ser só. Obrigada por estar presente nos momentos bons e nos momentos difíceis.

Ao funcionário do Incaper, Abraão, por colaborar com a doação das mudas de café conilon.

Aos professores Antelmo, Ivoney e Aloísio José por disponibilizarem seus laboratórios, equipamentos e tempo auxiliando na pesquisa.

Aos técnicos da UFES-São Mateus Francisco e Jean Carlos por toda ajuda nas avaliações laboratoriais.

Ao João Martins por todo auxílio na experimentação

Aos técnicos João e Peterson, funcionários do IFES-Campus Itapina, pelo auxílio no campo e laboratório, respectivamente.

As colegas aclécia e Joyce pela ajuda com o manejo experimental

Aos amigos Sávio Bastos, Jaomara, Katherine, David Pessanha e Júlio César, pela amizade e apoio nesses anos de convivência.

As amigas de laboratório, Deyse, Rosana e Marcela pela amizade.

A toda família Freitas, em especial a Inês e Silvério pelo acolhimento e carinho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Café (<i>Coffea</i> sp.).....	3
2.2. Plantas daninhas	5
2.3. Controle de plantas daninhas.....	7
2.4. Saflufenacil.....	9
2.5. Deriva de herbicidas.....	11
2.6. Tecnologia de aplicação.....	12
2.7. Fitotoxidez provocada por herbicidas.....	14
2.8. Fluorescência da clorofila <i>a</i>	15
2.9. Redes neurais artificiais (RNAs).....	16
3. TRABALHOS.....	19
3.1. Deposition, Endo-drift and Exo-drift in the Pulverization in Coffee With Different equipment.....	19
3.2. Efeitos fisiológicos da deriva simulada do herbicida saflufenacil na cultura do café conilon.....	28
3.3. Redes neurais artificiais para estimação da fitotoxidez de herbicida em mudas de café conilon.....	48
4. RESUMO E CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

RESUMO

LOCATELLI, Tamara; D. Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro de 2020. Tecnologia de aplicação de herbicidas em café conilon. Orientador: Prof. Silvério de Paiva Freitas. Co-orientador: Sávio da Silva Berilli.

Dentre as espécies de café existentes, o *Coffea canephora* é a segunda mais cultivada no mundo. O café tem sua produção prejudicada pela interferência das plantas daninhas, e o controle químico é o mais utilizado para reduzir esse problema. No entanto, muitos equipamentos e produtos ainda são utilizados de forma incorreta. Objetivou-se com este trabalho, avaliar a tecnologia de aplicação de herbicida recomendado para a cultura, testando diferentes equipamentos e doses do produto, bem como avaliar a fitotoxidez através das avaliações fisiológicas, visuais e por meio de inteligência artificial. O primeiro experimento foi conduzido a campo no Instituto Federal do Espírito Santo – IFES – *Campus* Itapina. O segundo e o terceiro experimentos foram conduzidos em casa de vegetação na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES – *Campus* São Mateus. O delineamento do primeiro experimento foi em blocos casualizados com quatro repetições e dos outros dois experimentos foram inteiramente casualizados com quinze repetições. Nos três experimentos foi utilizada ponta de pulverização tipo leque (TT 11003), com calibração para aplicar um volume de pulverização de 200 L ha⁻¹. No primeiro experimento, as unidades experimentais foram implantadas nas entrelinhas da lavoura com espaçamento 3 x

1 m. As parcelas tiveram 12 m² (4 x 3 m). Os tratamentos foram compostos por: pulverizador costal com assistência eletrostática acionada; pulverizador costal elétrico; pulverizador costal manual sem “chapéu de Napoleão” e pulverizador costal manual com “chapéu de Napoleão”. Foram avaliadas: deposição de calda nas folhas das plantas daninhas e qualidade da aplicação, utilizando um traçador composto de corante indicador de pulverização. No segundo e no terceiro experimento os tratamentos foram compostos de 0, 10, 20, 30 e 40% das doses recomendadas por hectare do herbicida saflufenacil, aplicado com pulverizador costal pressurizado a CO₂. No segundo experimento foram avaliados: fluorescência da clorofila *a* e teores de pigmentos (carotenoides, clorofilas *a*, *b* e totais). No terceiro experimento foram avaliados: altura, diâmetro de caule, número de folhas e ramos plagiotrópicos, fluorescência da clorofila *a*, índice de clorofila, teores de pigmentos, avaliação de fitotoxidez visual e fitotoxidez por meio de redes neurais artificiais. No primeiro experimento observou-se que o pulverizador manual com chapéu de Napoleão apresentou maior endoderiva, o manual sem o chapéu de Napoleão apresentou maior exoderiva e o elétrico depositou menor volume de calda nas plantas daninhas. O pulverizador eletrostático foi o mais eficiente entre os equipamentos utilizados, possibilitando menores valores de endoderiva e exoderiva, depositando maior quantidade de produto nas plantas daninhas com menor volume total de calda aplicada. No segundo experimento observou-se maior fitotoxidez nas plantas de café aos 15 dias após a aplicação (DAA), nas subdoses de 20, 30 e 40%. Não houve diferença significativa para os teores de clorofila *a*, porém, houve aumento nos teores de clorofila *b*, clorofilas totais e carotenoides em resposta ao estresse. As análises das bandas-L, Bandas-K e os parâmetros do teste JIP, bem como, os teores de pigmentos, são bons indicativos para caracterizar distúrbios fisiológicos em plantas. No terceiro experimento observou-se que houve aumento na fitotoxidez até os 15 DAA com as aplicações das subdoses, mantendo-se no mesmo patamar até os 45 DAA, a partir de 45 DAA houve redução na fitotoxidez. Foi possível estimar a fitotoxidez do herbicida saflufenacil utilizando os parâmetros fisiológicos e biométricos via redes neurais com eficiência. Os parâmetros fisiológicos e biométricos são bons indicadores do estado em que a planta se encontra. As RNAs 1 e 2, as quais utilizaram todos os parâmetros, demonstraram melhor desempenho em relação as demais que utilizaram os parâmetros fisiológicos e biométricos de forma separada nas análises. Para

avaliação de fitotoxidez do herbicida saflufenacil via redes neurais, quanto maior o número de variáveis preditoras, melhor a estimativa.

Palavras-chave: saflufenacil, redes neurais, deriva, coffea canephora, fisiologia

ABSTRACT

LOCATELLI, Tamara; D. Sc .; State University of the North Fluminense Darcy Ribeiro. February 2020. Herbicide application technology in conilon coffee. Advisor: Prof. Silvério de Paiva Freitas. Co-supervisor: Sávio da Silva Berilli.

cultivated in the world. Coffee production is impaired by weed interference, and chemical control is the most used to reduce this problem. However, many equipment and products are still used incorrectly. The objective of this work was to evaluate the herbicide application technology recommended for the crop, testing different equipment and doses of the product, as well as evaluating phytotoxicity through physiological, visual and artificial intelligence assessments. The first experiment was conducted in the field at the Federal Institute of Espírito Santo - IFES - Campus Itapina. The second and third experiments were conducted in a greenhouse at the Experimental Farm of the Federal University of Espírito Santo - UFES - Campus São Mateus. The design of the first experiment was randomized blocks with four repetitions and the other two experiments were completely randomized with fifteen repetitions. In the three experiments, a fan-type spray tip (TT 11003) was used, with calibration to apply a spray volume of 200 L ha⁻¹. In the first experiment, the experimental units were implanted between the rows of the crop with 3 x 1 m spacing. The plots were 12 m² (4 x 3 m). The treatments consisted of: backpack sprayer with activated electrostatic assistance; electric backpack sprayer; manual backpack sprayer without "Napoleon hat" and manual backpack sprayer without "Napoleon hat". Weed deposition on weed leaves and application quality were

evaluated using a tracer composed of spray indicator dye. In the second and third experiments the treatments were composed of 0, 10, 20, 30 and 40% of the recommended doses per hectare of the herbicide saflufenacil, applied with a CO₂ sprayer pressurized. In the second experiment were evaluated: fluorescence of chlorophyll a and levels of pigments (carotenoids, chlorophylls a, b and total). In the third experiment were evaluated: height, stem diameter, number of plagiotropic leaves and branches, chlorophyll a fluorescence, chlorophyll index, pigment levels, visual phytotoxicity assessment and through artificial neural networks. In the first experiment, it was observed that the manual sprayer with Napoleon's hat showed greater endoderive, the manual without Napoleon's hat showed greater exoderive and the electric one deposited less syrup volume on the weeds. The electrostatic spray was the most efficient among the equipment used, allowing lower values of endoderive and exoderive, depositing a greater amount of product in weeds with less total volume of spray solution applied. In the second experiment, greater phytotoxicity was observed in the coffee plants at 15 days after application (DAA), in the underdoses of 20, 30 and 40%. There was no significant difference for the levels of chlorophyll a, however, there was an increase in the levels of chlorophyll b, total chlorophylls and carotenoids in response to stress. The analyzes of the L-bands, K-bands and the JIP test vestments, as well as the pigment contents, are good indications for characterizing physiological disorders in plants. In the third experiment, it was observed that there was an increase in phytotoxicity up to 15 DAA with the application of underdoses, maintaining the same level until 45 DAA, from 45 DAA there was a reduction in phytotoxicity. It was possible to estimate the phytotoxicity of the herbicide saflufenacil using the physiological and biometric parameters via neural networks efficiently. The physiological and biometric parameters are good indicators of the state in which the plant is. RNAs 1 and 2, which used all parameters, showed better performance compared to the others that used the physiological and biometric parameters separately in the analyzes. For phytotoxicity assessment of the herbicide saflufenacil via neural networks, the greater the number of predictor variables, the better the estimate.

Keywords: saflufenacil, neural networks, drift, coffea canephora, physiology

1. INTRODUÇÃO

Dentre as espécies de café existentes, o *Coffea canephora* é a segunda mais cultivada no mundo. No Brasil, cerca de 30% da produção é derivada dessa espécie, sendo que 363,1 mil hectares de café conilon estão em produção e 35,7 mil hectares em formação. No Espírito Santo encontra-se a maior área, 261,5 mil hectares, seguido de Rondônia, com 70,5 mil hectares e logo após a Bahia, com 39,9 mil hectares (Conab, 2019).

A espécie *Coffea canephora* é cultivada principalmente nos estados: Espírito Santo, Rondônia, Minas Gerais, Mato Grosso, Bahia e Rio de Janeiro (Conab, 2017b). A redução de custos de produção, aumento da produtividade, qualidade do produto e preservação ambiental são fatores importantes para o sucesso da atividade cafeeira (Fabrício et al., 2012). Entretanto, fatores negativos como a interferência de plantas daninhas pela competição por recursos do ambiente, produção de compostos alelopáticos, e foco de pragas e doenças, podem acarretar em baixa produção (Oliveira Neto et al., 2013).

As plantas daninhas são muito agressivas e apresentam características que favorecem sua sobrevivência em relação às plantas cultivadas. Geralmente tem alta viabilidade e longevidade, apresentam rápido crescimento, florescimento e produzem grande quantidade de disseminulos (Oliveira Júnior et al., 2011; França et al., 2013).

Para reduzir o número de plantas daninhas até um nível aceitável de convivência entre estas e a cultura principal sem que ocorra prejuízos, deve ser realizado um plano de manejo para controle. Entre os tipos de controle existentes, o químico é o mais utilizado. Sua aplicação é importante em áreas de cultivo muito grandes, quando não é possível realizar a capina (Queiroz, et al., 2014).

Um grande problema na utilização de controle químico é a deriva causada pelos herbicidas. A deriva provoca mudanças anatômicas e fisiológicas na cultura, diminuição na absorção de nutrientes e menor crescimento da cultura (Alecrin et al., 2013; França et al., 2013; Langaro et al., 2014; Voltolini et al., 2015a).

Entre as espécies de plantas daninhas mais difíceis de controlar nas lavouras estão a trapoeraba (*Commelina benghalensis*) tolerante e a buva (*Conyza bonariensis*) que é resistente ao herbicida glifosato, sendo este, o mais utilizado no controle de plantas daninhas em lavouras de forma geral. Surge como alternativa herbicidas como o saflufenacil, que pode ser usado no manejo de plantas daninhas em café devido às suas características físico-químicas, econômicas e ambientais favoráveis (Christoffoleti e Nicolai, 2013).

É importante proteger a cultura de interesse evitando toxidez provocada pelos herbicidas. Técnicas como uso de barreiras físicas, pontas com indução de ar, adição de óleo vegetal à calda de pulverização, atenção com a pressão de trabalho, altura da barra, velocidade de operação e do vento (França et al., 2013), assim como uso correto da tecnologia de pulverização são importantes para evitar a deriva (Sasaki et al., 2013a).

Existem poucas pesquisas sobre manejo de plantas daninhas e herbicidas com potencial para serem usados em lavouras de café conilon. Com tudo, é importante investigar a tolerância de mudas de café à diferentes herbicidas aplicados em pós-emergência. Assim como aprimorar a tecnologia de aplicação, reduzindo o risco de contaminação ambiental e humana, aumentando a produtividade da cultura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Café (*Coffea sp.*)

O café é uma das mercadorias mais comercializadas do mundo, sendo o Brasil o maior produtor e exportador desde o século XIX, a partir de quando a cafeicultura começou a ser uma atividade expressiva no cenário econômico (Covre et al., 2013).

No Brasil, 363,1 mil hectares de café conilon estão em produção e 35,7 mil hectares em formação. No Espírito Santo encontra-se a maior área, 261,5 mil hectares, seguido de Rondônia, com 70,5 mil hectares e logo após a Bahia, com 39,9 mil hectares (Conab, 2019).

Em 2019, a produção média de café conilon no Espírito Santo foi 2,5% maior em relação ao ano anterior, obtendo rendimento médio de 42,67 sacas por hectare. Mas ainda há como melhorar, visto que as lavouras tem potencial para uma produção maior (Conab, 2019).

O cultivo de café é responsável pela geração de empregos, diretos e indiretos. De forma direta, permite a fixação do trabalhador no meio rural (Fabrício et al., 2012).

A produção do café varia de subsistência até a venda do café gourmet, passando pela comercialização tradicional de café em coco ou beneficiado e pela

comercialização de café orgânico por associação de produtores. Os produtos destinam-se a feiras de produtores, às torrefações locais, a intermediários que vendem para torrefações e enviam para exportação e para venda nas próprias fazendas (Conab, 2017a).

O café é originário da África, sendo *Coffea arabica* originário das florestas tropicais da Etiópia, Quênia e Sudão, em altitudes de 1.500-2.800 m e *Coffea canephora* do Congo (Fernandes et al., 2012). O *C. canephora*, conhecido como café robusta, é cultivado na África Ocidental e Central, no sudeste da Ásia e em algumas regiões das Américas, como o Brasil (Batista-Santos et al., 2011). Essa espécie é predominantemente cultivada em áreas de baixa altitude e é adaptada a regiões quente e úmidas, apresentando elevado crescimento, em temperaturas entre 17 e 31,5°C (Fernandes et al., 2012).

A segunda espécie do gênero mais cultivada no mundo é a *C. canephora*. No Brasil, aproximadamente 30% da produção de café é derivada desta espécie (Temóteo, 2013), cultivada predominantemente nos estados do Espírito Santo, Rondônia, Minas Gerais, Mato Grosso, Bahia e Rio de Janeiro (Conab, 2017b).

C. canephora é uma espécie tipicamente alógama, perene, de porte arbustivo e caule lenhoso. Geralmente multicaules. Em condições de alta temperatura e grande precipitação podem chegar a cinco metros de altura. As folhas são maiores e de cor mais intensa do que de *C. arabica*, elípticas, lanceoladas, com bordas bem onduladas e nervuras bem salientes. As flores são brancas, em grande número por inflorescência e por axila foliar. Os frutos têm formato e número variável de acordo com o material genético, com 30 a 60 por verticílio foliar, de superfície lisa, com exocarpo fino, mesocarpo aquoso e endocarpo delgado (Temóteo, 2013).

O sucesso na atividade cafeeira ocorre em virtude de vários fatores, onde se destacam a redução de custos de produção, o aumento na produtividade e a busca constante de qualidade (Fabrício et al., 2012).

Entre os fatores que contribuem para a baixa produtividade do cafeeiro encontra-se a interferência de plantas daninhas. Essas podem reduzir a produção através da competição pelos recursos do ambiente, por alelopatia e por servir de hospedeiras de pragas e doenças (Oliveira neto et al., 2013). Por isso, uma forma de reduzir gastos de produção e aumentar a produtividade é fazer o correto controle das plantas daninhas presentes na lavoura.

2.2. Plantas daninhas

As plantas que ocorrem onde não são desejadas, que infestam áreas agrícolas, pecuárias e outros setores de interesse humano, são conceituadas como daninhas (Oliveira Júnior et al., 2011).

As plantas daninhas são agressivas por apresentar em sua maioria, rusticidade, resistência a pragas e doenças e pela grande produção de disseminulos. Estas plantas interferem de forma negativa sobre a cultura de interesse. Competem por nutrientes minerais, água, luz e espaço. Algumas espécies ainda são capazes de produzir compostos alelopáticos prejudiciais às plantas cultivadas (Oliveira Júnior et al., 2011).

A permanência dessas plantas nos ambientes agrícolas se deve aos mecanismos de sobrevivência e disseminação eficientes, merecendo destaque a alta produção de disseminulos, persistência do banco de sementes (Oliveira Júnior et al., 2011) e rápido crescimento (França et al., 2013).

Independente da espécie, todas as plantas demandam recursos como água, luz, calor, oxigênio e nutrientes minerais para completar seus ciclos de vida. De forma que quando duas ou mais espécies se desenvolvem ao mesmo tempo, em um mesmo local onde os recursos são limitados, se estabelece um processo de competição (Santos Filho, 2013).

Quando em competição, as plantas cultivadas geralmente são mais sensíveis, devido principalmente aos processos de melhoramento que foram submetidas. Já as plantas daninhas, se sobressaem por que mantiveram as características de agressividade, o que as deixa em vantagem no processo de competição (Oliveira Neto et al., 2013).

Plantas jovens de café são muito sensíveis à interferência das plantas daninhas que ocorrem na linha de plantio, podendo reduzir crescimento e comprometer o ciclo reprodutivo. Isso acontece por que as raízes absorventes do cafeeiro crescem superficialmente no solo, onde a maioria das raízes das plantas daninhas também está presente (Christoffoleti e Nicolai, 2013). A presença de plantas daninhas pode reduzir em até 50% o teor de macronutrientes e em até 41% o desenvolvimento de cafeeiros jovens (Carvalho et al., 2013).

As plantas daninhas deixam o cafeeiro mais sensível ao déficit hídrico e favorece a proliferação de pragas, como por exemplo a broca do cafeeiro (Christoffoleti e Nicolai, 2013). O primeiro ano após o plantio do café é considerado a fase mais preocupante quanto ao controle de plantas daninhas. As plantas de café ainda são muito jovens e deixam o solo exposto à luz, devido a pequena copa. Dessa forma favorecem o crescimento das espécies de plantas daninhas (França et al., 2013).

Fialho et al. (2011) verificaram relação negativa entre a densidade de plantas daninhas em competição com plantas jovens de café e as variáveis de crescimento dessas plantas, comprovando a necessidade de controle inicial das plantas daninhas. A interferência dessas plantas provoca queda no teor de nutrientes nas folhas, menor crescimento, e menor produção do cafeeiro (Santos Filho, 2013).

Quando em competição com plantas jovens de café, *Digitaria horizontalis*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria plantaginea* e *Mucuna aterrima*, proporcionaram menor teor de nutrientes nas folhas da cultura, à medida que se aumentou a densidade das espécies de plantas daninhas, exceto para teor de N nas folhas do café que conviveu com *M. aterrima*. Os teores de nutrientes nas folhas das plantas daninhas diferiram por espécie, indicando capacidade diferenciada de ciclagem de nutrientes (Fialho et al., 2012).

A interferência refere-se ao conjunto de ações que afeta uma determinada cultura em função da presença de plantas daninhas no local de cultivo. Quanto maior o período de convivência entre as plantas cultivadas e as plantas daninhas, maior será o grau de interferência (Oliveira Neto et al., 2013). A época após a semeadura ou plantio, no qual a cultura pode conviver com as plantas invasoras, antes que a interferência se instale de maneira a reduzir a produtividade da lavoura é denominada de (PAI), período anterior à interferência (Pitelli e Durigan, 1984).

Pode-se determinar como (PTPI), período total de prevenção a interferência, aquele período a partir da semeadura ou emergência da cultura, durante o qual as plantas daninhas devem ser controladas para que a cultura possa manifestar plenamente seu potencial produtivo (Pitelli e Durigan, 1984).

O período crítico de prevenção da interferência (PCPI), é a diferença entre o PAI e o PTPI. Na prática, é nesse período que as capinas e o poder residual dos herbicidas devem fazer efeito (Pitelli, 1987). Após O PTPI, as plantas indesejadas

que surgirem não serão capazes de causar redução na produção (Pitelli e Durigan, 1984).

Visto que as plantas daninhas causam prejuízos no sistema de cultivo por que dificultam as práticas culturais, provocam aumento no custo de produção por necessitar de mais aplicações de herbicidas, dificultam manejo de água, causam queda na produção pela competição por insumos e dificultam a colheita do café é necessário adotar técnicas para controlar a infestação e evitar perdas na produção.

2.3. Controle de plantas daninhas

O controle de plantas daninhas busca parar o crescimento ou reduzir o número de plantas daninhas por área, até um nível aceitável para convivência entre estas e a cultura principal, sem que haja prejuízos (Castro et al., 2016).

Existem diferentes métodos de controle de plantas daninhas. Controle preventivo, biológico, cultural, mecânico e químico (Castro et al., 2016). O uso isolado de um método de controle pode provocar danos irreversíveis ao ambiente, por isso, recomenda-se o uso do manejo integrado (Rodrigues, 2016).

O manejo integrado nas lavouras de café destaca-se pela produção de grande quantidade de material vegetal de lenta decomposição, aumento no teor de matéria orgânica, reciclagem de nutrientes, manutenção da umidade e da temperatura do solo e redução da sua erosão (Fialho et al., 2011). Entre os métodos de controle, destacam-se o cultural e o químico.

O controle cultural utiliza qualquer condição ambiental ou procedimento para promover o crescimento da cultura, tendendo a diminuir os danos de plantas daninhas, como: espaçamento entrelinhas adequado, cultivar adequada, adubação correta, densidade indicada, profundidade de semeadura mais indicada, rotação de culturas, entre outras. Deve-se adotar todas as práticas possíveis para que a espécie principal consiga emergir e se estabelecer primeiro na área obtendo vantagem sobre as plantas daninhas (Oliveira Jr. et al., 2011).

O controle químico é importante principalmente em lugares onde ocorre grande infestação de plantas daninhas, onde o tempo e mão de obra disponível para controle é reduzido, onde áreas de cultivo são muito grandes e durante períodos chuvosos onde outros métodos tem baixa eficiência (Castanheira et al. 2015).

As principais vantagens desse método são: evitar a competição de plantas daninhas desde a implantação da cultura, permitir controle em época chuvosa quando o mecânico não é viável, permitir plantio direto ou a lanço, controlar espécies que se propagam por via vegetativa e ter menor dependência da mão de obra (Agostineto, 2015). Como desvantagens, exige mão de obra especializada, exige equipamentos adequados, pode ser tóxico ao homem e animais, polui o ambiente e deixa resíduos no solo e alimentos (Castro et al., 2016; Silva et al., 2017).

O efeito das plantas daninhas é maior em lavouras jovens por que as copas das plantas de café ainda não são grandes o suficiente para proteger a área, deixando grande parte do solo livre, favorecendo o crescimento das espécies infestantes (Ronchi et al., 2017).

Em lavouras de café, o manejo das plantas daninhas busca manter a linha livre. Esse trabalho geralmente é feito aplicando herbicidas não-seletivos em jato dirigido sobre as plantas daninhas, a fim de evitar contato do produto com a cultura (Volpe et al., 2013).

Encontra-se como limitação o fato de existirem poucos herbicidas registrados para a cultura do café com seletividade que possam ser aplicados diretamente sobre as plantas de café em pós-emergência das plantas daninhas (Castanheira et al., 2015).

O uso repetido dos mesmos herbicidas, ou herbicidas diferentes com mesmo mecanismo de ação provoca o surgimento de biótipos de plantas daninhas resistentes. Isso normalmente ocorre em sistemas intensivos de monocultivo. Essa resistência se deve ao contato durante sucessivas germinações das diversas gerações que ficam expostas ao herbicida, e conseqüentemente a população de plantas daninhas sobreviventes adquirem uma proporção cada vez mais alta de indivíduos resistentes (Inacio, 2012).

A resistência pode ocorrer em função de mudanças fenológicas ou morfológicas, mas na maioria em função da alteração do sítio de ação do herbicida. De forma que utilizar herbicidas alternativos ou misturas de dois ou mais com diferentes mecanismos de ação pode evitar o surgimento de resistência (Inacio, 2012).

Assim, entre os diversos herbicidas registrados para a cultura do café destaca-se como alternativa, o saflufenacil, devido às suas características físico-químicas, econômicas e ambientais favoráveis.

