

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS –
AGRONOMIA

EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDAS EM SOLO ARENOSO
E ARGILOSO COM A SUCESSÃO SOJA-SORGO

Autor: Pedro Eduardo Rampazzo
Orientador: Dr. Adriano Jakelaitis
Coorientador: Dr. Tavvs Micael Alves

Rio Verde – GO
Setembro – 2020

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS –
AGRONOMIA

EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDAS EM SOLO ARENOSO
E ARGILOSO COM A SUCESSÃO SOJA-SORGO

Autor: Pedro Eduardo Rampazzo
Orientador: Dr. Adriano Jakelaitis
Coorientador: Dr. Tavvs Micael Alves

Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências Agrárias – Agronomia, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano. – Campus Rio Verde – Área de concentração Ciências Agrárias - Agronomia.

Rio Verde – GO
Setembro – 2020



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
 SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 41/2020 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/DG-RV/CMPRV/IFGOIANO

EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDAS EM SOLO ARENOSO E ARGILOSO COM A SUCESSÃO SOJA-SORGO

Autor: Pedro Eduardo Rampazzo
 Orientador: Dr. Adriano Jakelaitis

TITULAÇÃO: Doutorado em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração
 em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em 03 de setembro de 2020.

Prof. Dr. Jardel Lopes Pereira
 Avaliador externo
 IF Goiano – Campus Cristalina

Prof^a. Dra. Juliana de Fátima Sales
 Avaliadora interna
 IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Tavvs Micael Alves
 Avaliador externo
 IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Marco Antonio Moreira de
 Freitas
 Avaliador externo
 IF Goiano – Campus Urutaí

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
 Avaliador interno
 IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Adriano Jakelaitis
 Presidente da banca
 IF Goiano – Campus Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- Jardel Lopes Pereira, COORDENADOR DE CURSO - FUC0001 - CC-CRIS, em 03/09/2020 12:18:54.
- Marco Antonio Moreira de Freitas, COORDENADOR DE CURSO - FUC0001 - CCPG-UR, em 03/09/2020 12:00:27.
- Juliana de Fatima Sales, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/09/2020 11:54:38.
- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR DE CURSO - FUC0001 - UCPG-RV, em 03/09/2020 10:12:26.
- Tavvs Micael Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/09/2020 10:08:56.
- Adriano Jakelaitis, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/09/2020 09:52:26.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 31/08/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 181062
 Código de Autenticação: eeb0d403ec



Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

RR177e Rampazzo, Pedro Eduardo
Efeito residual de herbicidas em solo arenoso e argiloso com a sucessão soja-sorgo / Pedro Eduardo Rampazzo; orientador Adriano Jakelaitis; co-orientador Tavvs Micael Alves. -- Rio Verde, 2020. 94 p.

Tese (Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Doutorado Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

1. Herbicidas pré-emergentes. 2. Glycine max. 3. Sorghum bicolor. 4. Manejo digital de plantas daninhas. 5. Agricultura 4.0. I. Jakelaitis, Adriano, orient. II. Alves, Tavvs Micael, co-orient. III. Título.



Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano
Sistema Integrado de Bibliotecas

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Pedro Eduardo Rampazzo

Matrícula: 2018202320140078

Título do Trabalho: EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDAS EM SOLO ARENOSO E ARGILOSO COM A SUCESSÃO SOJA-SORGO

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 05/10/20

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.


Local: Rio Verde,

Data: 05/10/2020.

Pedro Eduardo Rampazzo

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
 SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 39/2020 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/DG-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

ATA Nº/70

BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE

Aos três dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte, às 08h30min (oito horas e trinta minutos), reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis (orientador), Profª. Dra. Juliana de Fátima Sales (avaliadora interna), Prof. Dr. Marco Antonio Moreira de Freitas (avaliador externo), Prof. Dr. Jardel Lopes Pereira (avaliador externo), Prof. Dr. Tavvs Micael Alves (avaliador externo) e Marconi Batista Teixeira (avaliador interno), sob a presidência do(a) primeiro(a), em sessão pública realizada por vídeo conferência do IF Goiano – Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Tese, em nível de Doutorado, de autoria de **PEDRO EDUARDO RAMPAZZO**, discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo(a) presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Adriano Jakelaitis, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida o(a) autor (a) da Tese para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, e procedidas às correções recomendadas, a Tese foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **DOCTOR(a) EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA**, na área de concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGCA-AGRO da versão definitiva da Tese, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Tese de Doutorado, e para constar, eu, Vanilda Maria Campos, secretária do PPGCA-AGRO, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora em três vias de igual teor.

Prof. Dr. Jardel Lopes Pereira
 Avaliador externo
 IF Goiano – Campus Cristalina

Profª. Dra. Juliana de Fátima Sales
 Avaliadora interna
 IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Tavvs Micael Alves
 Avaliador Interno
 IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Marco Antonio Moreira de Freitas
 Avaliador externo
 IF Goiano – Campus Urutaf

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
 Avaliador interno
 IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Adriano Jakelaitis
 Presidente da banca
 IF Goiano – Campus Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR DE CURSO - FUC0001 - UCPG-RV, em 03/09/2020 12:19:02.
- Jardel Lopes Pereira, COORDENADOR DE CURSO - FUC0001 - CC-CRIS, em 03/09/2020 12:18:31.
- Marco Antonio Moreira de Freitas, COORDENADOR DE CURSO - FUC0001 - CCPG-UR, em 03/09/2020 12:00:00.
- Juliana de Fatima Sales, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/09/2020 11:54:08.
- Tavvs Micael Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/09/2020 11:53:41.
- Adriano Jakelaitis, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/09/2020 10:07:25.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 31/08/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 181035

Código de Autenticação: cfa28914ad



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pelo estabelecimento de diferentes oportunidades ao longo de tantos anos e que me propiciaram células de conhecimento. Essas bases foram necessárias para a chegada até este curso de doutoramento em ciências agrárias/agronomia.

Ao professor Dr. Adriano Jakelaitis pelas conversas, ensinamentos, paciência e por acreditar nas propostas de aplicação da ciência tanto no meio científico quanto em processos de ensino e extensão, produzindo junto com seu grupo, informações relevantes ao meio agrícola brasileiro. Agradeço ao Dr. Adriano Jakelaitis a oportunidade destes anos de convívio e troca de experiências que muito me auxiliaram para que este trabalho fosse possível. Sem dúvidas, você é um exemplo de profissional e referência na área de ciências das plantas daninhas. Muito obrigado!

Ao professor Dr. Tavvs Micael Alves pelos ensinamentos, atenção e compartilhamento de seu conhecimento nos assuntos cotidianos e das fronteiras do conhecimento da agricultura. Agradeço por compartilhar sua experiência sobre o universo da agricultura digital e por acreditar nas mudanças e novos entendimentos sobre o universo das plantas daninhas a que nos propomos neste trabalho. Muito obrigado! Agradeço também aos colegas Victor Hugo Moraes e a Alice Maria Albert pelo auxílio nas análises de agricultura digital, sem vocês este trabalho não teria sido o mesmo.

A professora Dra. Juliana de Fátima Sales por todas experiências proporcionadas nas disciplinas de seminários do curso de doutorado. Sua didática e atenção pelos alunos com certeza são motivações ímpares para a vida acadêmica e profissional dos discentes do IF Goiano. Obrigado por participar de diversos momentos importantes na minha caminhada!

Aos professores Dr. Marco Antonio Moreira de Freitas e Dr. Jardel Lopes Pereira pela participação em diversas fases deste trabalho. O conhecimento e as novas tecnologias

que vocês compartilharam comigo foram essenciais para meu crescimento acadêmico e profissional. Muito obrigado!

Ao Professor Dr. Marconi Batista Teixeira e a Dra. Suzete Fernandes Lima estendo também meus agradecimentos por participarem de minha formação acadêmica.

Aos professores Pablo Cabral, Frederico Loureiro, Mariana Egea, Aurélio Rubio Neto agradeço muito pelos ensinamentos durante as disciplinas cursadas e que levarei comigo como um presente dessa etapa da vida. Podem ter certeza que os assuntos abordados nas aulas e os exemplos ministrados serão multiplicados e levarei junto nos locais por onde passar. Também agradeço a Vanilda e todos os técnicos-administrativos do IF Goiano pelo apoio durante o curso. Agradeço aos inúmeros colegas e amigos da pós-graduação do IF Goiano pela convivência e intercâmbio de conhecimentos, em especial ao Carlos Henrique de Lima e Silva.

Ao Alvimar Ferreira e todos da Dow AgroSciences, Dupont e Corteva pelo apoio durante a realização deste curso. Agradeço também aos meus amigos Pedro Bonifácio Barbosa e Marcus Vinícius dos Anjos que me auxiliaram nos ensaios de campo. Agradeço aos amigos do IGA (Herbert, Carlos, Ricardo, Antônio, Washington, Cláudio, Daiane, Uender, Guilherme, Élio, Júnior, Léo, Arnaldo, Estevam, Eduardo, Neide, Cristhiane, Geovany, Rosa, Sebastião, Robson e Rainara). Vocês são grandes responsáveis pelos resultados deste trabalho. Muito obrigado pelo companheirismo de todo dia.

À minha esposa Daniele Farias Rampazzo, pelo amor incondicional, paciência comigo nos momentos de trabalho árduo e intenso nestes anos dedicados à agricultura. Obrigado por compartilhar todos os momentos desta existência comigo durante as travessias cotidianas.

A minha mãe Sílvia Renata Mazzonetto Rampazzo e meu pai Paulo Eduardo Rampazzo que sempre foram meus primeiros incentivadores em tudo, fornecendo amor, bases materiais, conhecimentos e sendo exemplos sobre os desafios da vida e pela paixão de ser um ser humano melhor a cada dia. A vocês minha gratidão eterna. Ao meu irmão Miguel Rampazzo que sempre esteve próximo torcendo pelo sucesso de cada um dos trabalhos aos quais me dediquei. Aos meus avós Aparecida Zorzeto Rampazzo e Sérgio Rampazzo (*in memoriam*), Regina Scursioni Mazzonetto e Djalma Mazzonetto por sempre apoiarem cada passo de minha vida, torcendo pelo neto.

“A persistência é o menor caminho do êxito”.

Charles Chaplin.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Pedro Eduardo Rampazzo, nascido em Campinas – SP aos 12 de dezembro de 1987, filhos de Paulo Eduardo Rampazzo e Silvia Renata Mazzonetto Rampazzo. Coursou o jardim de infância na cidade de Cosmópolis – SP na escola Arca de Noé (1993-1994). No ensino fundamental I estudou nas cidades de Artur Nogueira e Engenheiro Coelho – SP, nas escolas Nossa Senhora das Dores e Instituto Adventista de Ensino (1995-1998). Durante o ensino fundamental II e ensino médio estudou no colégio Objetivo de Cosmópolis (1999-2005). Realizou o seu curso de bacharel em engenharia agrônômica na Universidade Federal de São Carlos, campus de Araras – SP (2006-2010). Neste período foi orientado pela Dra. Silvana Perissatto Meneghin, Dra. Sandra Regina Cecatto Antonini e Dra. Márcia Maria Rosa Magri. Realizou o seu curso de mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical no Instituto Agronômico de Campinas (2011-2013), sob orientação do Dr. Rafael Vasconcelos Ribeiro. No Instituto Federal Goiano, na cidade de Rio Verde – GO, realizou o curso de doutoramento em Ciências Agrárias - Agronomia (2018-2020) sob orientação do Dr. Adriano Jakelaitis e Dr. Tavvs Micael Alves.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE FIGURAS.....	XIV
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	XV
RESUMO.....	II
ABSTRACT.....	III
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	8
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. GERAL.....	16
2.2. ESPECÍFICOS.....	16
3. CAPÍTULO I - EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDAS EM SOLO ARENOSO E ARGILOSO COM A SUCESSÃO SOJA-SORGO.....	17
3.1. INTRODUÇÃO.....	19
3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.2.1. Condução dos ensaios no campo.....	21
3.2.2. Avaliação de eficácia de controle das plantas daninhas.....	26
3.2.3. Avaliação de produtividade.....	26
3.2.4. Análises estatísticas.....	27
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
3.4. CONCLUSÕES.....	37
3.5. AGRADECIMENTOS.....	38
3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
4. CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO DA INJÚRIA DAS PLANTAS DE SOJA E SORGO APÓS A APLICAÇÃO DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES UTILIZANDO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO.....	43