2.4. Saflufenacil

O saflufenacil (N'-[2-chloro-4-fluoro-5-(3-methyl-2,6-dioxo-4-(trifluoromethyl)-3,6-dihydro-1(2H)pyrimidinyl)benzoyl]-N-isopropyl-N-methylsulfamide) é um herbicida seletivo, de contato, medianamente tóxico (classificação III) e perigoso ao meio ambiente (classificação III). Ele é encontrado na forma de granulado dispersível. Este produto faz parte do grupo químico das pirimidinadionas (Agrofit, 2017).

Este herbicida foi desenvolvido para controlar plantas daninhas de folhas largas, podendo ser utilizado para dessecamento de culturas para homogeneizar e antecipar a colheita. Pode ser usado em pré-plantio na dessecação de plantas daninhas, em jato dirigido sem que ocorra contato com as plantas cultivadas, na pós-emergência das plantas daninhas e da cultura em cana-de-açúcar (BASF, 2017a).

Tavares et al. (2015), avaliaram a qualidade de sementes de feijão-azuki dessecadas com saflufenacil, e verificaram que até a dose de 65 g i. a. ha⁻¹ do herbicida não ocorre queda na qualidade fisiológica das sementes. Além disso, a dessecação pré-colheita reduziu a infestação de *Cladosporium*, *Fusarium* e *Rizhopus* nas sementes de feijão.

Quando aplicado em pré-emergência na cultivar de feijão IPR Tiziu, Diesel et al. (2014), constataram fitotoxicidade causada pelo herbicida saflufenacil em relação a testemunha onde não foi realizada aplicação. Comprovando a recomendação de que a aplicação seja feita em pós-emergência de plantas daninhas.

O tempo de permanência de um herbicida no solo tem grande importância no controle de plantas daninhas, no entanto, pode provocar prejuízos para as plantas cultivadas não seletivas para o mesmo. Isso pode causar perdas de qualidade e rendimento do produto, ou mesmo morte das plantas cultivadas (Diesel et al., 2014).

Diesel et al. (2014), aplicaram saflufenacil (29,4 g i. a. há⁻¹) no solo e verificaram que a persistência em Latossolo Vermelho Distroférico situou-se entre cinco a 15 dias após a aplicação. De forma que é importante aguardar 10 dias de intervalo entre a aplicação e a semeadura da cultura do feijão IPR Tiziu.

O saflufenacil é um potente inibidor da protoporfirinogênio oxidase (Protox). Quando aplicado em altas doses, tem ação de pré-emergência com atividade residual no solo. A protox está presente na rota de síntese da clorofila e citocromos, que é interrompida com a sua inibição, com o aumento de protoporfirinogênio no cloroplasto que migra para o citoplasma e é convertido para protoporfirina-IX, que é um pigmento fotodinâmico, quando em presença de luz e oxigênio molecular, origina oxigênio 'singlet' (O⁻), radical livre, altamente reativo, que provoca a peroxidação dos lipídios das membranas, levando a célula à morte (BASF, 2017a).

A absorção do produto ocorre de forma rápida através das raízes e partes aéreas das plantas em pleno crescimento vegetativo. Após ser absorvido, é translocado via xilema, com pouco movimento no floema (BASF, 2017a).

No Brasil, o saflufenacil foi registrado para a cultura do café em 2013 com a marca comercial Heat® e deve ser utilizado para o controle das principais plantas daninhas de folhas largas em pós-emergência, incluindo as plantas que são resistentes ao glifosato ou ainda àquelas que apresentam certa tolerância a este herbicida (BASF, 2017b).

Monquero et al. (2011), testaram aplicação deste herbicida sobre as plantas daninhas em Latossolo Vermelho Distrófico, no cultivo de cana-de-açúcar, e verificaram um controle satisfatório a partir da metade da dose comercial recomendada (50 g i. a. h⁻¹) para as espécies *Merremia cissoides*, *Mucuna aterrima* e *Ricinus communis*. A espécie *Luffa aegyptiana* teve maior tolerância, sendo controlada apenas a partir de 100 g i. a. há⁻¹.

Diesel et al. (2012), classificaram diferentes espécies conforme o nível de tolerância ao saflufenacil na ordem do menos tolerante para o mais tolerante: Abobrinha = cabotiá > melancia > beterraba = pepino. De forma que o herbicida controlou melhor os dois últimos.

Para as espécies de corda-de-viola, trapoeraba, erva-quente, erva-de-touro, que apresentam certa tolerância ao glifosato, a utilização do saflufenacil é de grande importância (BASF, 2017b). A buva (*Conyza bonariensis*), está entre as plantas daninhas muito agressivas e resistentes ao glifosato (Dalazen et al., 2015).

Dessa forma, afim de evitar seleção de populações resistentes, Dalazen et al. (2015), testaram combinações de doses de glifosato e saflufenacil. Os autores verificaram que a mistura foi eficiente para controle da planta daninha em cultivo de soja. Viram que a adição de glifosato (540 g ha⁻¹) ao herbicida saflufenacil (35 g ha⁻¹) preveniu ocorrência de rebrote e dispersão de novas sementes de buva, o que não ocorreu em plantas tratadas apenas com saflufenacil.

Avaliando a eficácia do saflufenacil no controle de *Conyza* spp., Rorato et al. (2013), testaram aplicação desse herbicida comparado a outros muito utilizados: glifosato; diuron + paraquat; 2,4-D; paraquat; glifosato + imazetapir; clorimuron, diclusulam; glufosinato e saflufenacil, em diferentes doses, combinações e condições de estresse hídrico ou não. Os autores verificaram que o saflufenacil mostrou eficiência no controle de *Conyza* spp. Quando aplicado sozinho, além do melhor efeito residual na planta daninha quando aplicado em conjunto com (glifosato + imazetapir).

Vitorino et al. (2012), também verificaram eficiência de mistura entre saflufenacil + glifosato no controle de plantas daninhas, mas desta vez para controle de *Richardia brasiliensis*, *Sida rhombifolia* e *Ipomea grandifolia*. Observaram também que atuando sozinho o saflufenacil foi eficiente.

Para as culturas perenes, banana, café, citros, maçã, manga e mamona, o produto é seletivo em aplicações de jato dirigido para dessecação das plantas daninhas. Deve-se evitar contato do produto com as folhas das plantas cultivadas. Para café, pode-se aplicar no máximo quatro vezes, com intervalos de 30 a 60 dias (BASF, 2017a).

Deve-se atentar para o fato de que a persistência de um herbicida pode se modificar com as condições ambientais, sendo influenciada pelo tipo de solo, época de semeadura, sensibilidade da cultivar, entre outros (Diesel et al., 2014).

2.5. Deriva de herbicidas

A deriva pode ser definida como a dispersão das gotas do herbicida que ao invés de atingir o alvo, são direcionadas para as plantas de interesse econômico provocando intoxicação das mesmas (Voltolini et al., 2015b).

Muitos estudos tem evidenciado efeitos negativos da deriva: (França et al., 2013; Alecrin et al., 2013; Voltolini et al., 2015a; e Langaro et al., 2014). Nesses

trabalhos, foram mostrados problemas quanto a mudanças anatômicas e fisiológicas, diminuição na absorção de nutrientes, menor crescimento da cultura, entre outros. Em trabalho desenvolvido por Voltolini et al. (2015a) foi observada intoxicação por glifosato em café, provocando sintomas de clorose nas folhas e estreitamento de limbo foliar.

É importante proteger a cultura de interesse, evitando contato das gotas aspergidas. Isso pode ser feito através de medidas como: utilização de barreiras físicas, atenção quanto a correta pressão de trabalho do pulverizador, assim como a altura da barra, velocidade de operação e velocidade do vento na hora da aplicação (França et al., 2013).

A intoxicação das plantas de café pela deriva pode variar de acordo com o cultivar devido a tolerância diferenciada (França et al., 2013), umidade superficial, idade da folha, estágio de crescimento, entre outros (Salgado et al., 2011).

Em experimento, Carvalho et al. (2011b), observaram que a intoxicação em plantas de café causada pelo glifosato variou de acordo com o cultivar. Mostrando que o cultivar Catucaí foi mais tolerante do que o Acaiá.

Alecrin et al. (2013), constataram prejuízos da deriva de glifosato na nutrição de plantas de café micorrizadas. Foi observada uma diminuição dos teores de nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S com o aumento das subdoses de glifosato. Os autores atribuíram essa redução aos danos causados na estrutura das plantas, diminuindo a capacidade de absorção dos nutrientes devido ao menor sistema radicular e menor poder fotossintético.

Diante dos problemas causados pela deriva, é necessária a utilização de equipamentos e técnicas apropriadas para evitar o contato das gotas aspergidas com as plantas de café, aumentando a eficiência da aplicação dos herbicidas e diminuindo possíveis perdas na produção.

2.6. Tecnologia de aplicação

A intensa utilização de herbicidas se deve a eficiência e amplo espectro de controle, e a eficiência do controle depende da correta tecnologia de aplicação. É muito comum encontrar casos de fitotoxicidade causada por deriva de herbicidas em diversas culturas quando não se utiliza a correta tecnologia de aplicação (Voltolini et al., 2015b).

A força da pressão hidráulica é responsável pelo deslocamento das gotas do herbicida que vão do bico do pulverizador até as plantas. No entanto, nem sempre essa força é suficiente para que o produto penetre no interior das plantas. Para solucionar o problema, muitos agricultores aumentam a pressão de pulverização, o que não é recomendado, pois ocorre muita perda por deriva e evaporação (Chaim e Wadt, 2015).

Para contornar esse problema de deriva de forma simples, o produtor pode utilizar o acessório “chapéu de Napoleão”, como medida protetiva à cultura (Christoffoleti e Nicolai, 2013). No entanto, é necessário fazer uso de novas tecnologias que possam vir a servir de alternativa ao processo nada sustentável de aplicação de defensivos que é empregado.

Na aplicação de produtos com pulverizador costal manual é difícil manter a pressão ideal constante durante todo o trabalho (Rodrigues et al., 2015). Rodrigues et al. (2015) constataram ocorrência de maior deriva utilizando pulverizador costal manual quando comparado com os pulverizadores costal pressurizado e costal acionado eletricamente. Dessa forma destacam-se os pulverizadores costais elétricos, que têm incorporado novas tecnologias que garantem maior controle de pressão de trabalho e volume de aplicação (Sasaki et al., 2013b).

Além dos pulverizadores costais manual e elétrico, fala-se muito no pulverizador eletrostático. Este equipamento tem demonstrado ser mais eficiente na deposição de calda quando comparado aos demais (Xiongkui et al., 2011).

Sasaki et al. (2013a) verificaram maior eficiência na pulverização eletrostática em plantas de café quando comparada com o sistema desligado, observando incremento de 37% na deposição de calda, além da maior uniformidade na deposição.

A carga de um corpo ou nuvem de partículas carregadas induzirá uma carga elétrica igual e oposta em outro corpo condutor aterrado. Formando linhas de fluxo. As gotas da nuvem carregada tendem a se movimentar seguindo as linhas de fluxo em direção ao corpo aterrado. Isso ocorre por que cargas de polaridades opostas se atraem. Em função da natureza curvilínea das linhas de fluxo, as gotas projetadas por um bico podem atingir todos os lados do corpo aterrado (Chaim e Wadt, 2015).

A força de atração da partícula carregada para a planta em questão se deve pela ação do campo eletrostático da própria partícula em relação a vazão do bico,

a tensão aplicada, a aproximação à superfície da planta e a ação das forças do campo elétrico do bico de pulverização e nuvem sobre o campo elétrico da gota (Chaim e Wadt, 2015).

Sasaki et al. (2013a) verificaram que ao utilizar o sistema eletrostático do pulverizador na posição ligado, ocorreu maior deposição na parte externa do dossel do cafeeiro. Isso ocorre por que ao eletrizar a gota, esta tende a descarregar no corpo aterrado mais próximo.

De forma geral, a eficiência da aplicação aumenta com a diminuição do tamanho das gotas, pois estas fazem uma cobertura melhor nas folhas. No entanto, gotículas apresentam menor massa e pouca energia cinética, o que dificulta sua chegada até o alvo aumentando a deriva. De forma que se faz necessário adicionar uma força a mais à estas gotas, pois nas pequenas gotas é mais fácil de se introduzir força suficiente para controlar seus movimentos. Esse controle possibilita que o produto seja depositado também na parte inferior da folha (Sasaki et al., 2013a).

2.7. Fitotoxidez provocada por herbicidas

Para controle de plantas daninhas, o químico é o método mais utilizado, pela sua eficiência, rapidez na operação e menor custo. Entretanto, o uso descontrolado, pode provocar intoxicação de culturas, levando à perda parcial ou total na produção (Dias, 2015).

Caracterizando sintomas causados por herbicidas inibidores da enzima EPSPs, Dias (2015) afirmam que após a aplicação de glifosato, as plantas tem crescimento paralisado, em alguns casos ocorre clorose, seguida de murcha das folhas e posterior morte das plantas. Em café, pode ocorrer além da clorose, estreitamento do limbo foliar.

Avaliando efeitos da deriva simulada do herbicida glifosato em plantas jovens de nim, Yamashita et al. (2017) verificaram efeitos de intoxicação, acarretando em queda no crescimento das plantas, queda no índice de clorofila e, portanto, amarelecimento das folhas, resultante da degeneração dos cloroplastos e inibição da formação de clorofila.

Em estudo, avaliando deriva dos herbicidas glifosato e indaziflam, Silva (2015) constatou que ao simular deriva de 30 e 40% da dose recomendada do

herbicida glifosato, ocorreu fitotoxidez nas plantas de café conilon. Estas sofreram redução na área, volume, diâmetro de raízes e teor de clorofila na folha. O autor observou ainda que ao simular deriva do herbicida indaziflam, somente a deriva de 40% acarretou em sintomas muito leves de intoxicação.

Essa diminuição no teor de clorofila, pode ser relacionada com a menor síntese ou maior degradação da clorofila pelo herbicida glifosato (Silva, 2015).

Trabalhando com herbicidas do mesmo grupo químico que o saflufenacil, os inibidores da enzima PROTOX, Dias (2015) verificaram como sintomas de intoxicação, necrose de epicótilo, folhas e caules, que resultou em morte das plantas de algodão, milho e sorgo.

A enzima PROTOX é precursora das reações que transformam protoporfirinogênio IX em protoporfirina IX, e estes formam as clorofilas. Quando o herbicida Sulfetrazone inibe a enzima PROTOX, localizada nos cloroplastos, reduz a síntese de clorofila. Ao reduzir o teor de clorofila, ocorre queda na fotossíntese. A redução do teor de carotenoides provoca estresse oxidativo, causando destruição das membranas e redução da fotossíntese (Belo et al., 2016).

Belo et al. (2016) verificaram intoxicação de *Helianthus annuus*, *Cnivalia ensiformis*, *dolichos lab lab* e *Arachis hypogaea*, quando semeou estas espécies em solo previamente tratado com o herbicida sulfetrazone.

2.8. Fluorescência da clorofila a

A medição da fluorescência da clorofila mostra-se um importante sistema que auxilia os estudos fisiológicos, principalmente por ser uma forma de avaliação não destrutiva, ter grande precisão e se tratar de um processo rápido (Santos, 2018).

Os fotossistemas I e II (PSI) e (PSII) são os principais componentes da cadeia transportadora de elétrons (Pribil et al., 2014). E neles, estão localizadas as moléculas de clorofila (Taiz e Zeiger, 2009).

As moléculas de clorofilas a e b, e carotenoides, são responsáveis por absorver a energia da luz, que será usada na fotossíntese. Após absorver essa energia, as clorofilas mudam suas configurações do estado fundamental para excitado, que é instável e pouco duradouro. Dessa forma, a energia absorvida,

pode ser utilizada nos processos fotoquímicos da fotossíntese, dissipada como calor ou reemitida como fluorescência (Lichtenthaler et al., 1986).

Em condição de temperatura fisiológica de aproximadamente 25°C, a fluorescência é uma luz emitida com dois pontos de emissão, máximo (682 nm) e um menor na faixa de 740 nm (Krause e Weis, 1984), e nessa temperatura, a maior parte da fluorescência da clorofila *a*, é emitida pelo PSII e pelo sistema coletor de luz do PSII (Krause e Weiss, 1984).

A fluorescência da clorofila *a*, mede o rendimento quântico do PSII, revelando o nível energético de excitação dos pigmentos determinantes no processo de fotossíntese (Tester e Bacic, 2005). Uma redução na eficiência do PSII provoca mudança no direcionamento da energia fotoquímica, promovendo a dissipação (Gonçalves et al., 2010).

O transiente OJIP possibilita verificar através da fluorescência da clorofila *a*, o estado em que se encontra o aparato fotossintético, principalmente o PSII (Lazár, 2006).

Diante das informações sobre o estado funcional do aparato fotossintético fornecidas através da análise dos transientes da fluorescência da clorofila *a*, verifica-se que este é um método eficiente para detectar estresses fisiológicos provocados pelos mais diversos fatores.

2.9. Redes neurais artificiais (RNAs)

As redes neurais artificiais (RNAs) consistem em uma ferramenta matemática, formada por um conjunto de células diretamente conectadas que trabalham ao mesmo tempo. As células são denominadas neurônios e as ligações de sinapses, semelhante ao cérebro humano (Sartori et al., 2009). Um neurônio artificial é a unidade simples da RNA, que tem capacidade computacional infinitamente maior quando conectado a outros neurônios, formando uma rede (Binoti, 2012).

As RNAs podem ser aplicadas em diversos casos, como em casos que haja uma relação simples ou complexa entre as variáveis preditoras e preditas. Podem ser utilizadas na modelagem de funções não-lineares com muitas variáveis (Statsoft, INC, 2007). As RNAs são capazes ainda, dentre outras características, de identificar similaridade entre diversos padrões de entrada, permitindo

agrupamento destes, associar amostras de entrada a classes pré-definidas e estimar valores futuros de um processo baseando-se em medidas previamente informadas (Silva, 2010).

As RNAs conseguem aprender através de exemplo. Elas são treinadas com algoritmos de treinamento utilizando dados representativos. O treinamento acontece quando as redes captam informações de um problema e resolvem-no quando novos dados do mesmo problema lhe são apresentados (Statsoft, INC, 2007).

Uma RNA é composta pela camada de entrada, responsável por receber as informações, pelas camadas intermediárias que captam as características associadas ao problema e pela camada de saída, que gera a resposta da avaliação. Os neurônios podem ser arranjados de diferentes formas, acarretando na arquitetura da rede. Entre os tipos de arranjos encontram-se as redes de camada única, que possuem uma camada de entrada que se projeta em uma de saída e as redes de múltiplas camadas, nas quais os sinais de saída da segunda camada fazem papel de sinais de entrada da terceira e assim por diante. Como exemplo de rede de múltiplas camadas tem-se as do tipo *Perceptron*, formadas por uma ou mais camadas ocultas, o que aprimora a capacidade de solucionar problemas, pois contém conexões sinápticas extras (Silva et al., 2010).

Treinar a rede neural significa ajustar pesos sinápticos de ativação dos neurônios, obtendo respostas de saída mais próximas das desejadas, através do uso de um algoritmo (Bullinaria, 2014). A rede obtém informações do problema a ser avaliado, e treina para aprender a diferenciar os aspectos do problema, podendo assim, ser utilizada novamente com novos dados (Haykin, 2001, Statsoft, INC, 2007).

Parte dos dados são usados no treinamento das redes, e alguns são separados para verificar de forma independente a situação do algoritmo utilizado. Os dados de teste são usados depois do treinamento para validar ou generalizar o desempenho do modelo final. Isso permite dizer se a rede fornece resultados confiáveis para dados desconhecidos (Silva et al., 2010).

São fornecidos dados de treinamento às redes neurais de forma sucessiva até que um dos critérios de parada sejam atingidos. São eles: o erro quadrático médio, que é gerado comparando a saída da rede com a saída desejada e o número

de ciclos, que encerra o treinamento ao atingir o número pré-definido (Silva et al., 2010).

Para demonstrar eficiência a rede neural precisa apresentar bons resultados quando aplicada a novos dados. Essa capacidade é denominada de generalização e as novas variáveis de entrada e saída devem ser do mesmo tipo, para que a rede seja capaz de generalizar (Binoti, 2010).

3. TRABALHOS

3.1. Deposition, Endo-drift and Exo-drift in the Pulverization in Coffee With Different Equipment

Tamara Locatelli¹, Silvério de Paiva Freitas¹, Ismael Lourenço de Jesus Freitas², Edney Leandro da Vitória², Sávio da Silva Berilli³, Sílvio de Jesus Freitas¹, Silvério de Paiva Freitas Júnior⁴, André Cayô Cavalcanti², Tallita Pedroni Locatelli³, Juliana Menegassi Valle², Giacomina Possatti Lepaus³ & Deborah Hoffman Crause²

¹ Laboratory of Plant Science, Center for Agricultural Sciences and Technologies, State University of North Fluminense, Campos, RJ, Brazil

² Department of Agrarian and Biological Sciences, Federal University of Espírito Santo, São Mateus, ES, Brazil

³ Federal Institute of Espírito Santo. Itapina Campus, Colatina, ES, Brazil

⁴ Academic Center for Agricultural Sciences and Biodiversity, Federal University of Cariri, Crato, CE, Brazil

Correspondence: Tamara Locatelli, Laboratory of Plant Science, Center for Agricultural Sciences and Technologies, State University of North Fluminense, Campos, RJ, Brazil. Tel: 55-(27)-99833-9993. E-mail: tamaralocatelli@gmail.com

Received: July 25, 2019 Accepted: August 30, 2019 Online Published: October 15, 2019

doi:10.5539/ URL: <https://doi.org/10.5539/>

The research is financed by Higher Education Personnel Improvement Coordination.

Abstract

The objective was to evaluate the equipment efficiency in reducing drift and increasing the spray deposition. The experiment was conducted of the conilon coffee plantation, located on the experimental area of the Federal Institute of Espírito Santo, Itapina, Brazil. The experiment was a randomized complete block design with four replications. The treatments consisted: a knapsack sprayer with electrostatic assistance, an electric knapsack sprayer, a knapsack sprayer with a spray shield, and a knapsack sprayer without a spray shield. All sprayers were equipped with a single spray nozzle. Spray deposition was evaluated on wee leaves using a food colourant as a tracer. The knapsack sprayer with electrostatic assistance was the most efficient equipment, providing

lower values of drift, and the greatest deposition on the weeds. It is recommended to use the electrostatic sprayer, as it showed greater efficiency in the application of the product on the target, using smaller volume

Keywords: backpack sprayer, herbicide, knapsack sprayer, weeds

1. Introduction

Brazil has been the largest coffee bean producer and exporter since the 19th century, when its production began to be an expressive activity in the economy (Covre, Partelli, Mauri, & Dias, 2013). Of the 415,000 ha of conilon coffee (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) in Brazil, 256,550 ha are in Espírito Santo, followed by Rondônia and Bahia with 83,340 and 50,100 ha, respectively (Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB], 2018).

Among the factors contributing to a decline in coffee production include coffee competition with weed and coffee injury due herbicide application drift. To reduce herbicide drift, the applicator should use the correct application technology (França et al., 2013; Langaro, Nohatto, Perboni, Tarouco, & Agostinetto, 2014).

The herbicide application quality can be evaluated by analyzing the deposition, coverage, drift, and control efficacy. However, application droplet size is important in determining application efficiency and effectiveness. Small spray droplets may better cover a plant's surface, but may also evaporate under low relative humidity or be more susceptible wind drift, compared to large spray droplets that may run down a plant for the soil surface (Baesso, Teixeira, Ruas, & Baesso, 2014).

When the applied product is carried by the wind, instead of reaching the target, it reaches coffee or another area that is not of interest; this phenomenon is known as exo-drift. The loss of product that flows into the soil, whether or not it has been intercepted by the target, is known as endo-drift (Himel, 1969). Endo-drift and exo-drift are dependent on the application technology, herbicide formulation, and climatic conditions (Sasaki Sasaki, Teixeira, Fernandes, Monteiro, & Rodrigues 2013a).

Different equipment such as a Spray shield, an electric sprayer or an electrostatic sprayer can be used in order to reduce drift losses. The electric sprayer ensures greater control of application pressure and application volume (Sasaki, Teixeira, Nogueira, Alvarenga, & Oliveira, 2013b). The electrostatic sprayer provides a better spray deposition on the target plants because the charged droplet particles tend to adhere to the nearest plant, including the two sides of the sheet (Sasaki et al., 2013a). The spray shield is an alternative method to protect the crop at the time of application, as it directs the spray mixture to the target plants (Christoffoleti & Nicolai, 2013).

As a result of the problems often caused by application drift, our objective was to determine which equipment provides lower endo-drift (runoff into the soil), minor exo-drift (interception by the coffee tree) and greater deposition of spray mixture on the weeds.

2. Method

The experiment was carried out in a conilon coffee plantation (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner), composed of 13 clones Vitória Incaper 8142, located on the Federal Institute of Espírito Santo, Itapina, Brazil. (geographical coordinates: 19°32'22" south latitude and 40°37'50" west longitude, at an altitude of 71 m, Municipality of Colatina). The region, with its tropical climate, has a warm and humid summer and a dry winter, and is classified as Aw, according to the classification of Köppen & Geiger (1928). The experimental units consisted of an area of 12 m² (4.0 × 3.0 m) in a 14-year-old conilon coffee crop during the maturation phase. The plants had an average height of 1.77 m com spacing of 3.0 × 1.0 m. Corresponding to a area with 3,333 plants.