4.1. INTRODUÇÃO	45
4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	47
4.2.1. Informações sobre as culturas modelo utilizadas nos ensaios	47
4.2.2. Análises de solo e tecido vegetal	51
4.2.3. Análises de produtividade das culturas	52
4.2.4. Análises estatísticas.....	52
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.4. CONCLUSÕES	73
4.5 AGRADECIMENTOS	73
4.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
5. CONCLUSÃO GERAL.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química e física do solo no experimento de solo arenoso, Rio Verde – GO, 2018/2019.....	24
Tabela 2. Análise química e física do solo no experimento de solo argiloso, Montividiu – GO, 2018/2019.....	24
Tabela 3. Herbicidas pré-emergentes utilizados nos experimentos da cultura da soja e do sorgo (ingrediente ativo, concentração da formulação comercial, dose utilizada e especificação sobre o momento em que a aplicação foi realizada).	25
Tabela 4. Controle de plantas daninhas (% Visual) para <i>Commelina benghalensis</i> (COMBE), <i>Cenchrus echinatus</i> (CCHEC) e <i>Eleusine indica</i> (ELEIN) aos 7, 14, 21 e 28 dias após o plantio (DAP) da soja – Rio Verde (RVD) e Montividiu (MVD). TCAP = testemunha capinada.	30
Tabela 5. Produtividade das culturas da soja e do sorgo (kg ha^{-1}) nos experimentos de Rio Verde (RVD) e Montividiu (MVD).	33
Tabela 6. Controle de plantas daninhas (% Visual) para <i>Cenchrus echinatus</i> (CCHEC) e <i>Eleusine indica</i> (ELEIN) aos 7, 14, 21 e 28 dias após o plantio (DAP) do sorgo – Rio Verde (RVD) e Montividiu (MVD). TCAP = testemunha capinada.....	35
Tabela 7. Análise química e física do solo no experimento de solo arenoso, Rio Verde – GO, 2018/2019.....	49
Tabela 8. Análise química e física do solo no experimento de solo argiloso, Montividiu – GO, 2018/2019.....	49
Tabela 9. Herbicidas pré-emergentes utilizados nos experimentos da cultura da soja e do sorgo (ingrediente ativo, concentração da formulação comercial, dose utilizada e especificação sobre o momento em que a aplicação foi realizada).	50
Tabela 10. Equações utilizadas para determinação dos índices de vegetação utilizados para avaliação da resposta das culturas (injúria).	51

Tabela 11. Respostas espectrais da soja nos comprimentos de onda da faixa do visível e a aplicação dos índices de vegetação.	56
Tabela 12. Avaliação do estande, da altura, distância entre dosséis e conteúdo relativo de clorofila das plantas de soja.	57
Tabela 13. Respostas espectrais do sorgo nos comprimentos de onda da faixa do visível e a aplicação dos índices de vegetação.	59
Tabela 14. Avaliação do estande, da altura, distância entre dosséis e conteúdo relativo de clorofila das plantas de sorgo.	60
Tabela 15. Teores dos macronutrientes presentes nas amostras de folhas de soja do trifólio médio das plantas aos 35 DAP.	63
Tabela 16. Teores dos micronutrientes presentes nas amostras de folhas de soja do trifólio médio das plantas aos 35 DAP.	64
Tabela 17. Teores dos macronutrientes presentes nas amostras de folhas de sorgo do terço médio das plantas aos 35 DAP.	68
Tabela 18. Teores dos micronutrientes presentes nas amostras de folhas de sorgo do trifólio médio das plantas aos 35 DAP.	69
Tabela 19. Produtividade das culturas da soja e do sorgo (kg ha^{-1}) nos experimentos de Rio Verde (RVD) e Montividiu (MVD).	72

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Dados climáticos diários obtidos durante a realização dos experimentos avaliando a performance dos herbicidas nas culturas da soja e do sorgo: precipitação (mm – gráfico de barras) e temperatura média (°C – gráfico de linhas) referentes aos ensaios de Rio Verde (RVD cinza) e Montividiu (MVD preto)..... 23
- Figura 2.** Ortoimagem dos ensaios de soja avaliando a injúria proporcionada pelos herbicidas pré-emergentes no experimento de Rio Verde (RVD) (a) e Montividiu (MVD) (b). Os tratamentos apresentados na figura são: T1) diclosulam, T2) clorimuron, T3) sulfentrazone, T4) flumioxazina, T5) s-metolacloro, T6) testemunha capinada (TCAP) e T7) testemunha mato competição (TMATO). 53
- Figura 3.** Ortoimagem dos ensaios de sorgo avaliando a injúria proporcionada pelos herbicidas pré-emergentes no experimento de Rio Verde (RVD) (a) e Montividiu (MVD) (b). Os tratamentos apresentados na figura são: T1) diclosulam, T2) clorimuron, T3) sulfentrazone, T4) flumioxazina, T5) s-metolacloro, T6) s-metolacloro e atrazina, T7) atrazina, T8) testemunha capinada (TCAP) e T9) testemunha mato competição (TMATO)..... 53
- Figura 4.** Análise dos componentes principais para avaliação dos teores de nutrientes presentes nas folhas das plantas de soja após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes. 66
- Figura 5.** Análise dos componentes principais para avaliação dos teores de nutrientes presentes nas folhas das plantas de sorgo após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes. 70

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACOES E
UNIDADES

Símbolo	Significado	Unidade de medida
ha	Hectare	ha
M	Metro	m
m ²	Metro quadrado	m ²
PSI	Libras por polegada quadrada	PSI
kgf	Quilograma-força	kgf
cm	Centímetros	cm
km h ⁻¹	Quilmetros por hora	km h ⁻¹
UR	Umidade relativa	%
i.a.	Ingrediente ativo	i.a
G	Gramas	g
DAP	Dias após o plantio	DAP
DAE	Dias após a emergência	DAE
COMBE	<i>Commelina benghalensis</i>	COMBE
CCHEC	<i>Cenchrus echinatus</i>	CCHEC
ELEIN	<i>Eleusine indica</i>	ELEIN
RCHBR	<i>Richardia brasiliensis</i>	RCHBR
N	Nitrogênio	g kg ⁻¹ (Folhas)
P	Fósforo	g kg ⁻¹ (folhas) - mg dm ⁻³ (solo)
K	Potássio	g kg ⁻¹ (folhas) - mg dm ⁻³ (solo)
Ca	Cálcio	g kg ⁻¹ (folhas) - cmol _c dm ⁻³ (solo)
Mg	Magnésio	g kg ⁻¹ (folhas) - cmol _c dm ⁻³ (solo)
S	Enxofre	g kg ⁻¹ (folhas) - mg dm ⁻³ (solo)
Fe	Ferro	mg kg ⁻¹ (folhas) - cmol _c dm ⁻³ (solo)
Mn	Manganês	mg kg ⁻¹ (folhas) - cmol _c dm ⁻³ (solo)
Cu	Cobre	mg kg ⁻¹ (folhas) - cmol _c dm ⁻³ (solo)
Zn	Zinco	mg kg ⁻¹ (folhas) - cmol _c dm ⁻³ (solo)
B	Boro	mg kg ⁻¹ (folhas) - cmol _c dm ⁻³ (solo)
VANT	Veículo aéreo não tripulado	-
IF Goiano	Instituto Federal Goiano	IF Goiano

RESUMO

RAMPAZZO, PEDRO EDUARDO. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, setembro de 2020. **Efeito residual de herbicidas em solo arenoso e argiloso com a sucessão soja-sorgo.** Orientador: Dr. Adriano Jakelaitis.

Foram realizados quatro experimentos em diferentes tipos de solos (arenoso e argiloso). Os objetivos destes trabalhos foram estudar os efeitos de herbicidas pré-emergentes no controle de plantas daninhas (*Commelina benghalensis*, *Cenchrus echinatus* - CCHEC, *Eleusine indica* - ELEIN) e sua seletividade para culturas da soja, cultivada na safra de verão e o sorgo, cultivado na safrinha durante a safra 2018-2019. Os tratamentos aplicados na pré-emergência da soja foram: diclosulam (35,3 g i.a. ha⁻¹), clorimuron (20 g i.a. ha⁻¹), flumioxazina (50 g i.a. ha⁻¹), sulfentrazone (200 g i.a. ha⁻¹) e s-metolacoloro (1728 g i.a. ha⁻¹). Os tratamentos aplicados na pré-emergência do sorgo foram: s-metolacoloro + atrazina (576 + 1250 g i.a. ha⁻¹) e atrazina (1250 g i.a. ha⁻¹). A eficácia de controle residual dos herbicidas foi avaliada através da escala EWRC (1964) aos 7, 14, 21 e 28 dias após o plantio (DAP) para ambas culturas. Para avaliação da seletividade foi realizada a avaliação visual de fitotoxicidade (% visual) e a análise dos índices de vegetação MPRI, VARI e PRI, obtidos após o voo sob as áreas aos 35 DAP utilizando um veículo aéreo não tripulado (VANT), somados a análise das bandas do espectro do visível capturadas com o auxílio de um sensor RGB de baixo custo. Foram realizadas análises do estande e altura de plantas aos 14 DAP, distância entre dosséis e a mensuração indireta do conteúdo de clorofila aos 35 DAP. Avaliou-se também o teor de nutrientes presentes no tecido foliar das culturas aos 35 DAP. Ao final dos experimentos mensurou-se a produtividade. Nenhum dos herbicidas aplicados na pré-emergência da soja afetaram a produtividade da soja nem do sorgo. A complementação das avaliações radiométricas com as avaliações realizadas no campo reforçaram essa seletividade. Os herbicidas foram eficientes para controlar as plantas daninhas durante até os 28 DAP. No sorgo, aos 21 DAP, no solo arenoso, para CCHEC, o controle proporcionado por sulfentrazone aplicado em pré-emergência da cultura da soja foi de 97%, enquanto atrazina aplicado na pré-emergência do sorgo proporcionou 86%. Para o controle de ELEIN, no mesmo período de avaliação, sulfentrazone, diclosulam e clorimuron também apresentaram melhor performance de controle que a atrazina (97,3%; 96%; 95,8% e 85,8% respectivamente). Conclui-se que os herbicidas pré-emergentes são excelentes ferramentas para serem utilizados na sucessão soja-sorgo, facilitando o manejo de plantas daninhas. Recomenda-se que sejam utilizados dentro das recomendações técnicas com o acompanhamento das culturas através de avaliações no campo (biometria e injúria) e através do uso das ferramentas da agricultura digital (índices de vegetação e análises foliares).

PALAVRAS-CHAVE: Herbicidas pré-emergentes; *Glycine max*; *Sorghum bicolor*.

ABSTRACT

RAMPAZZO, PEDRO EDUARDO. Goiano Federal Institute of Education, Science, and Technology – Rio Verde Campus, September 2020. **Residual effect of herbicides in sand and clay soils in soybean-sorghum succession.** Advisor: Drº Adriano Jakelaitis.

Four experiments were conducted in different soil types (sandy and clay). The purposes of these trials were to study the herbicides pre-emergent control to weeds (*Commelina benghalensis*, *Cenchrus echinatus* - CCHEC, *Eleusine indica* - ELEIN) and understand about the selectivity for soybean, sowed in summer period and sorghum, sowed in the second season during 2018-2019. The treatments sprayed at soybean pre-emergence were: diclosulam (35.3 g ia ha⁻¹), chlorimuron (20 g ia ha⁻¹), flumioxazin (50 g ia ha⁻¹), sulfentrazone (200 g ia ha⁻¹) and s-metolachlor (1728 g ia ha⁻¹). The treatments sprayed at sorghum pre-emergence were: s-metolachlor + atrazine (576 + 1250 g a.i. ha⁻¹) and atrazine (1250 g a.i. ha⁻¹). The weed control was evaluated using the EWRC scale (1964) at 7, 14, 21 and 28 days after planting (DAP) for both crops. Selectivity was analyzed as a visual evaluation (% visual). Vegetation indexes MPRI, VARI and PRI, obtained after flying over trials at 35 DAP using an unmanned aerial vehicle (UAV) were evaluated. In addition, the bands of visible spectrum were captured with the aid of a low-cost RGB sensor. Plant stand and plant height were performed at 14 DAP, as well the distance between canopies and indirect measurement of chlorophyll content at 35 DAP. The leaves tissues were evaluated about the nutrient contents at 35 DAP. The yield was collected in the end of trials. None of the herbicides applied in the pre-emergence of soybean affected soybean or sorghum productivity. The complementation of radiometric evaluations with other assessments conducted in the field reinforced this selectivity. Herbicides were effective to control weeds until 28 DAP. In sorghum, at 21 DAP, in sandy soil, for CCHEC, the control provided by sulfentrazone sprayed at soybean pre-emergence was 97%, while atrazine sprayed at sorghum pre-emergence provided 86%. About ELEIN control, in the same evaluation period, sulfentrazone, diclosulam and chlorimuron also had better control than atrazine (97.3%; 96%; 95.8% and 85.8% respectively). The conclusion was that pre-emergent herbicides are excellent tools to be used in the soybean-sorghum succession, helping growers with weeds management. It is recommended that they should be used within the technical recommendations and with plant monitoring through field evaluations (biometrics analysis and injury) and through of digital agriculture tools (vegetation indexes and leaf analysis).

KEYWORDS: Pre-emergent herbicides; *Glycine max*; *Sorghum bicolor*.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O sorgo é uma gramínea que pode ser cultivada para a produção de grãos, forragem, silagem e etanol. Além disso, a planta de sorgo tolera mais o déficit de água e o excesso de umidade no solo do que a maioria dos outros cereais e pode ser cultivada numa ampla faixa de condições de solo, inclusive apresentando melhor conversão de água em matéria seca que outros cereais como o milho em condições edafoclimáticas mais limitantes, adaptando muito bem à sucessão, após o cultivo da soja (Magalhães et al., 2003; Zwirter et al., 2015).

A produção mundial desta cultura na safra 2017/2018 foi de 57,7 milhões de toneladas, produzidos numa área de 40,3 milhões de hectares e obtendo a produtividade média de 1,4 toneladas ha⁻¹ (USDA, 2019). A produtividade média mundial desta cultura é considerada baixa devido a desigualdade de tecnologias entre regiões e países produtores, uma vez que 13 países da África, 3 países da América Latina, 3 países asiáticos, 1 país da Oceania e diversos países da União Europeia compõem o seletivo grupo de países que realizam o cultivo desta cultura (USDA, 2019).