A phytosociological survey was performed on the area of coffee plantation, with the objective of characterizing the experimental units, discovering the two most important weed species, *Cyperus rotundus* and *Micranthemum umbrosum*. The experiment was conducted using a randomized complete block design distributed in split plot, with four replications, in which spraying equipment was used: knapsack sprayer with electrostatic assistance, a knapsack electric sprayer, and knapsack sprayers with and without a spray shield. The four subplots developed over time corresponded to weed ages, 15, 30, 45 and 60 days after mowing (DAM).

There were four types of equipment: a knapsack sprayer, model SP 20 with a tank capacity of 20 L, a knapsack sprayer, model SP 20 with a tank capacity of 20 L with spray shield, a knapsack sprayer with electrostatic assistance, model JE8999, with a tank capacity of 18 L, rechargeable battery with 12 V and 9 Ah, 35 W electric pump with 482 kPa and pressure regulation per potentiometer, which uses the pneumatic principle for the formation and fractionation of droplets, in addition to using the indirect charge induction method for the electrification of the drops; and knapsack electric sprayer, model FT-16, with a tank capacity of 16 L, rechargeable battery with 12 V and 12 Ah, with 400 kPa and pressure regulation per potentiometer. The sprayers were equipped with bar with spray flat fan spray tip (TT 11003).

Humidity was measured with a hygrometer. Wind speed, relative humidity and temperature measured for the first application corresponding to 15 days after weeding (15 DAM) were 0.3 m s^{-1} , 98% and $37.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, for the second application corresponding to 30 days after weeding (30 DAM) were 1.2 m s^{-1} , 70% and $27.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, for the third application corresponding to 45 days after weeding (45 DAM) were 2.1 m s^{-1} , 68% and $25.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, and for the fourth application corresponding to 60 days after weeding (60 DAM) were 0.2 m s^{-1} , 98% and $18.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$. The spraying was done in a straight line, in two passes in each plot, in order to cover the entire experimental area, with a displacement of the applicator regulated to 1.0 m s^{-1} . The discharge height was 0.50 m.

To evaluate the deposition of spray mix on weed leaves, the runoff onto the soil and the deposition in the leaves of the coffee tree used a tracer composed of dye blue, spraying indicator, at dose of 2 L ha^{-1} , for absorbance in the spectrophotometer. During the preparation of the spray mixture, a sample was taken to determine the actual or standard concentration of the dye (Palladini, 2000).

The determination of spray mix in weeds was done by collecting weed leaves contained in a wood template $0.20 \text{ m} \times 0.20 \text{ m}$, randomly cast on a single occasion in the experimental plot. Three leaves of *Cyperus rotundus* and *Micranthemum umbrosum* in the area were collected. These were then placed separately in plastic jars.

The determination of the drift in the area was performed by randomly distributing soil, just below the weeds, three acetate labels per plot, each with an area of 24 cm^2 , totaling 72 cm^2 of deposited area. After spraying, the labels were collected and placed in plastic bottles.

For the determination of the exo-drift, leaves of the coffee tree were collected at three heights (what were the 3 heights?) and two different depths of the canopy, using a trident-shaped wooden jig. These leaves were collected from the four central plants of each plot, two on each side. A coffee leaf was collected at each height and depth, and these were placed in plastic jars.

To accurately quantify the dye that hit the weeds, soil and coffee leaves, the endo-drift, exodrift and deposition values in the weeds were compared with the total spray mixture collected in petri dishes. Petri dishes, which were arranged in the plot above the weeds, to collect 100% of the spray mixture that was sprayed. After spraying, the plates were collected and placed in plastic bags.

In each of the plastic containers with the coffee leaves and weeds were added 25 ml of distilled water then shaken to extract the dye. The sheets were then removed from the plastic containers, dried with moisture absorbent paper and then stored in plastic bags. In the soil and plant laboratory, Itapina Campus of the IFES, the leaf area of the samples was measured using the LI-3100[®] leaf area meter. After, 25 ml of distilled water was added to the plastic containers containing coffee leaves, weeds and plastic labels. To the bags containing the petri dishes, 50 ml of distilled water was added.

All the samples were analyzed in the Agronomic Laboratory of Soil, Leaf and Water Analysis (LAGRO) at the University Center of North of Espírito Santo of the Federal University of Espírito Santo. The tracer deposition in these samples (coffee leaves, Petri dishes, plastic labels, and weeds) were performed using visible UV spectrophotometry (Reis, Queiroz, Cunha, & Alves, 2010).

In the laboratory, plastic containers containing distilled water from washing weed samples, plastic labels, coffee leaves and petri dishes were shaken for 30 seconds. The wash liquor from each sample was stored in a test tube, then the absorbance reading of those solutions were measured in a ThermoElectron Corporation[®] spectrophotometer, model Genesys 10 UV, set to measure the absorbance at a wavelength of 630 nm . For this purpose, a 4 mL aliquot was placed in a glass cuvette for reading in the spectrophotometer.

The absorbance values that were obtained by reading each sample in the spectrophotometer were transformed into concentration (mg L^{-1}) by adopting the standard curve equation established by the dilutions (1/50, 1/100, 1/200, 1/500, 1/1,000, 1/2,000, 1/5,000, 1/10,000, 1/20,000) sample of the sample collected from the spray tank, after application. Knowing the initial spray mixture concentration (10 mL^{-1}) and the volume of dilution of the samples (25 and 50 ml), it was possible to determine the mass of dye retained at the target.

The endo-drift and exo-drift weed deposition data were applied at the 5% significance level to the Durbin-Watson (DW), Shapiro-Wilk (W) and Bartlett (B) tests to determine the independence of the residues, the normality of residues, and the homogeneity of variances, respectively. While the means of the treatments were matched by the Tukey test, with the interaction of the means tests enabled by using SISVAR statistical software (Ferreira, 2011) at the 5% level of significance ($p < 0.05$).

3. Results and Discussion

Was verified from the analysis of variance a significant difference among the times of spraying for all collection points. There was also a significant difference among endo-drift treatments. However, there was no significant interaction among the types of equipment and times (weed ages) of spraying for the evaluated variables.

It was verified that, after the treatment splitting corresponding to the types of equipment within the time (weed ages) of spraying, there was no significant difference in the deposition of spray mixture in the *Cyperus rotundus* weed (WP1) and in the exo-drift (when interception occurred compared to the times of spraying). However, the deposit in the *Micranthemum umbrosum* weed (WP2) and the endo-drift (soil runoff) was significantly different in relation to the treatments (Table 1).

Table 1. Average values of spray mixture deposition in the *Cyperus rotundus* weed plant (WP1) and the *Micranthemum umbrosum* weed plant (WP2); endo-drift—drainage for soil (ENDO) and exo-drift—interception by the coffee tree (EXO), resulting from the type of equipment being treated within the spraying period (weed age)

Treatments	Averages				
	WP1 ($\mu\text{l cm}^{-2}$)	WP2 ($\mu\text{l cm}^{-2}$)	ENDO ($\mu\text{l cm}^{-2}$)	EXO ($\mu\text{l cm}^{-2}$)	
First spray	knapsack sprayer with electrostatic assistance	660.894 a	5.962 a	0.605 b	704.521 a
	knapsack electric sprayer	605.855 a	82.807 a	0.861 ab	717.612 a
	knapsack sprayer without a spray shield	947.047 a	97.420 a	1.288 a	995.362 a
	knapsack sprayer with a spray shield	870.068 a	123.662 a	1.288 a	1031.917 a
Second spray	knapsack sprayer with electrostatic assistance	517.910 a	0.470 a	0.402 b	518.841 a
	knapsack electric sprayer	192.599 a	0.448 a	0.459 ab	193.735 a
	knapsack sprayer without a spray shield	460.320 a	0.731 a	0.609 ab	462.320 a
	knapsack sprayer with a spray shield	687.761 a	0.789 a	0.800 a	691.571 a
Third spray	knapsack sprayer with electrostatic assistance	250.031 a	0.785 a	0.145 b	169.442 a
	knapsack electric sprayer	233.306 a	1.107 a	0.304 ab	234.959 a
	knapsack sprayer without a spray shield	166.927 a	1.703 a	0.371 a	251.282 a
	knapsack sprayer with a spray shield	294.111 a	0.622 a	0.456 a	295.318 a
Fourth spray	knapsack sprayer with electrostatic assistance	931.267 a	262.579 a	0.174 a	1194.152 a
	knapsack electric sprayer	1259.463 a	28.659 b	0.262 a	1288.730 a
	knapsack sprayer without a spray shield	911.859 a	4.668 c	0.420 a	917.223 a
	knapsack sprayer with a spray shield	661.836 a	3.769 c	0.256 a	666.023 a

In the last spray period, the knapsack sprayer with electrostatic assistance was the equipment that provided the largest deposition of the spray mixture to the *Micranthemum umbrosum* weed, followed by the knapsack electric sprayer. Thus, these two equipment types were the most efficient in depositing a largest amount of spray mixture on the target weed (Table 1).

According to Baesso et al. (2014), spray droplets can be divided by size: thin ($< 200 \mu\text{m}$), medium (200 and $400 \mu\text{m}$) and thick ($> 400 \mu\text{m}$). The knapsack sprayer with electrostatic assistance produces thin droplets according to Gitirana Neto, Cunha, Marques, Lasmara, and Borges (2005), which better covers the target and provides greater penetration of the plant canopy (Baesso et al., 2014). Therefore, the droplet size produced by this equipment in the present study indicate a greater efficiency in depositing the spray mixture on the target. Corroborating this result, Cunha, Marques, & Alves, 2016, demonstrated that the spray tip that generated smaller and more uniform droplets was able to deposit more spray mixture throughout the canopy of soybean plants.

The weed leaf area was greater at the 60 DAM application time, due to the greater time following mowing (Figure 1), may have also contributed to a greater deposition by the knapsack sprayer with electrostatic assistance. This result is due to the equipment's ability to deposit of spray mixture to the nearest target, as demonstrated by Sasaki et al. (2013c) and Tavares, Cunha, Alves, Alves, and Silva (2017). In addition, these authors explained that for more distant targets, electrostatic charge loss may occur during the trajectory between the spray tip and the target.

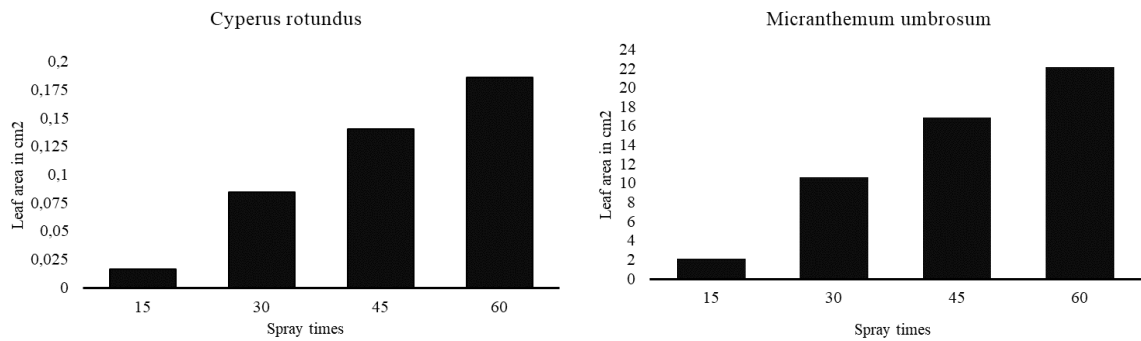


Figure 1. Histograms representing the average area (cm²) of *Cyperus rotundus* and *Micranthemum umbrosum* weeds at different weed ages, in days after weeding

A third factor that may have influenced the greatest deposit by the knapsack sprayer with electrostatic assistance, as observed in Table 1, was the deposition capacity on both sides of the leaves. According to Chaim (2006), this equipment has the ability to deposit drops on all sides of the grounded body. This characteristic of the sprayer greatly increases the deposition of the spray mix, as demonstrated by Sasaki et al. (2013a), who observed a 37% increase in the deposition of spray mixture in the canopy of Arabica coffee, when they made use of the electrostatic system, compared to when it was not used.

The lower endo-drift in the first spray occurrences, according to Table 1, could demonstrate the greater efficiency of the knapsack sprayer with electrostatic assistance in relation to knapsack sprayer without a spray shield and knapsack sprayer with a spray shield, since the weeds were still very small, with little leaf area for retaining the spray mix (Figure 1), due to the smaller size, being further away from the spray nozzle. Even so, the loss to the soil was less. This can be explained according to Baesso et al. (2014), because smaller droplets, which better cover the target, have a greater capacity to reach the target and reduce leaf runoff under adequate climatic conditions.

The knapsack sprayer without a spray shield produces larger droplets than the knapsack sprayer with electrostatic assistance and knapsack electric sprayers (Rodrigues, Abi-Saab, Gandolfo, De Oliveira, & Hasegawa, 2015). Large drops have less problem with evaporation and drift, but have less efficiency in target coverage, as the drops penetrate less into the crop canopy, are heavier and tend to drain easily (Baesso et al., 2014). The knapsack sprayer's with and without spray shield characteristic of producing larger droplets, due to the format of the shield, could explain the greater amount of endo-drift when using this combination of equipment. The shield aims to avoid drifting, which may be detrimental to the coffee plantation, as demonstrated by Maciel, Teixeira, Fernandes, Da Vitória, and Cecon, (2017), who, when evaluating the control of weeds with different herbicides, verified that the drift caused damage to more than 73% of the aerial part of the castor bean in the treatment without a shield, compared to the treatment when using a shield. Despite this protective feature of the shield, the shield can increase the flow of spray mixture into the soil. In this study, it was possible to observe that when sprayed by the spray tip, the spray mix came into contact with the sides of the accessory and the drops clustered, forming larger drops that would more easily drip when sprayed on the plants.

As to the total spraying destination in the four periods, the knapsack sprayer with electrostatic assistance resulted in a lower endo-drift (15.26%), followed by the knapsack electric sprayer (21.66%), the knapsack sprayer without a spray shield (30.89%), and the knapsack sprayer with a spray shield (32.18%) (Figure 2).

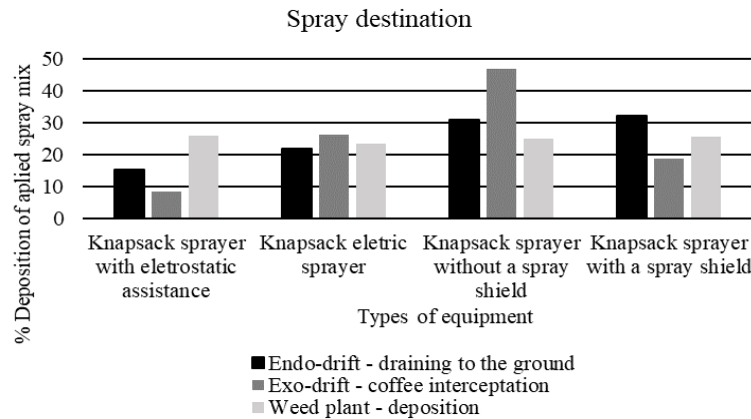


Figure 2. Histograms representing the endo-drift, exo-drift and deposition in the weeds, using different models of sprayers

The lower endo-drift caused by knapsack sprayer with electrostatic assistance and knapsack electric sprayer may be related to the higher working pressure that produces smaller droplets (Fernandes, Parreira, Ferreira, & Romani, 2007). Maciel et al. (2017), and Cunha et al. (2016) found that, with increasing working pressure, the flow rate also increases, and that the diameter of the produced droplets decreases. Baesso et al. (2014) reported that smaller droplets better cover the target, present a greater capacity to reach the crop, and reduce leaf runoff. The results presented by these authors are similar to those found in the present study, in which the knapsack sprayer with electrostatic assistance offered the best coverage of the target, providing larger spray mix deposit (25.97%) in the weeds compared to the other equipment (Figure 2).

The greater endo-drift caused by the knapsack sprayer with a spray shield can be explained by the shape of the shield (Figure 2).

It is also known that the working pressure exerted by the knapsack sprayer with a spray shield, independent of the shield, is lower than that exerted by knapsack electric sprayer and knapsack sprayer with electrostatic assistance (Chaim, 2006). The lower pressure causes the formation of large droplets (Rodrigues et al., 2015), which have a lower capacity to penetrate the crop, increasing the possibility of drainage from the spray mixture into the soil (Baesso et al., 2014). This is probably the reason why the applications made with the knapsack sprayer without a spray shield presented a greater amount of endo-drift (Figure 2).

In addition, the greater flow of spray mixture into the soil facilitated by the equipment, *i.e.*, the knapsack sprayer with a spray shield and the manual knapsack sprayer without spray shield, may be related to the higher volume of spray mixture applied in relation to the other equipment (Figure 3). As demonstrated by Oliveira, Souza Júnior, Pereira, Ruas, and Gdinho Junior (2017), higher sprayer application volumes favored increase spray mixture losses to the soil when spraying carrot plants.

Despite the greater values of endo-drift presented by these two sprayers (the knapsack sprayer with a spray shield and the manual knapsack sprayer without spray shield), after the knapsack sprayer with electrostatic assistance, these were the most efficient in depositing spray mix in the weeds, with a deposit of 25.63% (knapsack sprayer with a spray shield) and 24.96% (knapsack sprayer without a spray shield) (Figure 2). This possibly occurred due to the greater volume of spray mixture applied by these two types of equipment when compared to the knapsack electric sprayer (Figure 3).

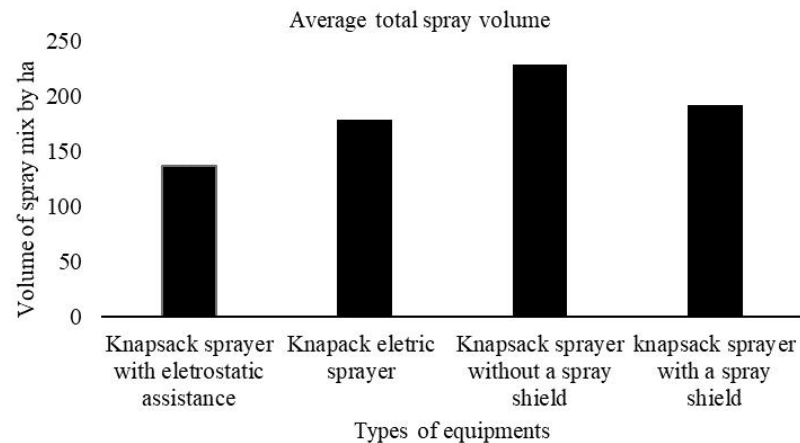


Figure 3. Histogram representing the estimates that express the total volume of spray mixture applied per hectare by the different types of equipment

The knapsack sprayer with electrostatic assistance resulted in a minor amount of exo-drift in the coffee leaves (8.48%), followed by the knapsack sprayer with a spray shield (18.58%), the knapsack electric sprayer (26.13%) and the knapsack sprayer without a spray shield (46.81%) (Figure 2).

This greater efficiency of the knapsack sprayer with electrostatic assistance, with less exo-drift, has been explained by Chaim (2006), who stated that by adding extra force to the small drops, even when spraying is susceptible to drift, as is the case with electrostatic spraying, the movement of these droplets can be controlled, even against gravity, and droplets with an electrostatic charge can settle on both sides of the leaf.

According to the second law of electrostatics, the charge of a charged body or a cloud of charged particles will induce an equal and opposite electric charge on some nearby grounded conducting body. The attraction force of the charged drop in relation to the plant on both sides of the sheet. The second is a function of the electric field forces of the spray nozzle and the cloud over the electric field of the drop. Thus, if we direct the electric fields to the plant in question, the droplets will project onto it (Chaim, 2006). Therefore, the electrostatic sprayer tends to deposit the spray mixture at its closest target, which, in the case of the present study, were weeds, at which the spray tip was directed (Figure 2).

In spite of contributing to a greater flow of spray mixture to the soil, the knapsack sprayer with a spray shield provided good protection for the crop, resulting in the second lowest value of the coffee spray mixture drift (Figure 2). These results are similar to Maciel et al. (2017), who verified the efficiency in protecting the crop, while observing minor damage to castor beans when the shield were used.

Due to the higher working pressure, the knapsack electric sprayer produces smaller droplets, which are easily charged by the wind (Sasaki et al., 2015; Tavares et al., 2017). This explains the second greatest value of exo-drift in coffee leaves and the lower deposition in weeds (23.44%) in comparison to the knapsack sprayer with electrostatic assistance (25.97%), which also produces small droplets (Figure 2). The difference is that the droplets expelled by the knapsack sprayer with electrostatic assistance are attracted to the nearest target, due to their electrification (Chaim, 2006). The knapsack electric sprayer ejects the droplets in the direction of the target to which it is directed, and in this trajectory, the small droplets are subject to by wind deviations or evaporation.

The exo-drift in the coffee tree was greater when the knapsack sprayer without a spray shield was used (Figure 2). The most exo-drift using the knapsack sprayer without a spray shield may have been caused by the working pressure of the equipment due to manual pumping. In laboratory research, using different spray tips, flow rates and working pressures, Maciel et al. (2017) showed that, when using the fan-type tip, the flow increased as a result of the increase in working pressure, producing droplets with a smaller diameter. Cunha et al. (2016) found that, with increasing pressure, small droplets formed, with a diameter of less than 100 μm . A reduction in the droplet diameter occurs because with greater pressure, more liquid is forced across the spray tip, thus, the greater the fractionation of the spray (Maciel et al., 2017). This confirms that the knapsack sprayer provides a greater amount of exo-drift when it is not equipped with the shield.

4. Conclusions

In our research the knapsack sprayer with electrostatic assistance was the most efficient equipment used, allowing for lower endo-drift and exo-drift, as well as depositing a greater amount of product on the weeds with a lower total volume of spray mix applied, which means water conservation, lower production costs, and a lower risk of environmental contamination.

Among all the equipment used, the knapsack sprayer with a spray shield results in a greater amount of endo-drift, while the knapsack sprayer without a spray shield leads to a greater amount of exo-drift and the knapsack electric sprayer deposits a smaller volume of spray mixture on the weeds.

References

- Baesso, M. M., Teixeira, M. M., Ruas, R. A. A., & Baesso, R. C. E. (2014). Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. *Revista Ceres*, 61, 780-785. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000003>
- Chaim, A. (2006). *Pulverização eletrostática: Principais processos utilizados para eletrificação de gotas*. Embrapa Meio Ambiente.
- Christoffoleti, P. J., & Nicolai, M. (2013). Convivência com plantas daninhas não deve limitar cafezal. *Visão Agrícola*, 12, 37-39.
- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). (2018). Acompanhamento da Safra Brasileira. *Café, Segundo Levantamento, Safra 2018*. Brasília, Brazil.
- Covre, A. M., Partelli, F. L., Mauri, A. L., & Dias, M. A. (2013). Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café Conilon. *Agro@mbiente On-line*, 7, 193-202.
- Cunha, J. P. A. R., Marques, R. S., & Alves, G. S. (2016). Deposição da calda na cultura da soja em função de diferentes pressões de trabalho e pontas de pulverização. *Revista Ceres*, 63, 761-768. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201663060003>
- Fernandes, A. P., Parreira, R. S., Ferreira, M. C., & Romani, G. N. (2007). Caracterização do perfil de deposição e do diâmetro de gotas e otimização do espaçamento entre bicos na barra de pulverização. *Engenharia Agrícola*, 27, 728-733. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000400016>
- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(6), 1039-1042.
- França, A. A. C., Carvalho, F. P., Fialho, C. M. T., D'Antonino, L., Silva, A. A. A., Santos, J. B., & Ferreira, L. R. (2013). Deriva Simulada do Glyphosate em cultivares de café acaia e catucaia. *Planta Daninha*, 31, 443-451. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000200023>
- Gitirana Neto, J., Cunha, J. P. A. R., Marques, R. S., Lasmar, O., & Borges, E. B. (2015). Deposição de calda promovida por pulverizadores empregados na cafeicultura de montanha. *Coffee Science*, 11, 276-275.
- Himel, C. M. (1969). The optimum size for insecticide spray droplets. *Journal of Economic Entomology*, 62, 919-925. <https://doi.org/10.1520/STP104310>
- Köppen, W., & Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm.
- Langaro, A. C., Nohatto, M. A., Perboni, L. T., Tarouco, C. P., & Agostinetto, D. (2014). Alterações fisiológicas na cultura do tomateiro devido à deriva simulada de herbicidas. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 13, 40-46. <https://doi.org/10.7824/rbh.v13i1.282>
- Maciel, C. D. G., Poletine, J. P., Velini, E. D., Amaral, J. G. C., Zani, L. P., Santos, R. F., ... Ribeiro, R. B. (2008). Possibilidade de aplicação de misturas de herbicidas de ação total com jato dirigido em mamoneira de porte anão. *Planta Daninha*, 26, 457-464. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000200023>
- Maciel, C. F. S., Teixeira, M. M., Fernandes, H. C., Da Vitória, E. L., & Cecon, P. R. (2017). Distribuição volumétrica e espectro de gotas das pontas hidráulicas LD 11002 e MAG-2. *Revista de Engenharia na Agricultura*, 25, 183-199. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i3.671>
- Miranda, G. R. B., Raetano, C. G., Cunha, M. D. Q., Pinheiro, J. M., Lopes, P. R., Prado, A. S., ... Gonçalves, M. P. (2013). Equipamentos de pulverização associados a volumes de calda e avaliados por alvos artificiais em cafeeiro. *Revista Agrarian*, 6, 448-459.
- Oliveira, V. B. M., Souza Júnior, J. M., Pereira, L. O. A., Ruas, R. A. A., & Gdinho Junior, J. D. (2017). Análise de deposição e penetração de calda na cultura da cenoura. *Global Science and Technology*, 10, 121-127.
- Palladini, L. A. (2000). Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações (Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo).

- Reis, E. F., Queiroz, D. M., Cunha, J. P. A. R., & Alves, S. M. F. (2010). Qualidade da aplicação aérea líquida com uma aeronave agrícola experimental na cultura da soja (*Glycine max* L.). *Engenharia Agrícola*, *30*, 958-966. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000500017>
- Rodrigues, E. B., Abi-Saab, O. J., Gandolfo, M. A., de Oliveira, R. B., & Hasegawa, M. M. (2015). Deriva de equipamentos costais na aplicação de glyphosate. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, *19*, 1012-1017. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p1012-1017>
- Sasaki, R. S., Teixeira M. M., Santiago, H., Madureira, R. P., Maciel, C. F. S., & Fernandes, H. C. (2015). Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. *Ciência Rural*, *45*, 274-279. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131604>
- Sasaki, R. S., Teixeira, M. M., Fernandes, H. C., Monteiro, P. M. B., & Rodrigues, D. E. (2013a). Deposição e uniformidade de distribuição de calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. *Ciência Rural*, *43*, 1605-1609. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000900011>
- Sasaki, R. S., Teixeira, M. M., Fernandes, H. C., Monteiro, P. M. B., Rodrigues, D. E., & Alvarenga, C. B. (2013c). Parameters of electrostatics spraying and its influence on the application efficiency. *Revista Ceres*, *60*, 474-479. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000400005>
- Sasaki, R. S., Teixeira, M. M., Nogueira, L. E., Alvarenga, C. B., & Oliveira, M. V. M. (2013b). Desempenho operacional de um pulverizador costal elétrico. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, *43*, 339-342. <https://doi.org/10.1590/S1983-4063201300030001>
- Tavares, R. M., Cunha, J. P. A. R., Alves, T. C., Alves, G. S., & Silva, J. E. R. (2017). Estudo de um sistema de eletrificação de gotas em pulverizador costal pneumático pelo método de gaiola de Faraday. *Revista Ceres*, *64*, 476-485. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201764050004>

3.2. Efeitos fisiológicos da deriva simulada do herbicida saflufenacil na cultura do café conilon

Resumo

Objetivou-se avaliar a fitotoxidez de subdoses do herbicida saflufenacil em plantas de café conilon, por meio de avaliações fisiológicas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Espírito Santo, *Campus São Mateus*. A parcela experimental foi composta por vaso de 5 L contendo uma planta de café conilon, clone LB1. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizados, com 15 repetições. Os tratamentos foram compostos por subdoses de 10, 20, 30 e 40% da maior dose recomendada por hectare do herbicida saflufenacil. A aplicação foi feita utilizando um pulverizador costal pressurizado a CO₂, munido com ponta de pulverização tipo leque (TT 11003), calibrado na pressão constante de 250 kPa, proporcionando 200 L ha⁻¹ de volume de calda. Os parâmetros avaliados foram: fluorescência da clorofila *a* e teores de pigmentos (carotenoides, clorofilas *a*, *b* e totais). Observou-se maior fitotoxidez nas plantas de café aos 15 dias após a aplicação (DAA), nas subdoses de 20, 30 e 40%. Não houve diferença significativa para os teores de clorofila *a*, porém, houve aumento nos teores de clorofila *b*, clorofilas totais e carotenoides em resposta ao estresse. As análises das bandas-L, Bandas-K e os parâmetros do teste JIP, bem como, os teores de pigmentos, são bons indicativos para caracterizar distúrbios fisiológicos em plantas.

Palavras-chave: fluorescência, pigmentos, *coffee canephora*

Abstract

The objective was to evaluate the phytotoxicity of underdoses of the herbicide saflufenacil in conilon coffee plants, through physiological evaluations. The experiment was conducted in a greenhouse at the Experimental Farm of the Federal University of Espírito Santo, Campus São Mateus. The experimental plot consisted of a 5 L pot containing a conilon coffee plant, clone LB1. A completely randomized design was used, with four replications. The treatments consisted of underdoses of 10, 20, 30 and 40% of the highest recommended dose per hectare of the herbicide saflufenacil. The application was made using a backpack sprayer pressurized to CO₂, equipped with a fan-type spray tip (TT 11003), calibrated at a constant pressure of 250 kPa, providing 200 L ha⁻¹ of spray volume. The evaluated parameters were: fluorescence of chlorophyll a and pigment levels (carotenoids, chlorophylls a, b and total). Greater phytotoxicity was observed in the coffee plants at 15 days after application (DAA), in the sub-doses of 20, 30 and 40%. There was no significant difference for the levels of chlorophyll a, however, there was an increase in the levels of chlorophyll b, total chlorophylls and carotenoids in response to stress. The analyzes of the L-bands, K-bands and the JIP test vestments, as well as the pigment contents, are good indications for characterizing physiological disorders in plants.

Keyword: fluorescence, pigments, *coffee canephora*

Introdução

O Brasil é o maior exportador de café desde o século XIX, quando a cafeicultura começou a demonstrar expressivo efeito na economia (Covre et al., 2013). Sua área de café conilon gira em torno de 398,8 mil hectares, sendo que no Espírito Santo encontra-se a maior área, 261,5 mil hectares. Seguido por Rondônia (70,5 mil hectares) e Bahia (39,9 mil hectares) (Conab, 2019).

Vários fatores influenciam no sucesso da atividade cafeeira, destacando-se a diminuição de custos de produção, aumento da produtividade e busca pela qualidade (Fabrício et al., 2012). A baixa produtividade, em muitos casos, se deve a interferência de plantas daninhas (Oliveira neto et al., 2013). Dessa forma, os produtores fazem uso do controle químico, que geralmente é feito aplicando

herbicidas não-seletivos em jato dirigido sobre as plantas daninhas, a fim de evitar contato do produto com a cultura (Volpe et al., 2013).

A aplicação desses produtos muitas vezes é feita em condições erradas ou sem a tecnologia adequada, permitindo que os herbicidas atinjam as plantas de café, o que não é desejado (Voltolini et al., 2015b).

Efeitos negativos da deriva de herbicidas são evidenciados em muitos estudos, como nos trabalhos desenvolvidos por França et al. (2013), Alecrin et al. (2013) e Voltolini et al. (2015a) em café, e Langaro et al. (2014) em tomateiro. Foram observados problemas quanto a mudanças na anatomia e processos fisiológicos das plantas, diminuição na captação de nutrientes e queda no crescimento da cultura. Como sintomas visuais provocados pela deriva de glifosato, Voltolini et al. (2015a) observaram clorose nas folhas e estreitamento do limbo foliar.

O saflufenacil é recomendado para controle de plantas daninhas resistentes ou tolerantes ao glifosato (BASF, 2017b). O herbicida saflufenacil é um produto com ação de contato, não seletivo para as plantas daninhas (Agrofit, 2017) em pós-emergência (BASF, 2017b). Este produto atua na inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) que reduz a síntese de clorofila e citocromos, prejudicando a fotossíntese (BASF, 2017a).

As moléculas de clorofilas a e b, e carotenoides, absorvem a energia luminosa a ser usada na fotossíntese. Essa energia excita as clorofilas que ficam instáveis. Essa energia tem três destinos: pode ser utilizada nos processos fotoquímicos, perdida como calor ou reemitida como fluorescência (Lichtenthaler et al., 1986).

O rendimento quântico do fotossistema II (FSII), pode ser medido através da fluorescência da clorofila a, revelando o nível energético de excitação dos pigmentos determinantes na fotossíntese (Tester e Bacic, 2005). O transiente OJIP possibilita verificar através da fluorescência da clorofila a, o estado em que se encontra o mecanismo fotossintético, principalmente o FSII (Lazár, 2006).

Devido às particularidades de cada herbicida quanto aos efeitos nas plantas daninhas, problemas causados à cultura do café quando em contato com a cultura, relatados na literatura, e variações na quantidade de produtos utilizados, o objetivo deste trabalho foi avaliar a fitotoxicidade de subdoses (deriva) do herbicida saflufenacil em plantas de café conilon, por meio de avaliações fisiológicas.

Material E Métodos

O experimento foi implantado em casa de vegetação na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES – *Campus São Mateus*, com coordenadas geográficas: 18° 40' 22.25" de latitude Sul e 39° 52' 22.37" de latitude Oeste, a 36 m de altitude, localizado no município de São Mateus. A região, de clima tropical, classificada como Aw, apresenta verão quente e úmido e inverno seco (Köppen & Geiger, 1928).

As mudas de café conilon clone LB1 foram adquiridas no Incaper e mantidas em casa de vegetação telada, sob irrigação por aspersão diária. Quando apresentaram quatro pares de folhas completamente expandidas, as mudas foram transplantadas para vasos de polietileno com capacidade de 5 L, e mantidas em casa de vegetação. Cada vaso foi preenchido com substrato feito de mistura de solo + esterco de curral curtido + substrato comercial basaplant (1:1:1), e mantido com uma planta.

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com 15 repetições, nas quais, cada vaso foi considerado uma Unidade Experimental (UE), totalizando 75 UEs. Os tratamentos testados foram as subdoses de saflufenacil, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Subdoses do herbicida aplicadas em plantas de café conilon, simulando a deriva de saflufenacil.

Tratamento	Dose do produto (g ha⁻¹)	% das doses dos tratamentos (ha⁻¹)*
Testemunha	0	0%
Saflufenacil	10	10% de 100 g ha ⁻¹ de Heat®
Saflufenacil	20	20% de 100 g ha ⁻¹ de Heat®
Saflufenacil	30	30% de 100 g ha ⁻¹ de Heat®
Saflufenacil	40	40% de 100 g ha ⁻¹ de Heat®

* Doses recomendadas e utilizadas para o controle de grande número de plantas daninhas.

Aos 45 dias após o transplante das mudas previamente produzidas em sacolas para os vasos, foi feita a aplicação do herbicida, passando-se a barra de pulverização próximo ao topo das plantas. Foi utilizado um pulverizador costal, pressurizado a CO₂, munido de barra com ponta de pulverização tipo leque (TT 11003), calibrado na pressão constante de 250 kPa, proporcionando 200 L ha⁻¹ de volume de calda.

Os parâmetros avaliados foram a fluorescência da clorofila *a*, teores de pigmentos (carotenoides, clorofilas *a*, *b* e totais). A primeira análise de fluorescência transiente da clorofila *a* foi realizada sete dias após a aplicação do herbicida e depois quinzenalmente. Para tanto, foi utilizada uma folha de cada planta, fisiologicamente madura e vigorosa, completamente expandida. Foi escolhida a folha do segundo par de folhas na extremidade da planta. Os valores foram obtidos no período de 7 a 10 h da manhã.

Antes da leitura, as folhas passaram por adaptação ao escuro durante meia hora utilizando-se clips foliares (Hansatech) para possibilitar total oxidação dos componentes do complexo de transporte de elétrons. Houve a indução dos transientes através de iluminação por 1 s com um pulso de luz de intensidade limite de 3000 μmol (fótons) m⁻²s⁻¹ somente em uma área de 4 mm de diâmetro na folha, com auxílio do fluorômetro portátil (Handy PEA, Hansatech Instruments). Dessa forma, foi possível registrar o lançamento de fluorescência transiente de 10 ms a 1 s com 120 pontos de fluorescência. Com a curva de fluorescência transiente OJIP, foi possível avaliar o teste JIP levando em consideração as informações apresentadas na tabela 2 (Strasser e Strasser, 1995; Strasser et al., 2004).

Tabela 2. Nomenclatura usada no teste JIP obtido com base no transiente de fluorescência da clorofila *a* (O-J-I-P) segundo Strasser et al. (2004)

Parâmetros de fluorescência	Descrição
Dados extraídos do transiente de fluorescência OJIP	
$F_{20\mu s}$	Fluorescência mínima
$FK=F_{0,3ms}$	Intensidade da fluorescência no ponto K aos 300 μs do transiente OJIP
$FJ=F_{2ms}$	Intensidade da fluorescência no ponto J aos 2 ms do transiente OJIP
$FI=F_{30ms}$	Intensidade da fluorescência no ponto I aos 30 ms do transiente OJIP

$$FP = F_{300ms}$$

Intensidade máxima da fluorescência no ponto P aos 300 ms do transiente OJIP

Parâmetros técnicos	
$FO = F_{0,02ms}$	Fluorescência inicial
FM	Fluorescência máxima
$FV = FM - FO$	Fluorescência variável
$MO = dV/dt_0 = [4 (F_{300\mu s} - FO) / (FM - FO)]$	Origem da inclinação da curva de fluorescência [= taxa relativa de redução de QA (dQA- / dt0 por QA Total)]
$VJ = (F_{2ms} - FO) / (FM - FO)$	Fluorescência variável normalizada no ponto J (2 ms)
$VI = (F_{30ms} - FO) / (FM - FO)$	Fluorescência variável normalizada no ponto I (30 ms)
Rendimento quântico e eficiências	
$\phi P_0 = TR_0 / ABS = (FM - FO) / FM = 1 (FO / FM)$	Rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária
$\psi E_0 = ET_0 / TR_0 = 1 - V_J$	Probabilidade de um éxciton capturado de se mover para além de QA-
$\phi E_0 = \phi P_0 \psi E_0 = (TR_0 / ABS) (ET_0 / TR_0) = ET_0 / ABS = (1 - FO / FM) (1 - V_J)$	Probabilidade de um fóton absorvido tem de se mover além de QA-
$\phi D_0 = DI_0 / ABS = 1 - \phi P_0 = FO / FM$	Rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor
$\delta R_0 = RE_0 / ET_0 = (1 - V_I) / (1 - V_J)$	Eficiência/ Probabilidade que um elétron do intersistema mover-se para o lado acceptor do FSI
$\phi R_0 = RE_0 / ABS = \phi P_0 \psi E_0 \delta R_0$	Rendimento quântico para redução dos aceptores finais do FSI por fóton absorvido
$RC / ABS = (RC / TR_0) (TR_0 / ABS) = (V_J / M_0) (F_V / F_M)$	Centros e reação redutores de QA por clorofila na antena do FSII
Fluxos específicos de energia (por Q_A reduzido centro de reação do FSII)	
$ABS / RC = M_0 / V_J / \phi P_0$	Fluxo de absorção por centro de reação ativo
$TR_0 / RC = M_0 / V_J$	Fluxo de energia capturada por centro de reação ativo
$ET_0 / RC = (M_0 / V_J) \psi E_0 = (M_0 / V_J) (1 - V_J)$	Fluxo de elétrons transportados por centro de reação ativo
$DI_0 / RC = [(ABS / RC) - (TR_0 / RC)]$	Energia total dissipada como calor por centro de reação
$RE_0 / RC = M_0 (1 / V_J) \psi E_0 \delta R_0$	Redução de aceptores finais do lado acceptor do FSI por centro de reação
Índices de desempenho	

$PI_{ABS} = RC/ABS[\phi P_o/(1-\phi P_o)][\psi E_o/(1-\psi E_o)]$	Índice de desempenho (potencial) para conservação de energia desde éxcitons capturados até a redução dos aceptores de elétrons do intersistema
$PI_{Total} = PI_{ABS} [\delta R_o / (1 - \delta R_o)]$	Índice de desempenho (potencial) para conservação de energia de um éxciton capturado para redução dos aceptores finais do FSI

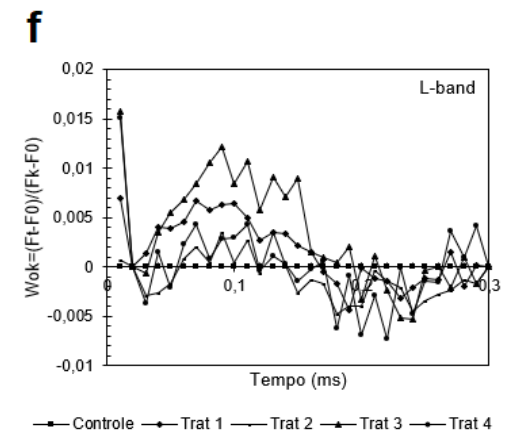
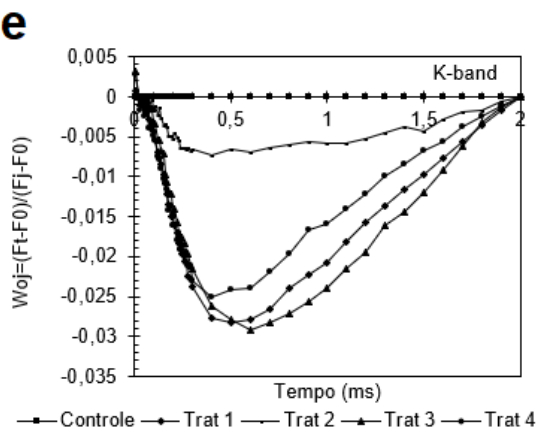
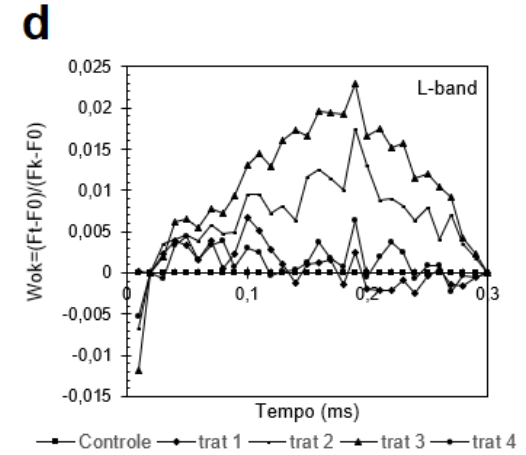
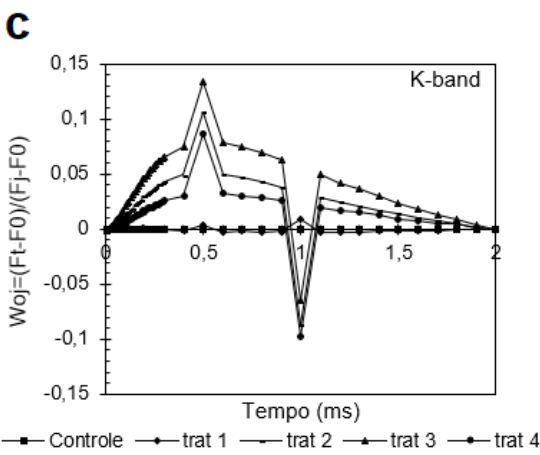
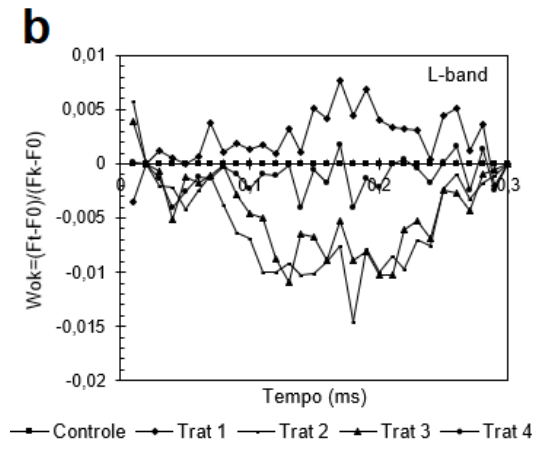
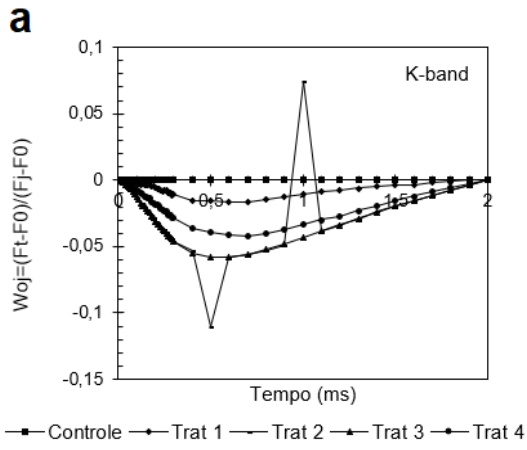
A medição dos teores de pigmentos (carotenoides, clorofila *a*, *b* e totais) foi feita ao final do experimento. Para tanto, foi coletada uma folha completamente expandida, e desta, com ajuda de um perfurador de papel foram retirados discos suficientes para que o peso se mantivesse no espaço de 20 a 29,9 mg. Os discos foram armazenados em tubos de ensaio com 5 ml de acetona 80% e acondicionados no escuro a temperatura de 4°C por 48 horas (Victório et al., 2007). Posteriormente, foram realizadas leituras no espectrofotômetro (Thermo Scientific Genesys 10S UV-Vis) a $\lambda = 470$, $\lambda = 645$ e $\lambda = 663$ nm para carotenoides, clorofila *a* e clorofila *b*, respectivamente.

Os teores foram calculados utilizando as equações de Arnon (1949) e Lichtenthaler (1987), expresso em mg.g⁻¹ de matéria fresca (MF).

Os dados encontrados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas utilizando o teste Tukey, com nível de significância de 5% de probabilidade. O programa utilizado para realização das análises foi o Sisvar® (Ferreira, 2011).

Resultados e discussão

Os dados de fluorescência da clorofila *a* entre os locais O (20 μ s) e K (300 μ s), entre os locais O (20 μ s) e J (2 ms), foram normalizados e apresentados como diferenças cinéticas, as quais, permitem a visualização das bandas L e K respectivamente. Segundo Oukarroum et al., (2009), uma forma eficiente de identificar problemas fisiológicos em plantas, é a utilização de análise das bandas-K e L.



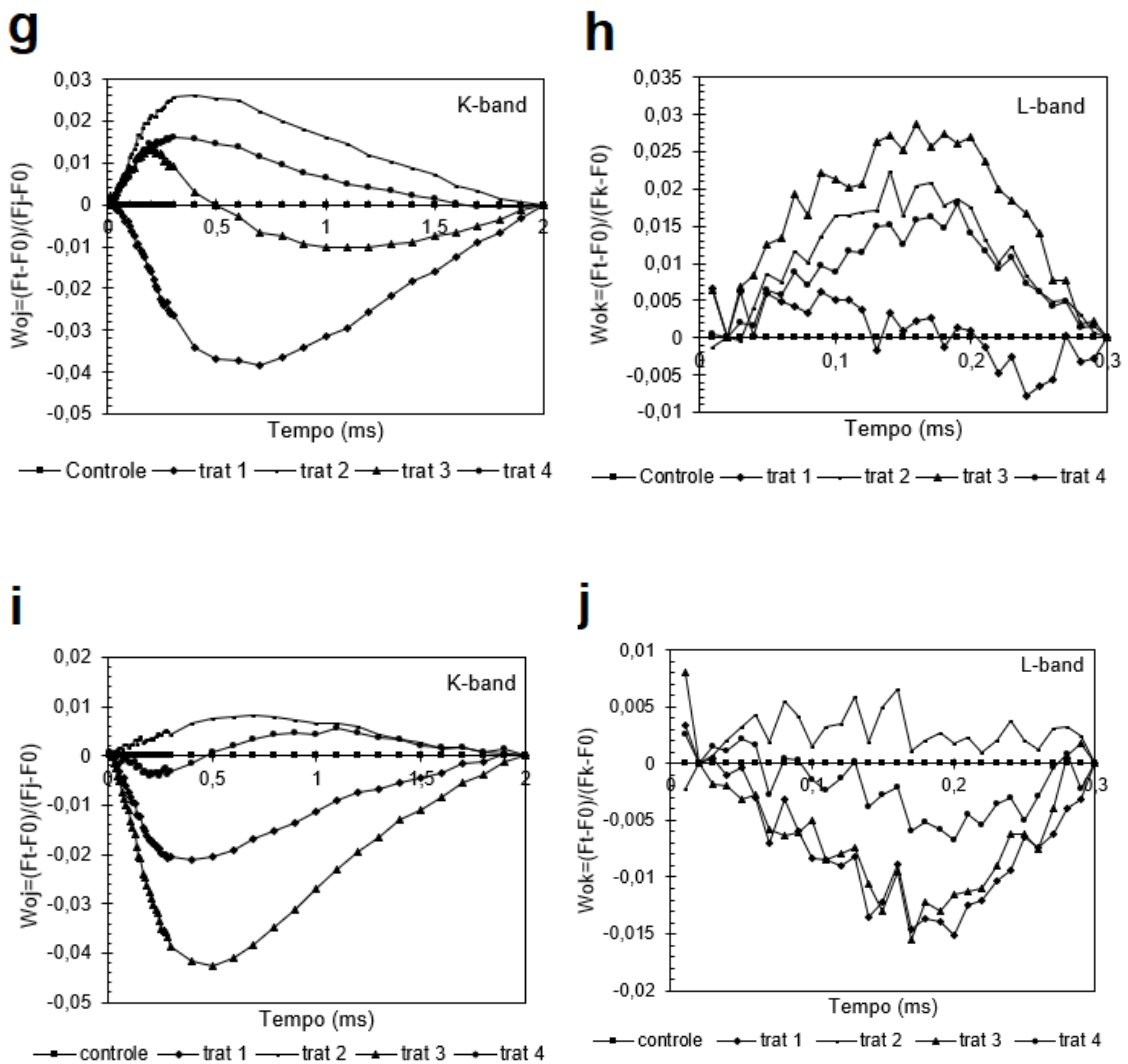


Figura 1. Diferenças cinéticas da fluorescência variável relativa evidenciando o aparecimento da banda K [$\Delta VOJ = VOJ$ tratamento - VOJ controle] (a, c, e, g, i); banda L [$\Delta VOK = VOK$ tratamento - VOK controle] (b, d, f, h, j). O tempo está representado em escala logarítmica (ms). (a e b) Sete dias após a aplicação (DAA), (c e d) 15 DDA, (e e f) 30 DDA, (g e h) 45 DAA, (i e j) 60 DDA.