No Brasil, a situação não é diferente. A área brasileira plantada na safra 2017/2018 foi de 813,9 mil hectares que produziram 2,3 milhões de toneladas (IBGE, 2019). A produtividade média do sorgo granífero nesta safra no Brasil foi de 2,8 toneladas ha⁻¹ valor 100% superior à média mundial (IBGE, 2019). Baseado nestes dados pode-se afirmar que esta cultura está muito além de expressar seu potencial produtivo no Brasil. É interessante ressaltar ainda que nos Estados Unidos da América, a cultura do sorgo é uma cultura de verão e no Brasil ela é uma cultura de safrinha (período caracterizado por momentos de estresse hídrico e balanço negativo de água no solo).

Um dos principais desafios da agricultura moderna é lidar com os diferentes fatores que prejudicam o potencial produtivo das culturas (Korres et al., 2019). Por isso, reduzir perdas econômicas nos sistemas agrícolas de produção causadas por fatores bióticos e abióticos é algo relevante. Considerando os fatores bióticos que diminuem a produtividade das culturas agrícolas, os mais citados na literatura são os danos causados pelo ataque de insetos, doenças, nematoides e especialmente os problemas oriundos da competição com as plantas daninhas (Koenning & Wrather, 2010; Sharma et al., 2017; Gharde et al., 2018).

Consideradas como grandes prejudiciais ao rendimento potencial das culturas, as plantas daninhas afetam sobremaneira a eficiência dos sistemas agrícolas de produção. Os danos causados pela competição das plantas daninhas com as culturas podem ser diretos ou indiretos. Danos diretos podem ser causados quando as plantas daninhas interferem competindo diretamente com as culturas agrícolas pelo acesso aos recursos disponíveis como a água, a luz e os nutrientes ((Korres, 2005; Ramegowdaa & Senthil-Kumar, 2015). Os danos indiretos causados pelas plantas daninhas podem ser notados pela dificuldade de se realizar a colheita em áreas infestadas com espécies como *Cenchrus echinatus*, *Ipomoea hederifolia*, *Merremia aegyptia*, *Mucuna pruriens* e *Ricinus communis* (Monquero et al., 2008; Correia & Kronka, 2010). Outro exemplo de danos indiretos das plantas daninhas as culturas é que estas hospedam insetos e doenças que podem causar danos severos as culturas agrícolas. É o caso do percevejo *Dichelops furcatus* e do fungo *Exserohilum turcicum* que causam manchas foliares nas culturas do sorgo e do milho, porém podem ser encontrados em plantas daninhas como de capim-sudão (*Sorghum sudanense*) ou mesmo no sorgo de alepo (*Sorghum halepense*) (Engel et al., 2017; Beshir et al., 2012). Exemplificando essa interferência dos fatores bióticos na produção dos cultivos, Cramer (1967) estudando os prejuízos causados por insetos, fungos e plantas daninhas nas culturas afirmou que os mesmos causaram 35% de redução em toda produção agrícola mundial, durante o período analisado pelo pesquisador.

Na cultura do sorgo existem diversos casos relatados na literatura sobre o problema de redução de produtividade causada pela matocompetição, ou seja, a competição entre a cultura e a planta daninha (Heemst, 1985; Tamado et al., 2002; Rodrigues et al., 2010; Cabral et al., 2013). Heemst (1985) estudou os trabalhos de vários autores nas décadas de 1970 e 1980 e verificou que a cultura do sorgo granífero pode ter sua produção reduzida em até 52% se comparada a uma área com ausência de plantas daninhas. Ainda que numa época mais distante do nível tecnológico hoje empregado,

esses pesquisadores já relatavam problemas com plantas daninhas da Família Poaceae e latifoliadas nesta cultura. Nesses trabalhos, os pesquisadores verificaram principalmente os efeitos diretos da matocompetição na produção do sorgo. O período crítico de prevenção da interferência (PCPI) das plantas daninhas na cultura do sorgo foi caracterizado entre os 0 e 21 dias após a emergência da cultura.

Na África, Tamado et al. (2002) estudaram a cultura do sorgo granífero e verificaram que a espécie *Parthenium hysterophorus*, conhecida no Brasil com nome popular de losna-branca reduziu a produtividade da cultura em 95%. Neste mesmo estudo, os pesquisadores determinaram o PCPI como entre os 19 e 69 dias após a emergência do sorgo. No Brasil, Rodrigues et al. (2010) verificaram linearidade entre o tempo que se esperou para realizar o controle de plantas daninhas na cultura do sorgo e a resposta na produtividade na cultura do sorgo. As principais espécies invasoras neste estudo foram *Urochloa plantaginea*, *Commelina benghalensis*, *Cenchrus echinatus*, *Eleusine indica*, *Galinsonga parviflora*. Para estes autores, embora não tenham encontrado o PCPI eles determinaram o período total de prevenção da interferência (PTPI) como sendo até os 26 dias após o plantio.

Com o avanço das pesquisas e com a realização de trabalhos na cultura do sorgo granífero no sistema safrinha, Cabral et al. (2013) demonstraram que o período anterior de prevenção da interferência (PAI) foi de 0 aos 23 DAE. As principais espécies daninhas neste estudo foram *Amaranthus lividus*, *Commelina benghalensis*, *Bidens pilosa*, *Sida rhombifolia*, *Urochloa decumbens*, *Digitaria horizontalis* e *Portulaca oleracea*. Nesse período, pode-se considerar que a cultura consegue conviver com as plantas daninhas, sem prejuízos diretos a produtividade por meio da matocompetição. O período crítico da prevenção da interferência foi de 23 aos 42 DAE e o PTPI foi até os 42 DAE da cultura.

É importante ressaltar que após esta ampla pesquisa sobre matocompetição na cultura do sorgo, nota-se que todos autores relatam a grande dificuldade de controlar plantas daninhas na cultura. É também de consenso o entendimento que convívio entre as plantas daninhas e a cultura deve ser evitado, pois interfere negativamente nos principais componentes da produtividade da cultura do sorgo. Esta redução na produtividade da cultura é atribuída majoritariamente a redução na altura das plantas na fase final do ciclo, redução no diâmetro do colmo e por fim redução na produtividade.

No Brasil, nas condições de cultivo no cerrado, as principais plantas daninhas que afetam a cultura do sorgo são o capim-amargoso (*Digitaria insularis*), capim-pé-de galinha (*Eleusine indica*), capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*), a trapoeraba

(*Commelina benghalensis*), corda-de-viola (*Ipomoea hederifolia*), o sorgo de alepo (*Sorghum halepense*), o sorgo selvagem (*Sorghum arundinaceum*), as espécies do gênero *Urochloa* (*decumbens*, *plantaginea* e *ruziziensis*), o capim-colonião (*Panicum maximum*) e o capim -custódio ou capim-avião (*Pennisetum setosum*).

O sorgo de alepo e o capim-sudão (*Sorghum sudanense*) possuem compatibilidade genética com o sorgo granífero e podem causar sérios prejuízos (Pedersen et al., 1998; Arriola e Ellstrand, 1996). Isto porque os armazéns podem guardar os grãos colhidos sem a pureza genética necessária. Para os agricultores o problema pode ocorrer no próximo ano quando eles irão plantar e podem estar disseminando plantas daninhas em grande quantidade em suas lavouras, devido a impurezas nos lotes de sementes.

Como exemplo, o cruzamento capim-sudão x sorgo granífero resulta numa porcentagem de efetivação entre 20-61% enquanto o cruzamento sorgo de alepo x sorgo granífero resulta em 2% de efetivação, considerando-se 100 m entre a cultura e a planta daninha (Pedersen et al., 1998; Arriola e Ellstrand, 1996). Estas plantas daninhas muitas vezes estão presentes nas lavouras de sorgo granífero e por esta razão como citado anteriormente, o potencial de dano é altíssimo. As cargas de grãos que contêm sorgo de alepo misturados com sorgo granífero são consideradas perigosas pelos armazéns no momento de recebimento dos grãos de sorgo colhidos no campo. Sementes dessa planta daninha ou mesmo a planta daninha em si podem causar problemas de dispneia, ansiedade, tremores e morte de animais como bovinos (Nóbrega et al. 2006). E, por essas razões que o assunto planta daninha, direta ou indiretamente deve ser levado como fundamental no manejo agrícola.

Como mencionado acima, as plantas daninhas causam sérios danos diretos e indiretos para a cultura do sorgo granífero. Porém, como essa cultura possui menor magnitude e valor econômico agregado que outras culturas como milho e a soja, poucas opções de herbicidas estão disponíveis para que o agricultor exerça o controle efetivo das plantas daninhas (Teixeira et al., 2017; Coelho, 2002; AGROFIT, 2019; Silva et al., 2014). Assim, como os estudos de campo são importantes, as avaliações de imagens são fundamentais para entender a interação entre as culturas e as plantas daninhas. Cada vez mais o tema agricultura digital é mais sensível aos estudos na área da ciência das plantas daninhas.

Com a chegada da globalização, aumento dos custos de produção global de alimentos pelo aumento dos insumos e uma forte pressão de um mercado consumidor em crescimento a agricultura mundial precisou se reinventar (Klerkx et al., 2019). Dados da

FAO estimam que no ano de 2050 a população mundial, que cresce em progressão geométrica, atingirá 9,7 bilhões de pessoas, num cenário de menor acesso a terra e a disponibilidade de água doce do que se tem hoje (UNDESA, 2015). Neste contexto, a agricultura digital é apontada como um dos pilares efetivos para aumentar a produtividade das culturas agrícolas favorecendo a sustentabilidade da cadeia agrícola (Van Es & Woodard, 2017). Os estudos sobre dossel das culturas advindos dos avanços tecnológicos da agricultura digital serão necessários para aumentar a produtividade das culturas, gerenciar os recursos e as necessidades de insumos visando a sustentabilidade do sistema agrícola, minimizando assim os impactos ambientais (Alsalam et al., 2017).

O uso de ferramentas de sensoriamento remoto na área da ciência das plantas daninhas está em contínuo processo de desenvolvimento. Nessa área, nos últimos 10 anos observa-se extensa bibliografia publicada e diversidade de aplicações dessas tecnologias nas fazendas e no ambiente agrícola como um todo (Rasmussen et al., 2013; Shaner e Beckie, 2014; López-Granados et al., 2016; King, 2017; Tamouridou et al., 2017; Huang et al., 2018; Jiménez-brenes et al., 2019; De Souza et al., 2020). A área da ciência das plantas daninhas tem focado o uso das ferramentas digitais em duas áreas principais do conhecimento. A primeira delas consiste na identificação das plantas daninhas. A segunda consiste na aplicação de herbicidas com acurácia buscando evitar efeitos indesejáveis desta aplicação para culturas não alvo, objetivo básico da seletividade dos herbicidas nos campos de cultivos perante as culturas nas quais são utilizados (Huang et al., 2018).

Os herbicidas pré-emergentes podem ter sua eficácia de controle e seletividade afetadas pelos fatores como clima e condições de solo, resultando algumas vezes em sintomas de fitotoxicidade nas culturas agrícolas (Jursík et al., 2015; Da Costa et al., 2017). Além disto, os herbicidas pré-emergentes também continuam sendo importante ferramenta para redução do risco de resistência das plantas daninhas para os diversos mecanismos de ação (Wechsler et al., 2017; Kumar et al., 2018). Avaliando-se o cenário atual, pós-domínio do glifosato no mercado, fica ainda mais evidente a necessidade do uso de herbicidas pré-emergentes para evitar a dominância de plantas daninhas resistentes, permitindo o uso dos novos eventos biotecnológicos nos sistemas de produção (cultivos OGMs) por mais tempo, uma vez que esses sistemas dependem de herbicidas pós-emergentes. Novos herbicidas serão introduzidos nos sistemas agrícolas no futuro e com certeza o manejo e a seletividade dos herbicidas para as culturas continuarão em evidência. Por isso, o estudo do dossel das culturas utilizando as ferramentas da agricultura digital é de fundamental importância. As principais características que têm

sido estudadas pelos pesquisadores são os campos estruturais, dimensionais e as zonas de renderização, antes e após a aplicação dos herbicidas (Salcedo et al., 2015; Miranda-Fuentes et al., 2016).

As ferramentas digitais podem auxiliar os agricultores e técnicos no monitoramento do solo, avaliação de doenças nutricionais, observação e diagnósticos sobre plantas daninhas e pragas em tempo hábil para que eles possam tomar ações de manejo específicas e adequadas nos ambientes de produção (Berni et al., 2018; Arnold et al., 2013; Yao et al., 2013; Alves et al., 2017).