A banda-K mostra a ação de transferência de elétrons do complexo liberador de oxigênio para o FSII, e esse complexo liberador de oxigênio compete com as moléculas de água que também doam elétrons (Pollastrini et al., 2017). Com isso, é possível observar nas figuras 1c, 1g e 1i, a presença da Banda-K positiva, aos 15, 45 e 60 DAA, sendo que, aos 15 dias os tratamentos 3, 2 e 4, com subdoses de 30, 20 e 40% da maior dose recomendada pelo fabricante, respectivamente, foram os que apresentaram maior Banda-K positiva. Já aos 45 e 60 dias, apenas as Bandas-K dos tratamentos 2 e 4 foram positivas. Registros positivos para a banda K podem significar, incremento no porte funcional do sistema antena do FSII (Yusuf et al., 2010), assim como, falhas entre o lado que doa e o

que recebe no FSII, consequência de desequilíbrio entre a passagem de elétrons do complexo liberador de oxigênio para o centro de reação e lado aceptor do FSII a caminho do FSI (Chen e Cheng, 2010). Tal fato, pode ser explicado pelo mecanismo de ação do herbicida Saflufencil, que é inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX). Esta enzima está presente nos cloroplastos das plantas que oxida a protoporfirinoxigênio para produzir protoporfirina IX, precursor da clorofila e de grupamentos heme, os quais, são necessários para a transferência de elétrons (Alves et al., 2019)

Banda-K positiva, sugere ainda, defeitos no complexo liberador de oxigênio desordenando a evolução do oxigênio pelo complexo manganês (Mn_4CaO_5) como conector de elétrons para o FSII (Gururani et al., 2015). Segundo Strasser et al. (2010), alterações do complexo liberador de oxigênio permitem que doadores de elétrons incomuns enviem elétrons para o FSII aumentando a feofitina reduzida ($Pheo^-$) e quinona A reduzida (Q_A^-), que podem desencadear uma Banda-K positiva. Uma vez que o complexo liberador de oxigênio disponibiliza entrada de doadores de elétrons não oriundos da água como o ascorbato (Toth et al., 2011), prolina (De Ronde et al., 2004) entre outros doadores internos, que tenha eletropotencial mais negativo em relação ao potencial de redução da reação H_2O/O_2 , com isso, seu desempenho inadequado, pode ser suprido por esses doadores, durante um pequeno período (Gururani et al., 2015). Tal fato, pode ser observado na figura 1e, quando aos 30 DAA, os tratamentos 3, 2 e 4, apresentaram Bandas-K negativas.

Nas figuras 1a e 1e, observa-se a existência de Banda-K negativa, em todos os tratamentos, aos 7 e 30 DAA, respectivamente. Tal resposta, pode sugerir melhorias na atividade do complexo liberador de oxigênio e confirmar que o complexo manganês esteja íntegro (Guha et al., 2013; Gururani et al., 2015). Essa situação seria capaz de limitar o acesso de elétrons não oriundos da água, acarretando maior competência do complexo liberador de oxigênio em doar elétrons para o FSII (De Ronde et al., 2004; Pollastrini et al., 2017).

A banda-L demonstrada por essa normalização (150 μs) é um apontador sobre a conexão energética das unidades do fotossistema II (PSII), (Strasser et al., 2004). Com isso, aos sete dias após a aplicação (DAA), é possível observar na figura 1b, que não ocorreu queda na conectividade entre as unidades do FSII para a maioria dos tratamentos testados, exceto para o tratamento 1 (10%), que apresentou Banda-L positiva. Aos 15 e 45 DAA do herbicida, houve redução

acentuada da conectividade entre as unidades do FSII, em todos os tratamentos, sendo a subdose de 30% (Tratamento 3), a que apresentou maior curva da Banda-L positiva. Sugerindo que as subdoses do herbicida saflufenacil, podem desestabilizar a cooperação energética das unidades FSII. (Pollastrini et al., 2017). Tal fato, possivelmente está relacionado ao desemparelhamento das membranas dos tilacoides (Oukarroum et al., 2007).

Todavia, aos 60 DAA, observou, Banda-L negativa para a maioria dos tratamentos, indicando boa conectividade entre as unidades do FSII (Figura 1j), resultando em uso mais eficiente da energia de excitação e melhor estabilidade do conjunto (Strasser et al., 2004). Sugerindo que as plantas de café se recuperaram aos 60 dias após a aplicação do herbicida, exceto as que receberam a subdose de 20%, que apresentaram redução na curva da Banda-L positiva, porém, demonstrando baixa conectividade, com maior tempo para a recuperação.

Além das análises da curva de indução da fluorescência transiente, alguns parâmetros são resultantes do teste JIP, e calculados usando dados obtidos na curva OJIP. A época de aplicação e as subdoses do herbicida saflufenacil influenciaram nos parâmetros do teste-JIP, contudo, os fatores influenciaram de forma independente. Os parâmetros do teste-JIP foram apresentados em função da época de aplicação e das subdoses, os dados foram normalizados em função do controle (0 μ M) e apresentados na Figura 2.

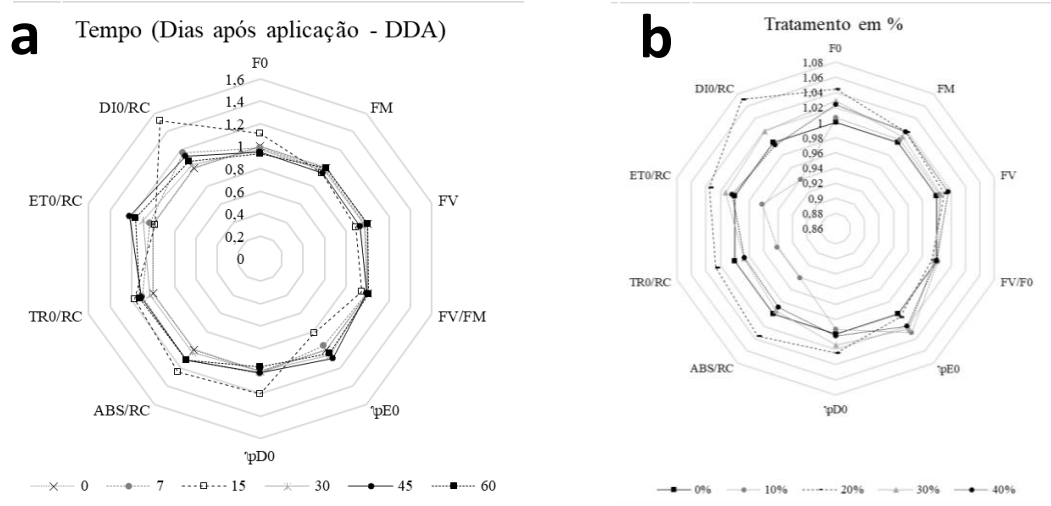


Figura 2: Parâmetros do teste-JIP, de subdoses do herbicida saflufenacil aplicados em plantas de café conilon, em função do tempo (a) e dos tratamentos (b). Os dados foram normalizados para o tempo com dia 0, e para tratamentos com controle dose 0 igual a 1.

Aos 15 DAA (Figura 2a), nas subdoses de 20, 30 e 40% (Figura 2b), observou-se aumento de F_0 . Tal fato, pode representar inibição do centro de reação do FSII, impossibilitando o fluxo de elétrons de Q_A para Q_B , e mostrar danos a proteína D1 ligada ao FSII (Strasser e Strasser 1995; Goltsev et al., 2016). O mecanismo de ação do herbicida Saflufencil, inibi a enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX). Esta enzima é responsável por oxidar a protoporfirrogênio para produzir protoporfirina IX, precursor da clorofila e de grupamentos heme, os quais, são necessários para a transferência de elétrons, reduzindo o fluxo de elétrons de Q_A para Q_B (Alves et al., 2019). A queda no processo em transferir elétrons no FSII pode significar que esteja ocorrendo acúmulo de Q_A reduzida, o que pode diminuir a taxa fotossintética. O aumento no parâmetro F_0 pode ainda ter refletido no incremento do fluxo de energia absorvida (ABS/RC) na subdose de 20% e no fluxo de dissipação de energia (DI_0/RC), nas subdoses de 20 e 30%, aos 15 DAA (Figura 2a e 2b). Esses resultados indicam que alguns centros de reação estavam inativos e a eficiência por centro de reação foi aprimorada (Meng et al., 2016). Esta inativação pode ser um indicativo de susceptibilidade à fotoinibição (Franić et al., 2017).

O aumento do parâmetro ABS/RC, relacionado ao fluxo por centro de reação, diz respeito ao tamanho aparente do sistema antena (Farias, 2014). Observa-se que aos 15 DAA (Figura 2a) com a subdose de 20% (Figura 2b), houve um acréscimo na razão ABS/RC. O que pode significar um aumento no complexo antena para suprir a grande perda de energia na forma de calor (Christen, et al., 2007). Na subdose de 10% (Figura 2b) há uma redução na taxa de transporte de elétrons (ET_0/RC). Essa redução pode ser em função da perda de energia na forma de calor e conseqüentemente, ocorrer redução dos aceptores finais do FSI (Farias, 2014).

Na figura 2b, nota-se um incremento de TR_0/RC na subdose de 20% de saflufenacil, correspondente ao aumento de ABS/RC, o que pode significar problemas no complexo liberador de oxigênio pela falta de reparo do FSII danificado (Takahash e Murata, 2008). Tal fato pode ser confirmado pelas bandas-k positivas nas figuras 1c, 1g e 1i.

Menores valores de rendimento quântico em relação a transferência de elétrons (ϕE_0) seguidos de incremento na eficiência quântica de energia de

dissipação (ϕD_0) aos 15 DAA enfatizam a possível fotoinibição (Figura 2a), sugerindo problemas na atividade de transferência e utilização da energia de excitação (Zhuo et al., 2017).

Nota-se incrementos no fluxo de dissipação de energia (Dl_0/RC) e na eficiência quântica de energia de dissipação (ϕD_0), aos 15 DAA (Figura 2a) e para as subdoses 20 e 30% indicando que nesse período e nessas subdoses, houve maior estresse dessas plantas, com menor uso de energia (Wang et al., 2016). O mecanismo de dissipação da energia, neste caso, ocorre com intuito de proteger as folhas contra danos foto-oxidativos, já que se encontravam sob estresse (Franić et al., 2017). O saflufenacil é absorvido pelas folhas e raízes das plantas, por isso a permanência residual deste herbicida no solo também pode provocar tais estresses (Gonçalves, et al., 2016).

Contudo, as plantas de café são consideradas tolerantes, tendo a capacidade de rapidamente recuperar a área foliar afetada. Podendo ocorrer certo nível de injúria, mas as plantas se recuperam, ou seja, o efeito é unicamente de contato, as folhas novas que saem após a aplicação não são afetadas (Oliveira Jr. et al., 2011). O que pode ser comprovado, pois os fatores estruturais do teste JIP que retratam os acontecimentos referentes à estrutura do FSII e intersistema (ϕD_0 e ϕE_0), não diferiram aos 0 DAA e 60 DAA (Figura 2a). Dessa forma, esse resultado pode significar que a estabilidade do FSII e intersistema é mantida sem vestígios de aumento ou queda aos 60 DAA, comprovando a recuperação das plantas de café (Zhuo et al., 2017).

Os pigmentos fotossintéticos estão diretamente ligados a taxa de fotossíntese e à produção inicial na fase fotoquímica da fotossíntese (Blackburn, 2007). As alterações no teor de pigmentos, podem ser reflexo de estresse (Jain e Gould, 2015), já que o transporte de elétrons nas membranas dos tilacoides é dependente da clorofila e dos carotenoides.

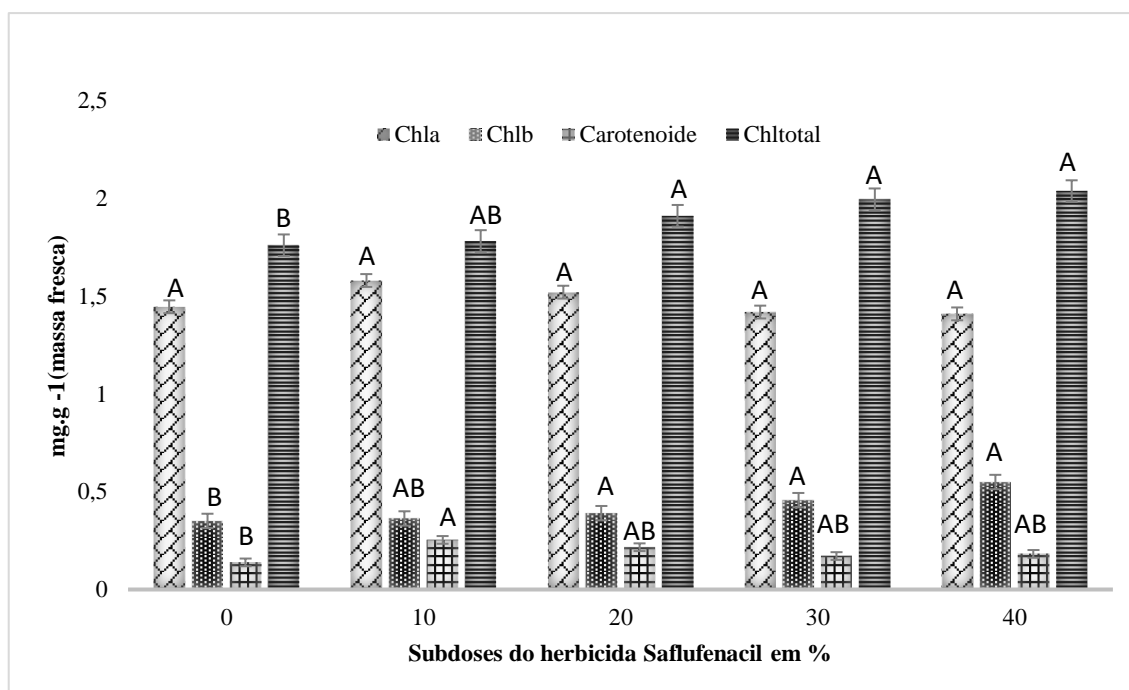


Figura 3: Histograma representativo do efeito de subdoses do herbicida saflufenacil (0, 10, 20, 30, 40%) sobre a concentração de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides e clorofilas totais) em plantas de Café Conilon. Letras divergentes fazem referência às diferenças significativas verificadas entre os tratamentos de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância.

Na figura 3, é possível observar que não houve diferença significativa nos teores de clorofila *a* para todos os tratamentos. Pigmentos fotossintéticos, como a clorofila *a*, são utilizados pelas plantas para capturar a energia luminosa, produzindo poder redutor para o processo de fixação e assimilação do CO₂ no ciclo de Calvin (Taiz et al., 2017). A integridade das moléculas de clorofila *a* pode ser afetada por diversos estressores ambientais, tais como deficiência hídrica e nutricional, excesso de luz, poluentes ou herbicidas, os quais foram mantidos sobre controle experimental.

A fixação fotossintética do CO₂ depende da captação de energia luminosa por pigmentos antena (clorofila *b* e carotenoides), os quais transferem a energia de excitação para os centros de reação dos fotossistemas (clorofila *a*), gerando poder redutor necessário para a fixação de CO₂ no ciclo de Calvin (Taiz et al., 2017). Neste sentido, nota-se na figura 3 que os teores de clorofila *b* e clorofilas totais obtiveram diferença significativa entre os tratamentos, com maiores teores nas subdoses de 20, 30 e 40% do herbicida saflufenacil. Já para os carotenoides, observa-se diferença significativa na subdose de 10%, em comparação com a testemunha, com valores de 0,25 e 0,14 mg.g⁻¹ de massa fresca, respectivamente.

Esse aumento nos teores de clorofila *b*, clorofila total e carotenoides pode ser explicado pela seletividade do herbicida saflufenacil nas plantas de café, as quais, possuem a capacidade de acúmulo de intermediários tetrapirrólicos (precursores dos pigmentos fotossintéticos) em diferentes tecidos e o possível funcionamento das diversas rotas biosintéticas da clorofila, estimulando a produção desses pigmentos sob estresse (Rebeiz et al., 1984).

Esse aumento nos teores dos pigmentos pode provocar um aumento da eficiência do processo fotossintético, já que antioxidantes não enzimáticos, como os carotenoides, tem grande importância na resposta celular ao estresse oxidativo reduzindo espécies reativas de oxigênio (Mager e De-Kruijff, 1995). Os pigmentos carotenoides operam protegendo as plantas dos estresses do ambiente, especialmente, pela eficiência na dissipação da energia quando o aparelho fotossintético está energeticamente cheio (Frank et al., 1999; Lambers et al., 2008).

Resumo e conclusões

De acordo com resultados obtidos, podemos concluir que:

- Houve maior fitotoxidez nas plantas de café aos 15 DAA, nas subdoses de 20, 30 e 40% indicando danos entre o lado doador e receptor do fotossistema II, resultante de um desbalanço entre o fluxo de elétrons do complexo liberador de oxigênio para o centro de reação e lado receptor do fotossistema II em direção ao fotossistema I.
- Aos 15 e 45 DAA do herbicida, pode ter havido redução acentuada da conectividade entre as unidades do fotossistema II, em todos os tratamentos, sendo verificada maior redução quando se utilizou a subdose de 30%.
- Nas subdoses de 20 e 30%, aos 15 DAA, há indício de que alguns centros de reação estavam inativos e a eficiência por centro de reação foi aprimorada, esta inativação pode ser um indicativo de susceptibilidade à fotoinibição.
- Aos 60 DAA, é possível observar estabilidade do fotossistema II e intersistema, sem vestígios de aumento ou queda, comprovando a recuperação das plantas de café colilon.
- Não houve diferença significativa para os teores de clorofila *a*, porém, houve aumento nos teores de clorofila *b*, clorofilas totais e carotenoides em resposta ao estresse.

- As análises das bandas-L, Bandas-K e os parâmetros do teste JIP, bem como, os teores de pigmentos, são bons indicadores para caracterizar distúrbios fisiológicos em plantas.

Referências

- Agrofit (2017): http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons em 25/01/2017.
- Alecrin, A. O., Vargas, G. N., Moreira, S. D., Schiavon, N. C., França, A., C., Avelar, M., Carvalho, F. P. (2013) Deriva de glyphosate em plantas de café arábica micorrizadas-macronutrientes. *VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Salvador. p.1-4.
- Alves, C., Galon, L., Winter, F. L., Basso, F. J. M., Holz, C. M., Kaizer, R. R., & Perin, G. F. (2019) Winter Species Promote Phytoremediation of Soil Contaminated with Protox-Inhibiting Herbicides. *Planta Daninha*. 37p.
- Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, (24):1-15.
- Basf (2017a) Bula: Heat: <http://www.agro.basf.com.br/agr/ms/apbrazil/pt/content/APBrazil/solutions/Heat/index> em 10/02/2017.
- Basf (2017b): <http://www.agro.basf.com.br/agr/ms/apbrazil/pt/content/APBrazil/solutions/crops/safra/Heat/Heat> em 10/02/2017.
- Blackburn G. A. (2007) Hyperspectral remote sensing of plant pigments. *Journal of Experimental Botany*. 58:855-867.
- Chen, L. S., Cheng, L. (2010) The acceptor side of photosystem II is damaged more severely than the donor side of photosystem II in 'honeycrisp' apple leaves with zonal chlorosis. *Acta Physiologia Plant*. 32:253-261.
- Christen, D., Schönmann, S., Jermini, M., Strasser, R. J., Défago, G. (2007) Characterization and early detection of grapevine (*Vitis vinifera*) stress responses to esca disease by in situ chlorophyll fluorescence and comparison with drought stress. *Environmental and Experimental Botany*. 60:504-514.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2019) Acompanhamento da Safra Brasileira. Café, Terceiro levantamento, Safra 2019. Brasília, 5 (3):1-48.

- Covre, A. M., Partelli, F. L., Mauri, A. L., Dias, M. A. (2013) Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café Conilon. *Agro@ambiente On-line*, Boa Vista, 7 (2):193-202.
- De Ronde, J. A., Cress, W. A., Kruger, G. H. J. (2004) Photosynthetic response of transgenic soybean plants, containing an *Arabidopsis* P5CR gene, during heat and drought stress. *Journal of Plant Physiology*. 161:1211-1224.
- Fabício, T. A., Castro Júnior, G., Costa, G., Henrique, C. (2012) Avaliação da cafeicultura pela abordagem do custeio variável em propriedades nas principais regiões produtoras do Brasil. *Organizações Rurais e Agroindustriais*, Lavras, 14 (3):356-366.
- Farias, M. E. (2014) Estudo da cadeia de transporte de elétrons fotossintético em folhas destacadas de ervilha. Dissertação (Mestrado). - Pelotas – RS, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, 60p.
- Ferreira, D. F. (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35 (6):1039-1042.
- França, A. C., Carvalho, F. P., Fialho, C. M. T., D'Antonino, L., Silva, A. A., Santos, J. B., Ferreira, L. R. (2013) Deriva Simulada do Glyphosate em Cultivares de Café Acaiá e Catucaí. *Planta Daninha*, Viçosa, 31 (2):443-451.
- Franić, M., Galić, V., Mazur, M., Šimić, D. (2017) Effects of excess cadmium in soil on JIP-test parameters, hydrogen peroxide content and antioxidant activity in two maize inbreds and their hybrid. *Photosynthetica*. 55:1-10.
- Frank H. A., Young A. J., Britton, G., Cogdell R. J. (1999) The photochemistry of carotenoids. *In: Advances in Photosynthesis and Respiration*. Govindjee (ed.), vol. 8. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Goltsev, V.N., Kalaji, H.M., Paunov, M., Bařba, W., Horaczek, T., Mojski, J., Kociel, H. (2016) Allakhverdiev, S.I. Variable chlorophyll fluorescence and its use for assessing physiological condition of plant photosynthetic apparatus. *Journal Russian of Plant Physiology*. 63:881–907.
- Gonçalves, C. G., Junior, A. C. D. S., Pereira, M. R. R., Marchi, S. R., & Martins, D. (2016). Selectivity of saflufenacil applied singly and in combination with glyphosate on coffee and citrus crops. *Revista Caatinga*. 29 (1):45-53.
- Guha, A., Sengupta, D., Reddy, A.R. (2013) Polyphasic chlorophyll a fluorescence kinetics and leaf protein analyses to track dynamics of photosynthetic

- performance in mulberry during progressive drought. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 119:71-83.
- Gururani, M. A., Venkatesh, J., Ganesan, M., Strasser, R. J., Han, Y., Kim, J. I., Lee, H. Y., Song, P. S. (2015). In Vivo Assessment of Cold Tolerance through Chlorophyll-a Fluorescence in Transgenic Zoysiagrass Expressing Mutant Phytochrome A. *PLoS ONE*. (10) 5:1-17.
- Jain, G., Gould, K.S. (2015) Functional significance of betalain biosynthesis in leaves of *Disphyma australe* under salinity stress. – *Environmental and Experimental Botany*. 109:131-140.
- Köppen W & Geiger R (1928) *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm.
- Lambers, H., Chapin III, F. S., Pons, T. L. (2008) *Plant Physiological Ecology*. (2^a ed.) Springer, 604p.
- Langaro, A. C., Nohatto, M. A., Perboni, L. T., Tarouco, C. P., Agostinetto, D. (2014) Alterações fisiológicas na cultura do tomateiro devido à deriva simulada de herbicidas. *Revista Brasileira de Herbicidas*, Pelotas, 13 (1):40-46.
- Lazár, D. (2006). The Polyphasic chlorophyll a fluorescence rise measured under high intensity of exciting light. *Functional Plant Biology*. 33:9-30.
- Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. (148):350-382.
- Lichtenthaler, H. K., Buschmann, C., Rinderle, U., Schmuck, G. (1986) Application of chlorophyll fluorescence in ecophysiology. *Radiation and Environmental Biophysics* (25):297-308.
- Mager W. H., De Kruijft A. J. I. (1985) Stress-induced transcriptional activation. *FEMS Microbiology Reviews*. 59:506–531.
- Meng, L. L., Song, J. F., Wen, J., Zhang, J. Wei, J. H. (2016) Effects of drought stress on fluorescence characteristics of photosystem II in leaves of *Plectranthus scutellarioides*. *Photosynthetica*. 54 (3):414-421.
- Oliveira Júnior, R. S., Constantin, J., Inque, M. H. (2011) *Biologia e manejo de plantas daninhas*. (22^a ed.), Curitiba: Omnipax, 348p.
- Oliveira Neto, A. M., Blainski, É., Franchini, L. H. M., Rios, F. A., Arantes, J. G. Z. (2013) *Interferência de Buva em Sistemas de Cultivo*. p.27-31.