As principais ferramentas da agricultura digital que têm sido utilizadas no setor agrícola tem sido os veículos aéreos não tripulados (VANTs) mais conhecidos como drones que são utilizados com sensores espectrais comumente acoplados a estes equipamentos; os softwares que são utilizados para o processamento supervisionado das imagens obtidas no campo; os índices de vegetação calculados a partir de relações entre as diferentes bandas do espectro e as medições no solo (*ground measures*) com sensores espectrais específicos. Os drones são classificados de acordo com diversos critérios. A principal classificação utilizada separa os drones em dois grupos: drones de asas fixas e drones movidos por rotores. Drones maiores podem operar em distâncias que podem ser superiores a 500 km dependendo do tamanho e autonomia de voo do equipamento (Anderson e Gaston, 2013). Drones de tamanho médio podem operar a cerca de 10 horas e geralmente atingem altitudes menores que 4 km (Anderson e Gaston, 2013). Drones menores geralmente operam em distâncias menores que 10 km e voam a altitudes menores que 1 km, operando a cerca de duas horas. Na maior parte dos casos, devido ao tamanho, os drones de tamanhos maiores e médios são produzidos com asas fixas (Anderson e Gaston, 2013). Os drones menores têm sua propulsão na maioria dos casos resultante de um sistema de engenharia baseado em rotores (Anderson e Gaston, 2013). As principais vantagens do uso dessas ferramentas digitais na agricultura são a confiabilidade e o rápido acesso à informação que está diretamente conectada com o uso dos drones nas fazendas (Richetti et al., 2018; Song et al., 2017). Os conceitos básicos para um bom voo sob a ótica do posicionamento do drone consistem em unidade inercial de medida, um receptor de navegação por satélite e um baro-altímetro (Colomina e Molina, 2014). Para que os drones possam obter as imagens é necessário que estes equipamentos possuam um ou mais sensores espectrais como câmeras instaladas. Conhecidos como sensores passivos, câmeras acopladas aos drones registram a energia eletromagnética refletida pelos alvos. Sensores RGB (vermelho, verde e azul) e NIR (infravermelho próximo), multiespectrais

e hiperespectrais e câmaras térmicas fazem parte deste grupo denominado sensores passivos (Tang e Shao, 2015). Outros sensores que existem no mercado são classificados como sensores ativos. É o caso do LIDAR (Detecção de variação de posição com luz) é baseado na transmissão dos pulsos Laser detectando a posição de um objeto após iluminá-lo com a luz. Os sensores mais utilizados nos voos de drone têm sido os sensores RGB que captam os espectros visíveis da luz solar e apresentam custo relativamente menor (Nowak et al., 2019). Entretanto, hoje não são raros os drones equipados com sensores multiespectrais que captam além das bandas RGB, os comprimentos de onda da faixa do infravermelho próximo e até o infravermelho distante, invisíveis ao olho humano (Nowak et al., 2019).

Em geral, os sensores multiespectrais são mais pesados e por isso exigem mais potência dos drones nos quais estão acoplados. Esses sensores também são mais caros e exigem pessoal mais qualificado para realizar sua operação (Nowak et al., 2019). Outros sensores que podem ser instalados nos drones são os sensores térmicos que registram o calor dos objetos na superfície. Esses sensores especiais, geralmente são mais caros que câmeras convencionais e as suas imagens apresentam resolução espacial menor (Sheng et al., 2010).

1.1. Referências Bibliográficas

AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. 2019. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 06 dez. 2019.

ALSALAM, B.H.Y.; MORTON, K.; CAMPBELL, D.; GONZALEZ, F. “Autonomous UAV with vision based on-board decision making for remote sensing and precision agriculture,”. In: **IEEE Aerospace Conference**, IEEE, 2017.

ALVES, T.M.; MARSTON, Z.P.; MACRAE, I.V.; KOCH, R.L. Effects of Foliar Insecticides on Leaf-Level Spectral Reflectance of Soybean. **Journal of Economic Entomology**. v. 110, p. 2436-2442. 2017.

ANDERSON, K.; GASTON, K.J. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 11, n. 3, p. 138-146. 2013.

ARNOLD, T.; DE-BIASIO, M.; FRITZ, A.; LEITNER, R. UAV-based Measurement of Vegetation Indices for Environmental Monitoring. **Seventh International Conference on Sensing Technology**. p. 704-707. 2013.

ARRIOLA, P.; ELLSTRAND, N. Crop-to-weed gene flow in the genus Sorghum (Poaceae): spontaneous hybridization between Johnson grass, *Sorghum halepense*, and crop sorghum, *S. bicolor*. **American Journal of Botany**, v. 83, n. 1, p. 1153-1160. 1996.

BERNI, J.; ZARCO-TEJADA, P.; SUREZ, L.; GONZALEZ-DUGO, V.; FERERES, E. Remote sensing of vegetation from UAV platforms using lightweight multispectral and thermal imaging sensors. *The International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVII*. 2008.

BESHIR, M.M.; ALI, A.M.; OKORI, P. Inheritance of resistance to turicum leaf blight in sorghum. **African Crop Science Journal**, v. 20, n. 1. 2012.

CABRAL, P.H.R.; JAKELAITIS, A.; CARDOSO, I.S.; ARAÚJO, V.T.; PEDRINI, E.C.F. Interferência de plantas daninhas na cultura do sorgo cultivado em safrinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, p. 308-314. 2013.

COELHO, A.M.; WAQUIL, J.M.; KARAM, D.; CASELA, C.R.; RIBAS, P.M. **Seja o doutor do seu sorgo**. Informações Agronômicas, Piracicaba, v. 1, n. 100, p. 1-24, 2002. Disponível em: < <http://www.cnpms.embrapa.br/sorgo/doutorsorgo.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2019.

COLOMINA I.; MOLINA P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 92, p. 79-97. 2014.

CORREIA, N.M.; KRONKA, J.R.B. Chemical control of plants of the genera *Ipomoea* and *Merremia* in sugarcane. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 1143-1152. 2010.

CRAMER, H.H. Plant protection and world crop production. **Pflanzenschutz-Nachrichten**, v. 20, n. 1, p. 1-524. 1967.

DA-COSTA, A.F.; VALE, L.S.; OLIVEIRA, A.B.; BRITO-NETO, J.F.; CARDOSO, G.D. Selectivity of pre and post-emergent herbicides for cowpea (*Vigna unguiculata*). **African Journal of Agricultural Research**. v. 12, p. 881-887. 2017.

DE SOUZA, M.F.; DO AMARAL, L.R.; DE MEDEIROS OLIVEIRA, S.R.; COUTINHO, M.A.N.; NETTO, C.F. Spectral differentiation of sugarcane from weeds. **Biosystems Engineering**, v. 190, p. 41-46. 2020.

ENGEL, E.; PASINI, M.P.B.; HÖRZ, D.C.; DALLA NORA, S.L. Populações de percevejos barriga-verde [*Dichelops furcatus* (Hemiptera: pentatomidae)] em diferentes diâmetros de plantas silvestres durante entressafra de soja e milho. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 2, p. 206-209. 2017.

GHARDE, Y.; SINGH, P.K.; DUBEY, R.P.; GUPTA, P.K. Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India. **Crop Protection**, v. 107, p. 12-18. 2018.

HEEMST, H.D.J. The influence of weed competition on crop yield. **Agricultural Systems**, v. 18, n. 2, p. 81 – 93. 1985.

HUANG, Y.; REDDY, K.N.; FLETCHER, R.S.; PENNINGTON, D. UAV low-altitude remote sensing for precision weed management. **Weed technology**, v. 32, n. 1, p. 2-6. 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. 2019. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Estatística da Produção Agrícola. 07/2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-SUL>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

JIMÉNEZ-BRENES, F.M.; LÓPEZ-GRANADOS, F.; TORRES-SÁNCHEZ, J.; PEÑA, J.M.; RAMÍREZ, P.; CASTILLEJO-GONZÁLEZ, I.L.; DE CASTRO, A.I. Automatic UAV-based detection of *Cynodon dactylon* for site-specific vineyard management. **PloS one**, v. 14, n. 6, e0218132. 2019.