- Oukarroum, A., Madidi, S. E. L., Schansker, G., Strasser, R. J. (2007) Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OJIP under drought stress and re-watering. *Environmental and Experimental Botany*. 60:438-446.
- Oukarroum, A., Schansker, G., Strasser, R. J. (2009) Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using Chl a fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerance. *Physiologia Plantarum*. 137:188-199.
- Pollastrini, M., Nogales, A. G., Benavides, R., Bonal, D., Finer, L., Fotelli, M., Gessler, A., Grossiord, C., Radoglou, K., Strasser, R. J., Bussotti, F. (2017) Tree diversity affects chlorophyll a fluorescence and other leaf traits of tree species in a boreal forest. *Tree Physiology*. 00:1–10.
- Rebeiz, C. A., Montazer-Zouhour, A., Hopen, H. J., Wu, S. M. (1984) Photodynamic herbicides: concept and phenomenology. *Enzyme and Microbial Technology*. 6:390-401.
- Strasser, B. J., Strasser, R. J. (1995) Measuring fast fluorescence transient to address environmental questions: The JIP-test. In: P. Mathis (ed.), *Photosynthesis: from Light to Biosphere*. Springer Netherlands. p.977-980.
- Strasser, R. J., Srivastava, A., Tsimilli-michael, M. Analysis of fluorescence transiente (2004) In: G. Papageogiou, Govindjee (eds.), *Chlorophyll Fluorescence: a Signature of Photosynthesis*, Advances in Photosynthesis and Respiration, Springer, Dordrecht. (19):321-362.
- Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., Qiang, S., Goltsev, V. (2010) Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1797:1313–1326.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., Murphy, A. (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora.
- Takahashi, S., Murata, N. (2008) How do environmental stresses accelerate photoinhibition? *Trends Plant Science*, vol. 13:178–182.
- Tester, M.; Bacic, A. (2005) Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. *Plant Physiology*. 137:791-793.

- Toth, S. Z., Nagy, V., Puthur, J. T., Kovacs, L., Garab, G. (2011) The Physiological Role of Ascorbate as Photosystem II Electron Donor: Protection against Photoinactivation in Heat-Stressed Leaves. *Plant Physiology*. 156:382-392.
- Victório, C. P., Kuster, R. M., Lage, C. L. S. (2007) Qualidade de Luz e Produção de Pigmentos Fotossintéticos em Plantas *In Vitro* de *Phyllanthus tenellus* Roxb. *Revista Brasileira de Biociências*, Por Alegre, 5 (2):213-215.
- Volpe, R., Carmozini, P. A., Ávila, M. A. P., Carvalho, C. A. M. (2013) Pulverizações foliares na recuperação de mudas de café arábica intoxicadas por glifosato. *5ª Jornada Científica e Tecnológica e 2º Simpósio de Pós-Graduação do IFULDEMINAS*, Inconfidentes, p.1-6.
- Voltolini, G. B., Castanheira, D. T., Gonçalves, A. H., Silva, L. G., Nascimento, T. L. C., Netto, P. M. (2015b) Ação do herbicida 2,4 D sobre o crescimento de mudas de cafeeiro. *IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Curitiba, PR. p.1-4.
- Voltolini, G. B., Castanheira, D. T., Guimarães, R. J., Alcântara, E. N., Rezende, T. T., Paulino, R. N. L., Carneiro, A. H. C. (2015a) Sintomas de fitotoxidez causados pela deriva do herbicida glyphosate em mudas de cafeeiro. *IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Curitiba. p.1-5.
- Wang, Y., Xu, C., Wu, M., Chen, G. (2016) Characterization of photosynthetic performance during reproductive stage in high-yield hybrid rice LYPJ exposed to drought stress probed by chlorophyll a fluorescence transient. *Plant Growth Regulation*. 81:489 – 499.
- Yusuf, M. A., Kumar, D., Rajwanshi, R., Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., Sarin, N. B. (2010) Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1797:1428-1438.
- Zhuo, Y., Qiu, S., Amombo, E., Zhu, Q., Tang, D., Huang, M., Han, X., Chen, L., Wang, S., Chen, K., Sun, J. (2017) Nitric oxide alleviates cadmium toxicity in tall fescue photosystem II on the electron donor side. *Environmental and Experimental Botany*. 137:110–118.

3.3. Redes neurais artificiais para estimação da fitotoxidez de herbicida em mudas de café conilon

Resumo

Em aplicações de herbicidas em jato dirigido também é comum, casos de fitotoxidez em cafeeiros devido à deriva causando prejuízos na produtividade e qualidade do café. No entanto, podem ser avaliados através de parâmetros fotossintéticos e biométricos das plantas, utilizando redes neurais artificiais (RNAs) para estimar a fitotoxidez, como preditoras de possíveis prejuízos. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar a fitotoxidez do herbicida saflufenacil pelo método tradicional de escala percentual, bem como, pela estimativa utilizando os parâmetros fisiológicos e biométricos por meio de simulação de RNAs. O experimento foi implantado em casa de vegetação na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES – *Campus* São Mateus. Foram utilizadas mudas de café conilon clone LB1, mantidas uma em cada vaso de 5L. O delineamento foi inteiramente casualizado com 15 repetições, no qual, cada vaso é considerado uma parcela experimental. Os tratamentos foram as subdoses de saflufenacil: 0, 10, 20, 30 e 40% da dose comercial. Os parâmetros avaliados foram: altura, diâmetro de caule, número de folhas e ramos plagiotrópicos, fluorescência da clorofila *a*, índice de clorofila, teores de pigmentos e avaliação de fitotoxidez visual. Para estimar a fitotoxidez, as RNAs foram treinadas utilizando o algoritmo Resilient Propagation com 3.000 ciclos. Houve aumento na fitotoxidez até os 15 DAA com as aplicações das subdoses, mantendo-se no mesmo patamar até os 45 DAA, a partir de 45 DAA houve redução na fitotoxidez. Foi possível estimar a fitotoxidez do herbicida

saflufenacil utilizando os parâmetros fisiológicos e biométricos via redes neurais com eficiência. Os parâmetros fisiológicos e biométricos são bons indicadores do estado em que a planta se encontra. As RNAs 1 e 2, as quais utilizaram todos os parâmetros, demonstraram melhor desempenho em relação as demais que utilizaram os parâmetros fisiológicos e biométricos de forma separada nas análises. Para avaliação de fitotoxidez do herbicida saflufenacil via redes neurais, quanto maior o número de variáveis preditoras, melhor a estimativa.

Palavras-chave: fisiologia, saflufenacil, inteligência artificial, biometria.

Abstract

In herbicide applications in directed jet it is also common, cases of phytotoxicity in coffee trees due to drift causing losses in coffee productivity and quality. However, they can be evaluated using photosynthetic and biometric parameters of plants, using artificial neural networks (RNAs) to estimate phytotoxicity, as predictors of possible damage. Thus, the objective of the work was to evaluate the phytotoxicity of the herbicide saflufenacil by the traditional method of percentage scale, as well as, by the estimate using the physiological and biometric parameters through RNA simulation. The experiment was implemented in a greenhouse at the Experimental Farm of the Federal University of Espírito Santo - UFES - Campus São Mateus. Conilon clone LB1 coffee seedlings were used, kept one in each 5L pot. The design was completely randomized with 15 repetitions, in which, each pot is considered an experimental plot. The treatments were the sub-doses of saflufenacil: 0, 10, 20, 30 and 40% of the commercial dose. The parameters evaluated were: height, stem diameter, number of plagiotropic leaves and branches, chlorophyll a fluorescence, chlorophyll index, pigment levels and visual phytotoxicity assessment. To estimate phytotoxicity, RNAs were trained using the Resilient Propagation algorithm with 3,000 cycles. There was an increase in phytotoxicity proportional to the increase in the sub-doses of the herbicide that were used. There was an increase in phytotoxicity up to 15 DAA with the application of underdoses, remaining at the same level until 45 DAA, after 45 DAA there was a reduction in phytotoxicity. It was possible to estimate the phytotoxicity of the herbicide saflufenacil using the physiological and biometric parameters via neural networks efficiently. The physiological and biometric parameters are good indicators of the state in which the

plant is. RNAs 1 and 2, which used all parameters, showed better performance compared to the others that used the physiological and biometric parameters separately in the analyzes. For phytotoxicity assessment of the herbicide saflufenacil via neural networks, the greater the number of predictor variables, the better the estimate.

Keywords: physiology, saflufenacil, artificial intelligence, biometrics.

Introdução

O café é uma das *commodities* mais importantes para a economia no mundo. No cenário mundial, o Brasil destaca-se por ser o maior produtor e exportador. No ano de 2019, a produção de café conilon foi 2,5% maior em relação a 2018. Esse aumento, ocorreu em função do crescimento em área produzida no Espírito Santo (Conab, 2019).

Essa produção só não foi maior, devido a condições climáticas desfavoráveis no período de janeiro a março de 2019. Demonstrando que as lavouras do Estado apresentam um potencial ainda maior de produção (Conab, 2019). O cultivo do café, que vai desde a produção de subsistência até a venda do café gourmet, tem grande importância econômica e social por gerar empregos e fixar o trabalhador no meio rural (Fabrício et al., 2012; Conab, 2017a).

Entre os fatores que prejudicam a produção cafeeira, encontram-se as plantas daninhas. A competição de plantas daninhas por nutrientes é um forte fator limitante ao crescimento das plantas de café, reduzindo, em até 50%, o teor de macronutrientes e, em até 41%, o desenvolvimento de cafeeiros jovens (Carvalho et al., 2013).

A agressividade dessas plantas se deve a diversas características como capacidade de crescer nas mais diferentes condições ambientais, como: rusticidade, resistência a pragas e doenças, e multiplicação fácil e rápida (Oliveira Jr. et al., 2011).

Existem diversos métodos de controle de plantas daninhas, no entanto, não é recomendado o uso de um deles de forma isolada. O ideal, é que se faça uso do manejo integrado (Castro et al., 2016; Rodrigues, 2016). O método químico é mais utilizado nas lavouras cafeeiras, principalmente em áreas com grande infestação,

quando o tempo e mão de obra são escassos e as áreas são grandes (Castanheira et al., 2015).

O manejo químico busca manter a linha de café livre, na maioria das vezes aplicando herbicidas não-seletivos em jato dirigido (Volpe et al., 2013). Porém, tem sido feito uso dos mesmos herbicidas por muito tempo, o que provoca resistência (Inacio, 2012). Por isso, a importância de utilizar produtos alternativos como o saflufenacil.

Mesmo fazendo a aplicação em jato dirigido, verificam-se casos de fitotoxidez em cafeeiros devido à deriva, como observado por Voltolini et al. (2015a). Os prejuízos causados pela deriva podem ser avaliados através do estudo da morfologia e fisiologia das plantas, com os parâmetros biométricos e fisiológicos. A medição da fluorescência da clorofila mostra-se uma ferramenta importante nos estudos fisiológicos, pois trata-se de uma avaliação rápida, não destrutiva e altamente precisa (Santos, 2018).

O método de Escala percentual de fitotoxidez (Frans e Crowley, 1986) também utilizado na avaliação da fitotoxidez em plantas causada pela deriva de herbicidas envolve o risco de interpretação subjetiva e distorções no julgamento de profissionais especializados, pois essa avaliação é realizada manual e visualmente. Além disso, devido às dificuldades que os pequenos e médios agricultores enfrentam para alcançar tais especialistas, há atrasos na identificação de anomalias e na tomada de ações preventivas, o que tem um impacto significativo nas perdas de produtividade (Barbedo et al., 2015).

As aplicações dos conceitos de inteligência artificial na agricultura envolvem estudos recentes na área de fertilidade do solo, automação de processos mecanizados e detecção de efeitos de pragas e doenças em folhas e frutos. A inteligência artificial tem sido utilizada devido a custos acessíveis de equipamentos, maior poder computacional e crescente interesse em métodos não destrutivos de avaliação de alimentos (Mahajan et al., 2015). O uso das RNAs apresenta vantagens quando comparado aos métodos tradicionais, no entanto, ainda existem vários desafios a serem superados (Barbedo, 2016).

As redes neurais artificiais são importantes técnicas utilizadas pela inteligência artificial, são modelos computacionais inspirados na biologia, formados por princípios de processamentos simples, chamados neurônios artificiais, que colocam uma função matemática nos dados, ativando-os e produzindo somente

uma resposta. Eles são ligados entre si e arranjados em camadas. Suas conexões, na maioria das vezes estão associadas a coeficientes determinados como pesos. A regulação dos pesos é feita por uma etapa denominada treinamento ou aprendizado, e é responsável pela remoção de características dos dados e acondicionamento do conhecimento das redes. A aplicação da RNA é o método de uso de uma rede treinada para responder dados inéditos (Braga et al., 2007).

As formas de RNA variam bastante em função da quantidade de neurônios por camada, tipo de função de ativação dos neurônios, quantidade de camadas ocultas e forma de conexão entre os neurônios. A eficiência da RNA pode ser influenciada ainda pelos algoritmos utilizados, parâmetros e coeficientes usados no treinamento (Binot et al., 2014).

As Redes neurais artificiais têm maior precisão em relação a outros métodos estatísticos, nelas podem ser incluídas inúmeras variáveis quantitativas e qualitativas, sendo uma ferramenta muito flexível e importante (Freitas, 2017). Mesmo permitindo avaliar a influência de variáveis preditoras na resposta das RNAs, não foram encontrados trabalhos na área de fitotoxicidade de herbicidas sobre a avaliação delas. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a fitotoxicidade do herbicida saflufenacil pelo método tradicional de escala percentual, bem como, pela predição da fitotoxicidade utilizando os parâmetros fisiológicos e biométricos por meio de simulação de redes neurais artificiais.

Materiais e métodos

O experimento foi implantado em casa de vegetação na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES – *Campus São Mateus*, com coordenadas geográficas: 18° 40' 22.25" de latitude Sul e 39° 52' 22.37" de latitude Oeste, a 36 m de altitude, localizado no município de São Mateus. A região, de clima tropical, classificada como Aw, apresenta verão quente e úmido e inverno seco (Köppen & Geiger, 1928).

As mudas de café conilon clone LB1, adquiridas do viveiro experimental do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) foram transplantadas, individualmente, quando apresentaram quatro pares de folhas completamente expandidas, para vasos de polietileno com capacidade de 5

L. Estes foram previamente cheios com substrato (solo + esterco bovino + substrato comercial, 1:1:1) e mantidas em casa de vegetação.

Os tratamentos testados foram as doses reduzidas de saflufenacil, de acordo com a Tabela 1, distribuídos segundo um delineamento inteiramente casualizado com 15 repetições por tratamento.

Tabela 1 - Doses do herbicida aplicadas em plantas de café conilon, simulando a deriva de saflufenacil.

Tratamento	Dose do produto (g ha⁻¹)	% das doses dos tratamentos (ha⁻¹)*
Testemunha	0	0%
Saflufenacil	10	10% de 100 g ha ⁻¹ de Heat®
Saflufenacil	20	20% de 100 g ha ⁻¹ de Heat®
Saflufenacil	30	30% de 100 g ha ⁻¹ de Heat®
Saflufenacil	40	40% de 100 g ha ⁻¹ de Heat®

* Doses recomendadas e utilizadas para o controle de grande número de plantas daninhas.

As aplicações dos tratamentos foram feitas aos 45 dias após o transplântio das mudas, com auxílio de um pulverizador costal, pressurizado a CO₂, munido de barra com ponta de pulverização tipo leque (TT 11003), calibrado na pressão constante de 250 kPa, proporcionando 200 L ha⁻¹ de volume de calda.

Os parâmetros avaliados foram: altura (cm), medindo o comprimento da base da planta na região do coleto até o meristema apical da planta com auxílio de uma trena; diâmetro do caule (mm), medido na região do coleto com auxílio de paquímetro; número de folhas e de ramos plagiotrópicos e análises fisiológicas iniciadas sete dias após a aplicação (DAA), e posteriormente feitas quinzenalmente. No total foram realizadas 6 avaliações.

Os sintomas de intoxicação também foram avaliados, empregando-se a escala proposta por Frans e Crowley (1986) com limites de 0 a 100%, em que zero corresponde à ausência de sintomas visíveis e 100% à morte das plantas.

Tabela 2. Escala percentual de fitotoxidez de Frans e Crowley, 1986.

%	Descrição das categorias principais	Descrição detalhada da fitotoxidez na cultura
0	Sem efeito	Sem injúria ou redução
10		Leve descoloração ou atrofia
20	Efeito leve	Alguma descoloração ou atrofia, ou perda por atrofia
30		Injúria mais pronunciada, mas não duradoura
40		Injúria moderada, mas normalmente com recuperação
50	Efeito moderado	Injúria mais duradoura sem recuperação
60		Injúria duradoura, sem recuperação
70		Injúria pesada, redução de estande
80	Efeito severo	Cultura próximo da destruição – poucas plantas sobreviventes
90		Raramente restam algumas plantas
100	Efeito total	Destruição completa da cultura

Para análise de fluorescência transiente da clorofila *a*, foi utilizada uma folha de cada planta, fisiologicamente madura e vigorosa, completamente expandida. Foi escolhida a folha do segundo par de folhas na extremidade da planta. Os valores foram obtidos no período de 7 a 10 h da manhã.

A quantificação da absorvância da folha, foi feita com a utilização de um medidor portátil de clorofila modelo clorofiLOG (CFL1030) a leitura refere-se ao Índice de Clorofila (IRC), sendo sua unidade designada pela Minolta como o SPAD. Os valores foram obtidos no período de 7 a 10h da manhã a partir da medida da mesma folha utilizada para as avaliações da fluorescência da clorofila *a*.

A Tabela 3 apresenta a estatística descritiva das variáveis utilizadas para estimar a fitotoxidez utilizando as redes neurais.

Tabela 3. Estatística descritiva das variáveis utilizadas na estimativa das RNAs.

Variável	Média	Mediana	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
Fitotoxicidade – 0, 10, 20, 30 e 40	9,389	10	11,377	1,193	0,845
Diâmetro de caule	6,063	6	1,298	0,340	1,886
Altura de planta	39,760	39	7,183	0,625	1,311
Número de folhas	24,672	24	10,518	0,409	-0,547
Número de ramos	5,047	5	2,479	0,266	-0,465

SPAD	57,801	58,8	7,873	-0,648	0,141
F ₀	614,011	607	53,890	0,815	0,558
F _m	3157,978	3.129,5	207,917	0,261	-0,015
F _v /F _m	0,805	0,811	0,020	-1,265	1,127
φE ₀	0,406	0,420	0,068	-0,581	-0,036
φD ₀	0,214	0,206	0,024	1,341	0,2071
ABS/RC	1,270	1,202	0,277	1,143	1,462
TR ₀ /RC	0,994	0,955	0,189	0,905	0,752
ET ₀ /RC	0,504	0,486	0,084	0,423	3,876
DI ₀ /RC	0,277	0,248	0,093	1,686	3,284

Foram treinadas e validadas seis redes do tipo *Perceptron* de Múltiplas camadas, formadas por duas camadas de neurônios artificiais, denominadas: camada intermediária e camada de saída, responsáveis pelo processamento dos dados, e uma camada de neurônios artificiais responsáveis por receber os dados, denominada camada de entrada, que direciona os dados para a camada intermediária. Para o processamento das redes neurais foi utilizado o software Neuro, versão 4.0.6.

As redes neurais foram treinadas com oito neurônios na camada oculta. O algoritmo de treinamento utilizado foi o Resilient Propagation. A porcentagem de dados no subconjunto de treino foi de 70% treino e 30% validação. A função de ativação foi a logística nas camadas intermediárias. Foram treinadas cinco redes para cada configuração.

O número de ciclos utilizado foi 3.000, e o erro médio igual a 0,0001. Assim, o treino da rede terminou ao alcançar um desses dois parâmetros.

As redes foram escolhidas a partir da correlação entre a fitotoxidez observada e a estimada (r_{yy}), raiz quadrada do erro quadrático médio em porcentagem (REQM) (equação 1) e erro absoluto (equação 2):

$$\text{Equação 1: } REQM(\%) = \frac{100}{\bar{y}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

$$\text{Equação 2: } \textit{Erro absoluto} = \hat{y}_i - y_i$$

Em que \bar{y} é a média dos valores totais observados; n é o número total de observações; y_i é o valor observado e \hat{y}_i o valor estimado.

A REQM estuda a precisão da estimativa, e quanto menor, maior a precisão. A correlação sugere o grau de direção da associação entre a fitotoxidez estimada e a observada.

Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta os resultados da fitotoxidez provocada pelas subdoses do herbicida saflufenacil aplicado nas mudas de café. Observa-se que houve aumento na fitotoxidez até os 15 DAA com as aplicações das subdoses de 10, 20, 30 e 40% e aos 45 DAA, a fitotoxidez começa a reduzir, indicando que as plantas estão se recuperando.

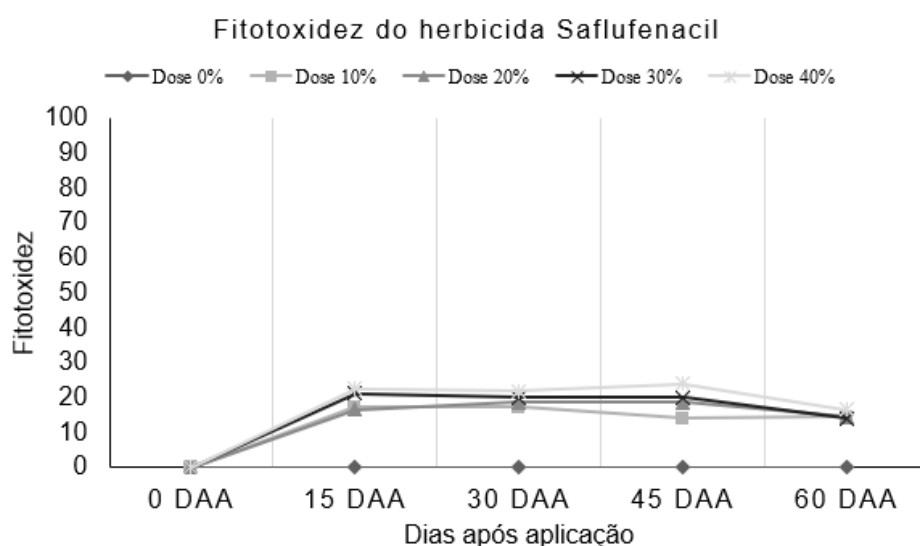


Figura 1. Variações das médias da fitotoxidez para as quatro subdoses do herbicidas saflufenacil e uma testemunha (dose 0), em café conilon.

Yamashita et al. (2013) também verificaram tendência crescente na fitotoxidez em mudas de café até a última avaliação aos 49 DAA do herbicida Oxyfluorfen, que também é um inibidor da Protoporfirinogênio oxidase (PROTOX). No entanto, provocou sintomas leves de fitotoxidez, menores que 20%

Testando seis doses de três herbicidas inibidores da PROTOX, Silva et al. (2017) também observaram rápido progresso dos efeitos dos herbicidas, constatando sintomas aos 14 dias após a aplicação (DAA). Os autores observaram ainda uma recuperação das plantas de café cerca de 20 a 26 dias após a aplicação, sem danos significativos ao desenvolvimento. O que pode ser explicado devido a ágil metabolização dos herbicidas nas plantas.

Entretanto, tais resultados utilizando este método de escala percentual de fitotoxidez, podem causar interpretação subjetiva e discrepâncias no julgamento de diferentes avaliadores, pois essa identificação é realizada manual e visualmente

(Barbedo et al., 2015). Com tudo, as redes neurais artificiais tornaram-se uma ferramenta importante, especialmente para fins de reconhecimentos de padrões (Suzumura Filho, 2015), como a fitotoxidez, minimizando tais problemas.

A Tabela 4 apresenta os resultados das seis redes neurais artificiais que apresentam melhor desempenho, definido pelo coeficiente de correlação maior que 50% na validação e maior que 80% no treino. As RNAs 3 e 4 que utilizaram os parâmetros fisiológicos obtiveram valores satisfatórios com 83% cada. Bem como as RNAs 5 e 6 com os parâmetros biométricos, apresentaram valores de 84 e 83% respectivamente.

Nota-se que os parâmetros biométricos e fisiológicos possuem grande interação com a fitotoxidez. Os biométricos como altura de planta, diâmetro de caule, número de folhas e ramos, são de fundamental importância para a detecção de sintomas de fitotoxidez, pois são os principais indicadores dos sintomas de intoxicação visuais e morfológicos (Lourenço e Alencar 2016; Neto et al., 2019).

Os parâmetros fisiológicos indicam a fitotoxidez *in loco*, ou seja, permite o conhecimento à cerca dos processos fotoquímicos e dos fenômenos não-fotoquímicos que ocorrem nas membranas dos tilacoides dos cloroplastos, (Krause & Weis, 1991), sendo uma importante ferramenta nas detecções de fitotoxidez em plantas (Freitas et al., 2014; Chen et al., 2015).

Ao avaliar todos os parâmetros juntos obteve-se maior correlação com a fitotoxidez, pois as RNAs 1 e 2 apresentaram coeficientes de 85% e 87%, respectivamente. Para o treinamento destas redes utilizou-se todos os parâmetros avaliados (fisiológicos e biométricos) em relação as demais RNAs.

Além da importância dos parâmetros fisiológicos e biométricos para a avaliação da fitotoxidez, outro fator importante é o número de variáveis de entrada, ou seja, quanto maior o número destas variáveis, menor o valor REQM e maior a correlação linear de Pearson, com isso, melhor será a capacidade de generalização da rede (Freitas, 2017). A generalização é a capacidade que a rede tem de ser utilizada em novos dados com o mesmo problema e apresentar bons resultados (Binoti, 2010).

Tabela 4. Características e precisão das redes neurais artificiais (RNA) selecionadas para estimar a fitotoxidez do herbicida saflufenacil em mudas de café conilon.

Código	Variáveis contínuas	Número de ciclos	Algoritmo de treinamento	Função de ativação		Treino		Validação	
				Camada oculta	Camada de saída	(r_{yy})	REQM (%)	(r_{yy})	REQM (%)
RN1	Diâmetro de caule, Altura de planta, Número de ramos, Número de folhas,	3.000	Resilient Propagation (Rprop+)	Logística	Logística	0,85	5,76	0,59	9,98
RN2	Leitura SPAD, F_0 , F_m , F_v/F_m , ϕE_0 , ϕD_0 , ABS/RC, TR_0/RC , ET_0/Rc , DI_0/RC + dose e época	3.000	Resilient Propagation (Rprop+)	Logística	Logística	0,87	5,46	0,65	9,37
RN3	Leitura SPAD, F_0 , F_m , F_v/F_m , ϕE_0 , ϕD_0 , ABS/RC, TR_0/RC , ET_0/Rc , DI_0/RC + dose e época	3.000	Resilient Propagation (Rprop+)	Logística	Logística	0,83	6,09	0,73	8,24
RN4		3.000	Resilient Propagation (Rprop+)	Logística	Logística	0,83	6,18	0,75	8,22
RN5	Diâmetro de caule, Altura de planta, Número de ramos, Número de folhas + dose e época	3.000	Resilient Propagation (Rprop+)	Logística	Logística	0,84	6,07	0,74	7,95
RN6		3.000	Resilient Propagation (Rprop+)	Logística	Logística	0,83	6,28	0,75	7,75

RNA (Rede neural artificial), r_{yy} (Coeficiente de correlação), REQM (%) (raiz quadrada do erro quadrático médio), SPAD (Índice de Clorofila), F_0 (Fluorescência inicial), F_m (*Fluorescência máxima*), F_v/F_m (**Rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária**), ϕE_0 (Probabilidade de um fóton absorvido tem de se mover além de QA-), ϕD_0 (Rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor), ABS/RC (**Fluxo de absorção por centro de reação ativo**), TR_0/RC (**Fluxo de energia capturada por centro de reação ativo**), ET_0/RC (**Fluxo de elétrons transportados por centro de reação ativo**), DI_0/RC (**Energia total dissipada como calor por centro de reação**).

A Figura 2 representa a frequência relativa das classes e erro absoluto. Observa-se que todas as redes apresentaram mais de 85% dos erros percentuais entre -5% e 5%. Isso significa que há convergência para erro zero, ou seja, o valor observado e estimado está praticamente igual. Comprovando que a avaliação de redes neurais utilizando os parâmetros biométricos e fisiológicos são eficientes na avaliação de fitotoxidez.

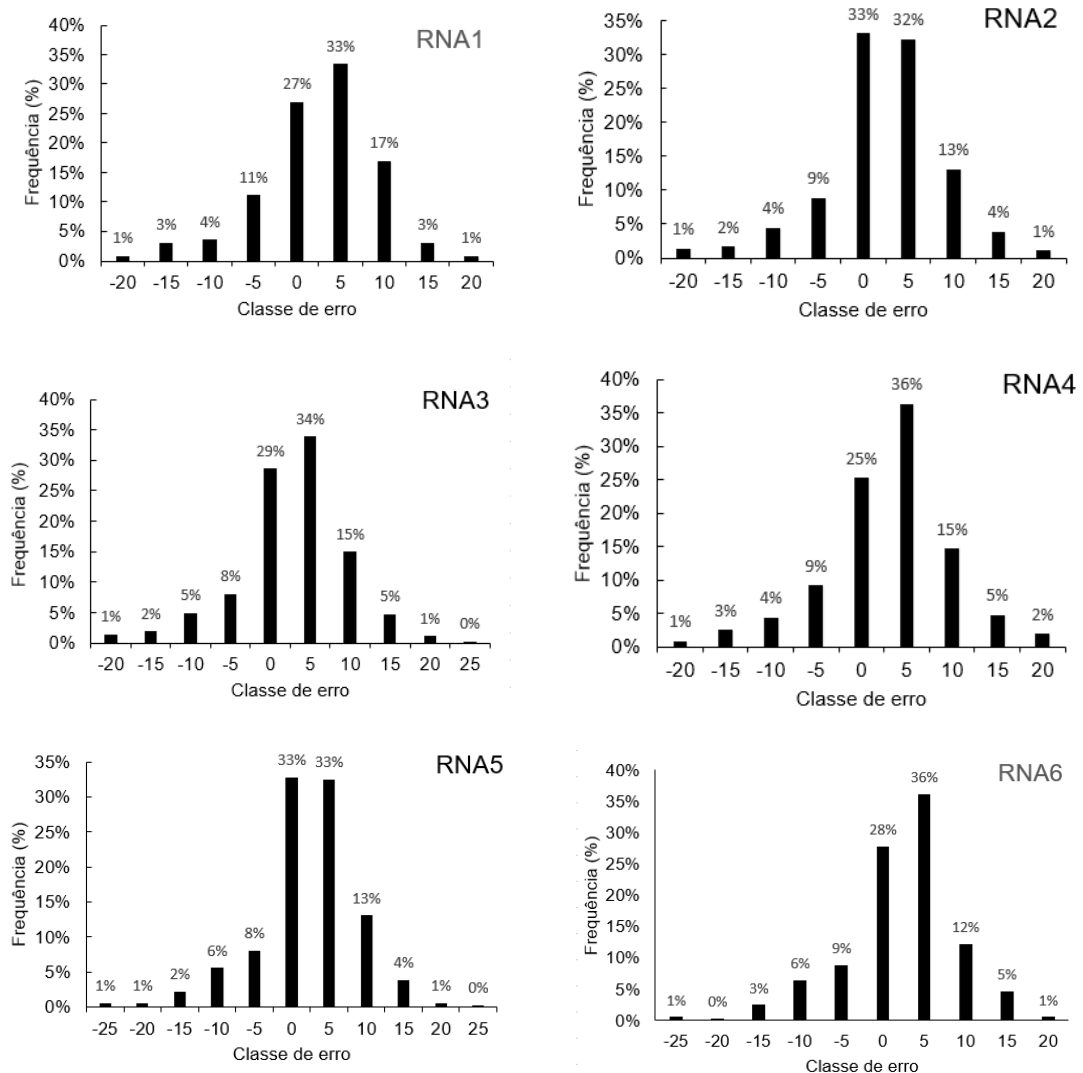


Figura 2. Frequência relativa das classes e erro absoluto obtidos com os dados experimentais. As RNAs 1 e 2 utilizaram todos os parâmetros (biométricos e fisiológicos); As RNAs 3 e 4 utilizaram somente os parâmetros fisiológicos e as RNAs 5 e 6, utilizaram os parâmetros biométricos.

Os resultados encontrados são corroborados pelo desempenho dos métodos propostos com Camargo e Smith (2009) e Phadikar et al. (2013). Estes autores obtiveram precisão de 58% e 56%, respectivamente, na classificação da doença em folhas de soja. Os estudos citados basearam-se em banco de dados de imagens, o que não foi realizado neste trabalho, entretanto, a discussão comparativa é respaldada pela tendência uniforme do uso das RNAs na detecção de doenças em folhas de plantas, pois observa-se uma clara tendência de precisão nas detecções.

Para identificação de sintomas da Sigatoka Negra, Da silva (2008) também utilizou processamento digital de imagens. O autor avaliou os estádios um, dois e três de desenvolvimento da doença, fitotoxidez por óleo e folhas saudias. Foi realizada a técnica multivariada para selecionar variáveis mais importantes no processo de classificação dos sintomas, buscando reduzir o número de variáveis de entrada, otimizando o treinamento das redes neurais artificiais. O autor verificou ótimo resultado com o modelo utilizado, obtendo intervalo de confiança de 95%, mostrando alta eficiência na identificação da doença, com baixa taxa de erro.

Diante dos resultados do presente estudo, pode-se afirmar que o uso das RNAs é eficiente para estimar a fitotoxidez pelo herbicida saflufenacil. Visto que, com o uso de um dos modelos mais simples das RNAs, obteve-se resultados relevantes, é possível que uma avaliação mais aprofundada utilizando-as RNAs na avaliação de imagens, possa apresentar resultados ainda mais promissores na estimativa de fitotoxidez por herbicidas.

Conclusões

- Houve aumento na fitotoxidez até os 15 DAA com as aplicações das subdoses, mantendo-se no mesmo patamar até os 45 DAA, a partir de 45 DAA houve redução na fitotoxidez, indicando recuperação da planta.
- Foi possível estimar a fitotoxidez do herbicida saflufenacil utilizando os parâmetros fisiológicos e biométricos via redes neurais com eficiência.
- Os parâmetros fisiológicos e biométricos são bons indicadores de fitotoxidez em plantas de café conilon.
- As RNAs 1 e 2, as quais utilizaram todos os parâmetros, demonstraram melhor desempenho em relação as demais que utilizaram os parâmetros fisiológicos e biométricos de forma separada nas análises.

- Para avaliação de fitotoxidez do herbicida saflufenacil via redes neurais, quanto maior o número de variáveis preditoras, melhor a estimativa.
- A rede neural é uma ferramenta com grande potencial na detecção da fitotoxidez do herbicida saflufenacil em plantas de café conilon.

Referências Bibliográficas

- Barbedo, J. G. A. (2016) A review on the main challenges in automatic plant disease identification based on visible range images. *Biosyst. Eng.* 144: 52-60.
- Barbedo, J. G., Tibola, C. S., Fernandes, J. M. (2015) Detectando a queima da cabeça do fusário em grãos de trigo usando imagens hiperespectrais. *Biosyst. Eng.* 131:65-76.
- Binoti, D. H. B., Binoti, M. L. M. S., Leite, H. G. (2014) Configuração de redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. *Ciência da Madeira. Pelotas*, 5 (1):58-67.
- Binoti, M. L. M. S. (2010) *Uso de redes neuronais artificiais para prognose da produção de povoamentos de eucalipto*. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa – UFV, 54p.
- Braga, A. de P.; Carvalho, A. P. de L. F. de; Ludemir, T. B. *Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações*. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, (2007). 260p.
- BULLINARIA, J. A. Introduction to Neural Computation. Notas de aula. 2008: <http://www.cs.bham.ac.uk/~jxb/inc.html> em 20/10/2019.
- Camargo, A., Smith, J. (2009) Classificação de padrões de imagem para identificação de agentes causadores de doenças em plantas. *Comput. Electron. Agric.* 66: 121-125.
- Carvalho, L. B., Alves, P. L. C. A., Bianco, S. (2013) Sourgrass densities affecting the initial growth and macronutrient content of coffee plants. *Planta Daninha, Viçosa*, 31 (1):109-115.
- Castanheira, D. T., Alecrim, A. O., Souza, I. F., Voltolini, G. B., Paulo, H. M., Gonçalves, M. V. O., Botelho, R. B. R. (2015) Deriva de fluazifop-p-butyl no desenvolvimento inicial de mudas de café. *IX Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil*, Curitiba, p1-4.
- Castro, Y. O., Cavalieri, S. D., Santos, M. P., Golynski, A., Nascimento, A. R. (2016) Manejo integrado de plantas daninhas na cultura do tomate para

- processamento industrial e para consumo *in natura*. *Scientific Eletronic Archives*, 9 (5):11-17.
- Chen, S., Kang, Y., Zhang, M., Wang, X., Strasser, R. J., Zhou, B., Qiang, S. (2015) Differential sensitivity to the potential bioherbicide tenuazonic acid probed by the JIP-test based on fast chlorophyll fluorescence kinetics. *Environmental and Experimental Botany*. 112:1-15.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2017a) Acompanhamento da Safra Brasileira. Café, primeiro levantamento, Safra 2017. Brasília, 4 (1):1-98.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2019) Acompanhamento da Safra Brasileira. Café, Terceiro levantamento, Safra 2019. Brasília, 5 (3):1-48.
- Da Silva, S. H. M. G. (2008) *Processamento digital de imagens para identificação da sigatoka negra em bananais utilizando análise de componentes principais e redes neurais artificiais*. Tese – (Doutorado em Agronomia) – Botucatu – SP, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 94p.
- Fabício, T. A., Castro Júnior, G., Costa, G., Henrique, C. (2012) Avaliação da cafeicultura pela abordagem do custeio variável em propriedades nas principais regiões produtoras do Brasil. *Organizações Rurais e Agroindustriais*, Lavras, 14 (3):356-366.
- Frans, R.; Crowley, H. (1986) Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. *In: Southern Weed Science Society. Research methods in weed science*, Clemson, (3ª ed.), p 29-45.
- Freitas, E. C. S. (2017) *Modelagem da produtividade de eucalipto por meio de redes neuronais artificiais*. Tese (Doutorado) – Viçosa - MG. Universidade Federal de Viçosa – UFV, 127p.
- Freitas, I. L. J., Rodrigues, W. P., Junior, A. T. A., Freitas, S. P., Amim, R. T., Vittorazzi, C., Freitas, J. A. A. (2014) Maximum quantum yield of photosystem II to assist in the measurement of herbicide selectivity in popcorn. *Plant Science Today*. 1 (2):80-85.
- Inacio, E. M. (2012) *Aspectos da biologia, caracterização foliar e manejo químico de Conyza bonariensis (L.) Cronquist (Asteraceae) e Conyza canadensis (L.) Cronquist (Asteraceae)*. Dissertação (Mestrado) – Araras – SP, Universidade Federal de São Carlos – UFScar, 72p.

- Köppen W & Geiger R (1928) *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm.
- Krause, G. H., Weis, E. (1991) Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 42:313-349.
- Lourenço, E., Alencar J. R. C. C. (2016) Estudo da fitotoxicidade de herbicidas aplicados em pós emergência na cultura do trigo. *Revista Iniciare*. 1 (1).
- Mahajan, S., Das Sardana, H. K. (2015) Image acquisition techniques for assessment of legume quality. *Trends Food Sci. Technol*. 42 (2):116-133.
- Neto, A. D. R., Da Silva Almeida, M., Prado, E. P., Tropaldi, L., Firmino, A. C., Bonini, C. D. S. B., Lima, R. C. (2019) Otimização da atividade de herbicidas com diferentes adjuvantes na fitotoxicidade de *Digitaria insularis* no estágio de florescimento. In: *Colloquium Agrariae*. 120-126p.
- Oliveira Júnior, R. S., Constantin, J., Inque, M. H. (2011) *Biologia e manejo de plantas daninhas*. (22ª ed.), Curitiba: Omnipax, 348p.
- Phadikar, S., Sil, J. (2013) Classificação de doenças de Rice usando técnicas de seleção de características e geração de regras. *Comput. Electron. Agric*. 90:76-85.
- Rodrigues, J. De S. (2016) *Efeito dos herbicidas indaziflam e imazapic no controle de seis espécies de gramíneas anuais presentes nos Estados Unidos*. Monografia (Engenharia Agrônômica) – Sete Lagoas – MG, Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ, 42p.
- Santos, E. R. (2018) *Respostas fisiológicas e anatômicas de *Billbergia zebrina* Lindl. (Bromeliaceae) em fundão de fontes e concentrações de carboidratos durante o cultivo in vitro convencional*. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 59p.
- Silva, L. G., Castanheira, D. T., Voltolini, G. B., Souza, I. F., Gonçalves, A. H., Guimarães, R. J. (2017) Sintomas de fitotoxicidade e crescimento de mudas de café submetidas aos herbicidas inibidores da protox. *Coffee Science*, Lavras, 12 (3):290-296.
- Suzumura Filho, Y. (2005). *Método para avaliação da eficiência de pulverização agrícola baseado em processamento de imagens e rede neural*. Mestrado (Engenharia Mecânica) – Taubaté – SP, Universidade de Taubaté, 121p.

- Volpe, R., Carmozini, P. A., Ávila, M. A. P., Carvalho, C. A. M. (2013) Pulverizações foliares na recuperação de mudas de café arábica intoxicadas por glifosato. *5ª Jornada Científica e Tecnológica e 2º Simpósio de Pós-Graduação do IFULDEMINAS*, Inconfidentes, p.1-6.
- Voltolini, G. B., Castanheira, D. T., Guimarães, R. J., Alcântara, E. N., Rezende, T. T., Paulino, R. N. L., Carneiro, A. H. C. (2015a) Sintomas de fitotoxidez causados pela deriva do herbicida glyphosate em mudas de cafeeiro. *IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Curitiba. p.1-5.
- 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. (2013) Deriva simulada de herbicidas em mudas de *Coffea canéfora*. *Scientia Agraria Paranaensis*. 12 (2):148-156.

Resumo e conclusões

Dentre as espécies de café existentes, o *Coffea canephora* é a segunda mais cultivada no mundo. O café tem sua produção prejudicada pela interferência das plantas daninhas, e o controle químico é o mais utilizado para reduzir esse problema. No entanto, muitos equipamentos e produtos ainda são utilizados de forma incorreta. Objetivou-se com este trabalho, avaliar a tecnologia de aplicação de herbicida recomendado para a cultura, testando diferentes equipamentos e doses do produto, bem como avaliar a fitotoxidez através das avaliações fisiológicas, visuais e por meio de inteligência artificial. O primeiro experimento foi conduzido a campo no Instituto Federal do Espírito Santo – IFES – *Campus Itapina*. O segundo e o terceiro experimentos foram conduzidos em casa de vegetação na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES – *Campus São Mateus*. O delineamento do primeiro experimento foi em blocos casualizados com quatro repetições e dos outros dois experimentos foram inteiramente casualizados com quinze repetições. Nos três experimentos foi utilizada ponta de pulverização tipo leque (TT 11003), com calibração para aplicar um volume de pulverização de 200 L ha⁻¹. No primeiro experimento, as unidades experimentais foram implantadas nas entrelinhas da lavoura com espaçamento 3 x 1 m. As parcelas tiveram 12 m² (4 x 3 m). Os tratamentos foram compostos por: pulverizador costal com assistência eletrostática acionada; pulverizador costal

elétrico; pulverizador costal manual sem “chapéu de Napoleão” e pulverizador costal manual com “chapéu de Napoleão”. Foram avaliadas: deposição de calda nas folhas das plantas daninhas e qualidade da aplicação, utilizando um traçador composto de corante indicador de pulverização. No segundo e no terceiro experimento os tratamentos foram compostos de 0, 10, 20, 30 e 40% das doses recomendadas por hectare do herbicida saflufenacil, aplicado com pulverizador costal pressurizado a CO₂. No segundo experimento foram avaliados: fluorescência da clorofila *a* e teores de pigmentos (carotenoides, clorofilas *a*, *b* e totais). No terceiro experimento foram avaliados: altura, diâmetro de caule, número de folhas e ramos plagiotrópicos, fluorescência da clorofila *a*, índice de clorofila, teores de pigmentos, avaliação de fitotoxidez visual e fitotoxidez por meio de redes neurais artificiais. No primeiro experimento observou-se que o pulverizador manual com chapéu de Napoleão apresentou maior endoderiva, o manual sem o chapéu de Napoleão apresentou maior exoderiva e o elétrico depositou menor volume de calda nas plantas daninhas. O pulverizador eletrostático foi o mais eficiente entre os equipamentos utilizados, possibilitando menores valores de endoderiva e exoderiva, depositando maior quantidade de produto nas plantas daninhas com menor volume total de calda aplicada. No segundo experimento observou-se maior fitotoxidez nas plantas de café aos 15 dias após a aplicação (DAA), nas subdoses de 20, 30 e 40%. Não houve diferença significativa para os teores de clorofila *a*, porém, houve aumento nos teores de clorofila *b*, clorofilas totais e carotenoides em resposta ao estresse. As análises das bandas-L, Bandas-K e os parâmetros do teste JIP, bem como, os teores de pigmentos, são bons indicativos para caracterizar distúrbios fisiológicos em plantas. No terceiro experimento observou-se que houve aumento na fitotoxidez até os 15 DAA com as aplicações das subdoses, mantendo-se no mesmo patamar até os 45 DAA, a partir de 45 DAA houve redução na fitotoxidez. Foi possível estimar a fitotoxidez do herbicida saflufenacil utilizando os parâmetros fisiológicos e biométricos via redes neurais com eficiência. Os parâmetros fisiológicos e biométricos são bons indicadores do estado em que a planta se encontra. As RNAs 1 e 2, as quais utilizaram todos os parâmetros, demonstraram melhor desempenho em relação as demais que utilizaram os parâmetros fisiológicos e biométricos de forma separada nas análises. Para avaliação de fitotoxidez do herbicida saflufenacil via redes neurais, quanto maior o número de variáveis preditoras, melhor a estimativa.

Referências bibliográficas

- Agostineto, M. C. (2015) *Efeito de características da calda e estágio da corsa-de-violão na eficácia de carbentrazone-ethyl e saflufenacil*. Dissertação (Mestrado) – Lages – SC, Universidade do Estado de Santa Catarina, 96p.
- Agrofit (2017): http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons em 25/01/2017.
- Alecrin, A. O., Vargas, G. N., Moreira, S. D., Schiavon, N. C., França, A., C., Avelar, M., Carvalho, F. P. (2013) Deriva de glyphosate em plantas de café arábica micorrizadas-macronutrientes. *VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Salvador. p.1-4.
- Alves, C., Galon, L., Winter, F. L., Basso, F. J. M., Holz, C. M., Kaizer, R. R., & Perin, G. F. (2019) Winter Species Promote Phytoremediation of Soil Contaminated with Protox-Inhibiting Herbicides. *Planta Daninha*. 37p.
- Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, (24):1-15.
- Baesso, M. M., Teixeira, M. M., Ruas, R. A. A., Baesso, R. C. E. (2014) Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. *Rev. Ceres*, Viçosa, 61:780-785.
- Barbedo, J. G. A. (2016) A review on the main challenges in automatic plant disease identification based on visible range images. *Biosyst. Eng.* 144: 52-60.
- Barbedo, J. G., Tibola, C. S., Fernandes, J. M. (2015) Detectando a queima da cabeça do fusário em grãos de trigo usando imagens hiperespectrais. *Biosyst. Eng.* 131:65-76.
- Basf (2017a) Bula: Heat: <http://www.agro.basf.com.br/agr/ms/apbrazil/pt/content/APBrazil/solutions/Heat/index> em 10/02/2017.
- Basf (2017b): <http://www.agro.basf.com.br/agr/ms/apbrazil/pt/content/APBrazil/solutions/crops/safra/Heat/Heat> em 10/02/2017.
- Batista-Santos, P., Lindon, F. C., Fortunato, A., Leitão, A. E., Lopes, E., Partelli, F. (2011) The impact of cold on photosynthesis in genotypes of *Coffea* spp. – Photosystem sensitivity, photoprotective mechanisms and gene expression. *Journal of Plant Physiology*. 168 (8):792-806.

- Belo, A. F., Ferreira, L. R., Ferreira, E. A., Aguiar, L. M., Santos, J. B., Cecon, P. R. (2016) Atividade fotossintética de plantas cultivadas em solo contaminado com sulfetrazone. *Revista Brasileira de Herbicidas*. 15 (2):165-174.
- Binoti, D. H. B., Binoti, M. L. M. S., Leite, H. G. (2014) Configuração de redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. *Ciência da Madeira*. Pelotas, 5 (1):58-67.
- Binoti, M. L. M. S. (2010) *Uso de redes neuronais artificiais para prognose da produção de povoamentos de eucalipto*. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa – UFV, 54p.
- Binoti, M. L. M. S. (2012) *Emprego de redes neuronais artificiais em mensuração e manejo florestal*. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa – UFV, 130p.
- Blackburn G. A. (2007) Hyperspectral remote sensing of plant pigments. *Journal of Experimental Botany*. 58:855-867.
- Braga, A. de P.; Carvalho, A. P. de L. F. de; Ludemir, T. B. Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, (2007). 260p.
- BULLINARIA, J. A. Introduction to Neural Computation. Notas de aula. 2008: <http://www.cs.bham.ac.uk/~jxb/inc.html> em 20/10/2019.
- Bullinaria, J. A. (2014) Introduction to Neuronal Computation. Notas de aula: <http://www.cs.bham.ac.uk/~jxb/inc.html> em 12/01/2020.
- Camargo, A., Smith, J. (2009) Classificação de padrões de imagem para identificação de agentes causadores de doenças em plantas. *Comput. Electron. Agric.* 66: 121-125.
- Carvalho, F. P., Avelar, M. Alecrim, A. O., Corrêa, J. M., Souza, B. P., Reis, L. A. C., França, A. C. (2011b) Efeito da deriva de glyphosate em cultivares de café. *VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Araxá*, p.1-6.
- Carvalho, L. B., Alves, P. L. C. A., Bianco, S. (2013) Sourgrass densities affecting the initial growth and macronutrient content of coffee plants. *Planta Daninha*, Viçosa, 31 (1):109-115.
- Castanheira, D. T., Alecrim, A. O., Souza, I. F., Voltolini, G. B., Paulo, H. M., Gonçalves, M. V. O., Botelho, R. B. R. (2015) Deriva de fluazifop-p-butyl no desenvolvimento inicial de mudas de café. *IX Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil, Curitiba*, p1-4.

- Castro, Y. O., Cavalieri, S. D., Santos, M. P., Golynski, A., Nascimento, A. R. (2016) Manejo integrado de plantas daninhas na cultura do tomate para processamento industrial e para consumo *in natura*. *Scientific Eletronic Archives*, 9 (5):11-17.
- Chaim, A. (2006). *Pulverização eletrostática: Principais processos utilizados para eletrificação de gotas*. Embrapa Meio Ambiente, 17p.
- Chaim, A., Wadt, L. G. R. (2015) Pulverização eletrostática: a revolução na aplicação de agrotóxicos: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2615385/artigo---pulverizacao-eletrostatica-a-revolucao-na-aplicacao-de-agrotoxicos-em-25/11/2017>.
- Chen, L. S., Cheng, L. (2010) The acceptor side of photosystem II is damaged more severely than the donor side of photosystem II in 'honeycrisp' apple leaves with zonal chlorosis. *Acta Physilogy Plant*. 32:253-261.
- Chen, S., Kang, Y., Zhang, M., Wang, X., Strasser, R. J., Zhou, B., Qiang, S. (2015) Differential sensitivity to the potential bioherbicide tenuazonic acid probed by the JIP-test based on fast chlorophyll fluorescence kinetics. *Environmental and Experimental Botany*. 112:1-15.
- Christen, D., Schönmann, S., Jermini, M., Strasser, R. J., Défago, G. (2007) Characterization and early detection of grapevine (*Vitis vinifera*) stress responses to esca disease by in situ chlorophyll fluorescence and comparison with drought stress. *Environmental and Experimental Botany*. 60:504-514.
- Christoffoleti, P. J., Nicolai, M. (2013) Convivência com plantas daninhas não deve limitar cafezal. *Visão agrícola*. (12):37-39.
- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). (2018) Acompanhamento da Safra Brasileira. *Café, Segundo Levantamento, Safra 2018*. Brasília, 5 (2):1-66.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2017a) Acompanhamento da Safra Brasileira. *Café, primeiro levantamento, Safra 2017*. Brasília, 4 (1):1-98.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2017b) Acompanhamento da Safra Brasileira. *Café, terceiro levantamento, Safra 2017*. Brasília, 4 (3):1-107.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2019) Acompanhamento da Safra Brasileira. *Café, Terceiro levantamento, Safra 2019*. Brasília, 5 (3):1-48.
- Covre, A. M., Partelli, F. L., Mauri, A. L., Dias, M. A. (2013) Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café Conilon. *Agro@mbiente On-line*, Boa Vista, 7 (2):193-202.

- Cunha, J. P. A. R., Marques, R. S., & Alves, G. S. (2016) Deposição da calda na cultura da soja em função de diferentes pressões de trabalho e pontas de pulverização. *Revista Ceres*, 63:761-768.
- Da Silva, S. H. M. G. (2008) *Processamento digital de imagens para identificação da sigatoka negra em bananais utilizando análise de componentes principais e redes neurais artificiais*. Tese – (Doutorado em Agronomia) – Botucatu – SP, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 94p.
- Dalazen, G., Kruse, N. D., Machado, S. L. O., Balbinot, A. (2015) Sinergismo na combinação de glifosato e saflufenacil para o controle de buva. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, 45 (2):249-256.
- De Ronde, J. A., Cress, W. A., Kruger, G. H. J. (2004) Photosynthetic response of transgenic soybean plants, containing an *Arabidopsis* P5CR gene, during heat and drought stress. *Journal of Plant Physiology*. 161:1211-1224.
- Dias, G. L. S. A. (2015) *Sintomas de intoxicação de culturas por herbicidas*. Dissertação (Mestrado) – Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa – UFV, 52p.
- Diesel, F., Trezzi, M. M., Oliveira, P. H., Vidal, R. A., Pazuch, D., Gallon, M., Xavier, E., Pagnoncelli, F., Scalcon, E., Portes, A. (2014) Persistência da saflufenacil no solo e sua seletividade a cultivares de feijão. *Informe Técnico – NIPED*. 2 (1):1-4.
- Diesel, F., Trezzi, M. M., Pazuch, D., Xavier, E., Rosin, D., Pagnoncelli, F. (2012) Seleção de espécies da família cucurbitaceae e chenopodiaceae para indicação da presença de saflufenacil no solo. *Pesticidas: r. ecotoxicol. E meio ambiente*, Curitiba, 22:35-42.
- Fabrício, T. A., Castro Júnior, G., Costa, G., Henrique, C. (2012) Avaliação da cafeicultura pela abordagem do custeio variável em propriedades nas principais regiões produtoras do Brasil. *Organizações Rurais e Agroindustriais*, Lavras, 14 (3):356-366.
- Farias, M. E. (2014) Estudo da cadeia de transporte de elétrons fotossintético em folhas destacadas de ervilha. Dissertação (Mestrado). - Pelotas – RS, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, 60p.
- Fernandes, A. L. T., Partelli, F. L., Bonomo, R., Golynski, A. (2012) A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, 42 (2):231-240.

- Fernandes, A. P., Parreira, R. S., Ferreira, M. C., Romani, G. N. (2007) Caracterização do perfil de deposição e do diâmetro de gotas e otimização do espaçamento entre bicos na barra de pulverização. *Engenharia Agrícola*, 728-733.
- Ferreira, D. F. (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35 (6):1039-1042.
- Fialho, C. M. T., França, A. C., Tironi, S. P., Ronchi, C. P., Silva, A. A. (2011) Interferência de Plantas Daninhas sobre o Crescimento Inicial de *Coffea arabica*. *Planta Daninha*, Viçosa, 29 (1):137-147.
- Fialho, C. M. T., Silva, A. A., Faria, A. T., Torres, L. G., Rocha, P. R. R., Santos, J. B. (2012) Teor Foliar de Nutrientes em Plantas Daninhas e de Café Cultivadas em Competição. *Planta Daninha*, Viçosa, 30 (1):65-73.
- França, A. C., Carvalho, F. P., Fialho, C. M. T., D'Antonino, L., Silva, A. A., Santos, J. B., Ferreira, L. R. (2013) Deriva Simulada do Glyphosate em Cultivares de Café Acaiaí e Catucaí. *Planta Daninha*, Viçosa, 31 (2):443-451.
- Franić, M., Galić, V., Mazur, M., Šimić, D. (2017) Effects of excess cadmium in soil on JIP-test parameters, hydrogen peroxide content and antioxidant activity in two maize inbreds and their hybrid. *Photosynthetica*. 55:1-10.
- Frank H. A., Young A. J., Britton, G., Cogdell R. J. (1999) The photochemistry of carotenoids. *In: Advances in Photosynthesis and Respiration*. Govindjee (ed.), vol. 8. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Frans, R.; Crowley, H. (1986) Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. *In: Southern Weed Science Society. Research methods in weed science*, Clemson, (3ª ed.), p 29-45.
- Freitas, E. C. S. (2017) *Modelagem da produtividade de eucalipto por meio de redes neuronais artificiais*. Tese (Doutorado) – Viçosa - MG. Universidade Federal de Viçosa – UFV, 127p.
- Freitas, I. L. J., Rodrigues, W. P., Junior, A. T. A., Freitas, S. P., Amim, R. T., Vittorazzi, C., Freitas, J. A. A. (2014) Maximum quantum yield of photosystem II to assist in the measurement of herbicide selectivity in popcorn. *Plant Science Today*. 1 (2):80-85.

- Gitirana Neto, J., Cunha, J. P. A. R., Marques, R. S., Lasmar, O., & Borges, E. B. (2015) Deposição de calda promovida por pulverizadores empregados na cafeicultura de montanha. *Coffee Science*. 11:276-275.
- Goltsev, V.N., Kalaji, H.M., Paunov, M., Bąba, W., Horaczek, T., Mojski, J., Kociel, H. (2016) Allakhverdiev, S.I. Variable chlorophyll fluorescence and its use for assessing physiological condition of plant photosynthetic apparatus. *Journal Russian of Plant Physiology*. 63:881–907.
- Gonçalves, C. G., Junior, A. C. D. S., Pereira, M. R. R., Marchi, S. R., & Martins, D. (2016). Selectivity of saflufenacil applied singly and in combination with glyphosate on coffee and citrus crops. *Revista Caatinga*. 29 (1):45-53.
- Gonçalves, J. F. C., Silva, C. E., Guimarães, D. G., Bernardes, R. S. (2010) Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. *Acta Amazônica*. 40 (1):89-98.
- Guha, A., Sengupta, D., Reddy, A.R. (2013) Polyphasic chlorophyll a fluorescence kinetics and leaf protein analyses to track dynamics of photosynthetic performance in mulberry during progressive drought. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 119:71-83.
- Gururani, M. A., Venkatesh, J., Ganesan, M., Strasser, R. J., Han, Y., Kim, J. I., Lee, H. Y., Song, P. S. (2015). In Vivo Assessment of Cold Tolerance through Chlorophyll-a Fluorescence in Transgenic Zoysiagrass Expressing Mutant Phytochrome A. *PLoS ONE*. (10) 5:1-17.
- Haykin, S. (2001) Redes neuronais: princípios e prática. (2ª ed.). Porto Alegre: Bookman, 900 p
- Himel, C. M. (1969) The optimum size for insecticide spray droplets. *Journal of Economic Entomology*. 62:919-925.
- Inacio, E. M. (2012) *Aspectos da biologia, caracterização foliar e manejo químico de Conyza bonariensis* (L.) Cronquist (*Asteraceae*) e *Conyza canadensis* (L.) Cronquist (*Asteraceae*). Dissertação (Mestrado) – Araras – SP, Universidade Federal de São Carlos – UFScar, 72p.
- Jain, G., Gould, K.S. (2015) Functional significance of betalain biosynthesis in leaves of *Disphyma australe* under salinity stress. – *Environmental and Experimental Botany*. 109:131-140.

- Köppen W & Geiger R (1928) *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm.
- Krause, G. H., Weis, E. (1991) Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 42:313-349.
- Krause, H.; Weis, E. (1984). *Photosynthesis Research*, 5: 139.
- Lambers, H., Chapin III, F. S., Pons, T. L. (2008) *Plant Physiological Ecology*. (2^a ed.) Springer, 604p.
- Langaro, A. C., Nohatto, M. A., Perboni, L. T., Tarouco, C. P., Agostinetto, D. (2014) Alterações fisiológicas na cultura do tomateiro devido à deriva simulada de herbicidas. *Revista Brasileira de Herbicidas*, Pelotas, 13 (1):40-46.
- Lazár, D. 2006. The Polyphasic chlorophyll *a* fluorescence rise measured under high intensity of exciting light. *Functional Plant Biology*. 33:9-30.
- Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. (148):350-382.
- Lichtenthaler, H. K., Buschmann, C., Rinderle, U., Schmuck, G. (1986) Application of chlorophyll fluorescence in ecophysiology. *Radiation and Environmental Biophysics* (25):297-308.
- Lourenço, E., Alencar J. R. C. C. (2016) Estudo da fitotoxicidade de herbicidas aplicados em pós emergência na cultura do trigo. *Revista Iniciare*. 1 (1).
- Maciel, C. D. G., Poletine, J. P., Velini, E. D., Amaral, J. G. C., Zani, L. P., Santos, R. F., Ribeiro, R. B. (2008) Possibilidade de aplicação de misturas de herbicidas de ação total com jato dirigido em mamoneira de porte anão. *Planta Daninha*. 26:457-464.
- Maciel, C. F. S., Teixeira, M. M., Fernandes, H. C., Da Vitória, E. L., & Cecon, P. R. (2017) Distribuição volumétrica e espectro de gotas das pontas hidráulicas LD 11002 e MAG-2. *Revista de Engenharia na Agricultura*. 25: 183-199.
- Mager W. H., De Kruijft A. J. I. (1985) Stress-induced transcriptional activation. *FEMS Microbiology Reviews*. 59:506–531.
- Mahajan, S., Das Sardana, H. K. (2015) Image acquisition techniques for assessment of legume quality. *Trends Food Sci. Technol*. 42 (2):116-133.

- Meng, L. L., Song, J. F., Wen, J., Zhang, J. Wei, J. H. (2016) Effects of drought stress on fluorescence characteristics of photosystem II in leaves of *Plectranthus scutellarioides*. *Photosynthetica*. 54 (3):414-421.
- Miranda, G. R. B., Raetano, C. G., Cunha, M. D. Q., Pinheiro, J. M., Lopes, P. R., Prado, A. S., Gonçalves, M. P. (2013) Equipamentos de pulverização associados a volumes de calda e avaliados por alvos artificiais em cafeeiro. *Revista Agrarian*. 6:448-459.
- Monquero, P. A., Costa, V. D., Krolkowski., V. (2011) saflufenacil no controle de *Luffa aegyptiana*, *Merrimia cissoides*, *Mucuna aterrima* e *Ricinus communis*. *Revista Brasileira de Herbicidas*. 10 (3):176-182.
- Neto, A. D. R., Da Silva Almeida, M., Prado, E. P., Tropaldi, L., Firmino, A. C., Bonini, C. D. S. B., Lima, R. C. (2019) Otimização da atividade de herbicidas com diferentes adjuvantes na fitotoxicidade de *Digitaria insularis* no estágio de florescimento. In: *Colloquium Agrariae*. 120-126p.
- Oliveira Júnior, R. S., Constantin, J., Inque, M. H. (2011) *Biologia e manejo de plantas daninhas*. (22ª ed.), Curitiba: Omnipax, 348p.
- Oliveira Neto, A. M., Blainski, É., Franchini, L. H. M., Rios, F. A., Arantes, J. G. Z. (2013) *Interferência de Buva em Sistemas de Cultivo*. p.27-31.
- Oliveira, V. B. M., Souza Júnior, J. M, Pereira, L. O. A., Ruas, R. A. A., & Gdinho Junior, J. D. (2017) Análise de deposição e penetração de calda na cultura da cenoura. *Global Science and Technology*. 10:121-127.
- Oukarroum, A., Madidi, S. E. L., Schansker, G., Strasser, R. J. (2007) Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. *Environmental and Experimental Botany*. 60:438-446.
- Oukarroum, A., Schansker, G., Strasser, R. J. (2009) Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using Chl a fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerance. *Physiologia Plantarum*. 137:188-199.
- Palladini, L. A. (2000) *Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações*. Tese (Doutorado) – Botucatu - SP, Universidade Estadual Paulista – UNESP, 111p.

- Pollastrini, M., Nogales, A. G., Benavides, R., Bonal, D., Finer, L., Fotelli, M., Gessler, A., Grossiord, C., Radoglou, K., Strasser, R. J., Bussotti, F. (2017) Tree diversity affects chlorophyll a fluorescence and other leaf traits of tree species in a boreal forest. *Tree Physiology*. 00:1–10.
- Phadikar, S., Sil, J. (2013) Classificação de doenças de Rice usando técnicas de seleção de características e geração de regras. *Comput. Electron. Agric.* 90:76-85.
- Pitelli, R. A. (1987) Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. *Série Técnica IPEF*. 4 (12):1-24.
- Pitelli, R. A., Durigan, J. C. (1984) Terminologia para períodos de controle e de convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. *Congresso Brasileiro de Herbicidas e Plantas daninhas*, Belo Horizonte, p.37.
- Pribil, M., Labs, M., Leister, D. (2014) Structure and dynamics of thylakoids in land plants. *Journal of experimental Botany*. 65 (8):1955-1972.
- Queiroz, J. R. G., Silva Junior, A. C., Costa, A. C. P. R., Martins, D. (2014) Eficiência da aplicação da mistura de glyphosate com saflufenacil sobre plantas de *Brachiaria decumbens*. *Revista Brasileira de Herbicidas*. 13 (1):1-7.
- Rebeiz, C. A., Montazer-Zouhoor, A., Hopen, H. J., Wu, S. M. (1984) Photodynamic herbicides: concept and phenomenology. *Enzyme and Microbial Technology*. 6:390-401.
- Reis, E. F., Queiroz, D. M., Cunha, J. P. A. R., Alves, S. M. F. (2010) Qualidade da aplicação aérea líquida com uma aeronave agrícola experimental na cultura da soja (*Glycine max* L.). *Eng. Agríc.* 30 (5):958-966.
- Rodrigues, E. B., Abi-Saab, O. J. G., Gandolfo, M. A., Oliveir, R. B., Hasegawa, M. M. (2015) Deriva de equipamentos costais na aplicação de glyphosate. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 19 (10):1012-1017.
- Rodrigues, J. De S. (2016) *Efeito dos herbicidas indaziflam e imazapic no controle de seis espécies de gramíneas anuais presentes nos Estados Unidos*. Monografia (Engenharia Agrônômica) – Sete Lagoas – MG, Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ, 42p.
- Ronchi, C. P., Silva, A. A., Miranda, G. V., Ferreira, L. R. Terra, A. A. (2017). *II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Viçosa, MG. p.1756-1761.

- Rorato, D. N., Fornarolli, D. A., Oliveira, N. C., Oliveira Neto, A. M. (2013) Eficiência do herbicida saflufenacil, no controle de *Coryza* spp. Em dessecação pré-plantio da soja. *Ver. Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias*. 8 (2):1-8.
- Salgado, T. P., Alves, P. L. C. A., Kuva, M. A., Takahashi, E. N., Dias, T. C. S., Lemes, L. N. (2011) Sintomas da Intoxicação Inicial de *Eucalyptus* Proporcionados por Subdoses de Glyphosate Aplicadas no Caule ou nas Folhas. *Planta Daninha*, Viçosa, 29 (4):913-922.
- Santos Filho, V. R. (2013) *Contextualização do uso de herbicidas em lavouras de café no município de planalto – BA*. Monografia (Graduação em Especialista) – Vitória da conquista – BA, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, 38p.
- Santos, E. R. (2018) *Respostas fisiológicas e anatômicas de Billbergia zebrina Lindl. (Bromeliaceae) em função de fontes e concentrações de carboidratos durante o cultivo in vitro convencional*. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 59p.
- Sartori, R. L., Galo, M. L. B. T., Imai, N. N. (2009) Mapeamento de plantas daninhas em cultura de café a partir de imagens multiespectrais de escalas grandes usando redes neurais artificiais. *Revista Brasileira de Cartografia*. 61(2): 165-175.
- Sasaki, R. S., Teixeira M. M., Santiago, H., Madureira, R. P., Maciel, C. F. S., & Fernandes, H. C. (2015) Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. *Ciência Rural*. 45:274-279.
- Sasaki, R. S., Teixeira, M. M., Fernandes, H. C., Monteiro, P. M. B., Rodrigues, D. E. (2013a) Deposição e uniformidade de distribuição de calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. *Ciência Rural*, Santa maria, 43 (9):1605-1609.
- Sasaki, R. S., Teixeira, M. M., Fernandes, H. C., Monteiro, P. M. B., Rodrigues, D. E., & Alvarenga, C. B. (2013c) Parameters of electrostatics spraying and its influence on the application efficiency. *Revista Ceres*. 60:474-479.
- Sasaki, R. S., Teixeira, M. M., Nogueira, L. E., Alvarenga, C. B., Oliveira, M. V. M. (2013b) Desempenho operacional de um pulverizador costal elétrico. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, 43 (3):339-342.

- Silva, I. N., Spatti, H. D., Flauzino, R. A. (2010) Redes Neurais Artificiais: para engenharia e ciências aplicadas. *Revista Controle e Automação*, 23 (5):649-652.
- Silva, L. G., Castanheira, D. T., Voltolini, G. B., Souza, I. F., Gonçalves, A. H., Guimarães, R. J. (2017) Sintomas de fitotoxicidade e crescimento de mudas de café submetidas aos herbicidas inibidores da protox. *Coffee Science*, Lavras, 12 (3):290-296.
- Silva, W. C. (2015) *Desempenho dos herbicidas indaziflam e glifosato na cultura do café conilon*. Dissertação (Mestrado) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 60p.
- Statsoft, INC. (2007) Statistica (Data Analysis Software System), Version 7.
- Strasser, B. J., Strasser, R. J. (1995) Measuring fast fluorescence transient to address environmental questions: The JIP-test. *In: P. Mathis (ed.), Photosynthesis: from Light to Biosphere*. Springer Netherlands. p.977-980.
- Strasser, R. J., Srivastava, A., Tsimilli-michael, M. Analysis of fluorescence transiente (2004) *In: G. Papageogiou, Govindjee (eds.), Chlorophyll Fluorescence: a Signature of Photosynthesis, Advances in Photosynthesis and Respiration*, Springer, Dordrecht. (19):321-362.
- Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., Qiang, S., Goltsev, V. (2010) Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1797:1313–1326.
- Suzumura Filho, Y. (2005). *Método para avaliação da eficiência de pulverização agrícola baseado em processamento de imagens e rede neural*. Mestrado (Engenharia Mecânica) – Taubaté – SP, Universidade de Taubaté, 121p.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., Murphy, A. (2017) Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Artmed Editora.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2009) *Fisiologia Vegetal*. (4ª ed). Porto Alegre: Artmed, p.820.
- Takahashi, S., Murata, N. (2008) How do environmental stresses accelerate photoinhibition? *Trends Plant Science*, vol. 13:178–182.
- Tavares, C. J., Araújo, A. C. F., Jakelaitis, A., Resende, O., Sales, J. F., Freitas, M. A. M. (2015) Qualidade de sementes de feijão-azuki dessecadas com saflufenacil e submetidas ao armazenamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 19 (12):1197-1202.

- Tavares, R. M., Cunha, J. P. A. R., Alves, T. C., Alves, G. S., & Silva, J. E. R. (2017) Estudo de um sistema de eletrificação de gotas em pulverizador costal pneumático pelo método de gaiola de Faraday. *Revista Ceres*. 64: 476-485.
- Temóteo, A. Da S. (2013) *Cultivares de café conilon (Coffea Canephora) sob estresse salino-hídrico*. Tese (Doutorado) – Botucatu – SP, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” 120p.
- Tester, M.; Bacic, A. (2005) Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. *Plant Physiology*. 137:791-793.
- Toth, S. Z., Nagy, V., Puthur, J. T., Kovacs, L., Garab, G. (2011) The Physiological Role of Ascorbate as Photosystem II Electron Donor: Protection against Photoinactivation in Heat-Stressed Leaves. *Plant Physiology*. 156:382-392.
- Victório, C. P., Kuster, R. M., Lage, C. L. S. (2007) Qualidade de Luz e Produção de Pigmentos Fotossintéticos em Plantas *In Vitro* de *Phyllanthus tenellus* Roxb. *Revista Brasileira de Biociências*, Por Alegre, 5 (2):213-215.
- Vitorino, H. S., Martins, D., Costa, S. Í. A., Marques, R. P., Souza, G. S. F., De Campos, C. F. (2012) Eficiência de herbicidas no controle de plantas daninhas latifoliadas em mamona. *Arq. Inst. Biol.*, São Paulo, 79 (1):129-133.
- Volpe, R., Carmozini, P. A., Ávila, M. A. P., Carvalho, C. A. M. (2013) Pulverizações foliares na recuperação de mudas de café arábica intoxicadas por glifosato. *5ª Jornada Científica e Tecnológica e 2º Simpósio de Pós-Graduação do IFULDEMINAS*, Inconfidentes, p.1-6.
- Voltolini, G. B., Castanheira, D. T., Gonçalves, A. H., Silva, L. G., Nascimento, T. L. C., Netto, P. M. (2015b) Ação do herbicida 2,4 D sobre o crescimento de mudas de cafeeiro. *IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Curitiba, PR. p.1-4.
- Voltolini, G. B., Castanheira, D. T., Guimarães, R. J., Alcântara, E. N., Rezende, T. T., Paulino, R. N. L., Carneiro, A. H. C. (2015a) Sintomas de fitotoxidez causados pela deriva do herbicida glyphosate em mudas de cafeeiro. *IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Curitiba. p.1-5.
- Wang, Y., Xu, C., Wu, M., Chen, G. (2016) Characterization of photosynthetic performance during reproductive stage in high-yield hybrid rice LYPJ exposed to drought stress probed by chlorophyll a fluorescence transient. *Plant Growth Regulation*. 81:489 – 499.

- Xiongkui, H., Aijun, Z., Yajia, L., Jianli, S. (2011) Precision orchard sprayer based on automatically infrared targeted detecting and electrostatic spraying techniques. *Int. J. Agric. e Biol. Eng.* 4 (1):35-40.
- 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. (2013) Deriva simulada de herbicidas em mudas de *Coffee canéfora*. *Scientia Agraria Paranaensis*. 12 (2):148-156.
- Yamashita, O. M., Silva, G. B., Rondon Neto, R. M., Campos, O. R., Peres, W. M. (2017) Interferência de subdoses de glyphosate no desenvolvimento de plantas jovens de nim. *Nativa, Sinop*. 5 (3):163-168.
- Yusuf, M. A., Kumar, D., Rajwanshi, R., Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., Sarin, N. B. (2010) Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1797:1428-1438.
- Zhuo, Y., Qiu, S., Amombo, E., Zhu, Q., Tang, D., Huang, M., Han, X., Chen, L., Wang, S., Chen, K., Sun, J. (2017) Nitric oxide alleviates cadmium toxicity in tall fescue photosystem II on the electron donor side. *Environmental and Experimental Botany*. 137:110–118.