JURSÍK, M.; KOCÁREK, M. HAMOUZOVÁ, K. Efficacy and selectivity of pre-emergent sunflower herbicides under different soil moisture conditions. **Plant Protection Science**, v. 51, p. 214-222. 2015.

King, A. The future of agriculture. **Nature**, v. 544, 7651, S21-S23. 2017.

KLERKX, L.; JAKKU, E.; LABARTHE, P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. **NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 90, p. 100315. 2019.

KOENNING, S.R.; WRATHER, J.A. Suppression of soybean yield potential in the continental United States by plant diseases from 2006 to 2009. **Plant Health Progress**, v. 11, n. 1, p. 1-6. 2010.

KORRES, N.E. **Encyclopaedic dictionary of weed science: theory and digest**. Paris: Lavoisier, 2005. 789 p.

KORRES, N.E.; BURGOS, N.R.; TRAVLOS, I.; VURRO, M.; GITSOPOULOS, T.K.; VARANASI, V.K.; DUKE, S.O.; KUDSK, P.; BRABHAM, C.; ROUSE, C.E.; SALAS-PEREZ, R. New directions for integrated weed management: Modern technologies, tools and knowledge discovery. **Advances in Agronomy**, v. 155, p. 243-319. 2019.

KUMAR, D.; JAYASWAL, D.; JANGRA, A.; MISHRA, K.K.; YADAV, S. Recent approaches for herbicide resistance management in weeds: a review. **Int Journal of Chem Studies**, v.6, p. 2844-2850. 2018.

LÓPEZ-GRANADOS, F.; TORRES-SÁNCHEZ, J.; SERRANO-PÉREZ, A.; DE CASTRO, A.I.; MESAS-CARRASCOSA, F.J.; PENA, J.M. Early season weed mapping in sunflower using UAV technology: variability of herbicide treatment maps against weed thresholds. **Precision Agriculture**, v. 17, n. 2, 183-199. 2016.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.O.; RODRIGUES, J.A.S. **Fisiologia da Planta de Sorgo**. Documento Embrapa Comunicado Técnico 86. Sete Lagoas, v. 1, n. 1, Mg. p. 1-4, 2003. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/487527/1/Com86.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2019.

MIRANDA-FUENTES, A.; LLORENS, J.; RODRIGUEZ-LIZANA, A.; CUENCA, A.; GIL, E.; BLANCO-RODÁN, G.L. Assessing the optimal liquid volume to be sprayed on isolated olive trees according to their canopy volumes. **Science of the Total Environment**, v. 568, p. 269-305. 2016.

MONQUERO, P.A., AMARAL, L.R., BINHA, D.P., SILVA, P.V., SILVA, A.C., MARTINS, F.R.A. Mapas de infestação de plantas daninhas em diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 47-55. 2008.

NÓBREGA JR, J.; RIET-CORREA, F.; MEDEIROS, R.M.; DANTAS, A.F. Intoxicação por *Sorghum halepense* (Poaceae) em bovinos no semi-árido. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 26, n. 4, p. 201-204. 2006.

NOWAK, M.M.; DZIÓB, K.; BOGAWSKI, P. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in environmental biology: a review. **European Journal of Ecology**, v. 4, n. 2, p. 56-74. 2019.

PEDERSEN, J.F.; TOY, J.J.; JOHNSON, B. Natural outcrossing of sorghum and sudangrass in the central great plains. **Crop Science**, v. 38, n. 1, p. 937-939. 1998.

RAMEGOWDAA, V.; SENTHIL-KUMAR, M. The interactive effects of simultaneous biotic and abiotic stresses on plants: mechanistic understanding from drought and pathogen combination. **Journal of Plant Physiology**, v. 176, p. 47-54. 2015.

RASMUSSEN, J.; NIELSEN, J.; GARCIA-RUIZ, F.; CHRISTENSEN, S.; STREIBIG, J.C. Potential uses of small unmanned aircraft systems (UAS) in weed research. **Weed Research**, v. 53, n.4, p. 242-248. 2013.

RICHETTI, J.; JUDGE, J.; BOOTE, K.J.; JOHANN, J.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; BECKER, W.R.; PALUDO, A.; SILVA, L.C.A. Using phenology-based enhanced vegetation index and machine learning for soybean yield estimation in Paraná State, Brazil. **Journal of Applied Remote Sensing**. v. 12, 026029. 2018.

RODRIGUES, A.C.P.; COSTA, N.V.; CARDOSO, L.A.; CAMPOS, C.F.; MARTINS, D. PERÍODOS de interferência de plantas daninhas na cultura do sorgo. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 23-31, 2010.

SALCEDO, R.; GARCERÁ, C.; GRANELL, R.; MOLTO, E.; CHUECA, P. Description of the airflow produced by an air-assisted sprayer during pesticide applications to citrus. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 13, p. 1-15. 2015.

SHANER, D.L.; BECKIE, H.J. The future for weed control and technology. **Pest management science**, v. 70, n. 9, p. 1329-1339. 2014.

SHARMA, S.; KOONER, R.; ARORA, R. Insect pests and crop losses. **Breeding insect resistant crops for sustainable agriculture**. p. 45-66. 2017.

SHENG, H.; CHAO, H.; COOPMANS, C.; HAN, J.; MCKEE, M.; CHEN, Y. Low-cost UAV-based thermal infrared remote sensing: Platform, calibration and applications. In Proceedings of 2010 IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (pp. 38-43). IEEE, 2010.

SILVA, J.R.V.; MARTINS, C.C.; SILVA JUNIOR, A.C.; MARTINS, D. Fluxofenim em sementes de sorgo como protetor ao herbicida S-metolachlor. **Bioscience Journal**, v.30, n.1, p. 158-167, 2014.

SONG, X. P.; POTAPOV, P.V.; KRYLOV, A.; KING, L.; DI BELLA, C.M.; HUDSON, A.; HANSEN, M.C. National-scale soybean mapping and area estimation in the United States using medium resolution satellite imagery and field survey. **Remote sensing of environment**, v. 190, p. 383-395. 2017.

TAMADO, T.; OHLANDER, L.; MILBERG, P. Interference by the weed *Parthenium hysterophorus* L. with grain sorghum: influence of weed density and duration of competition. **International Journal of Pest Management**. v.48, n. 1, p. 183-188. 2002.

TAMOURIDOU, A.A., ALEXANDRIDIS, T.K., PANTAZI, X.E., LAGOPODI, A.L., KASHEFI, J., MOSHOU, D. Evaluation of UAV imagery for mapping *Silybum marianum* weed patches. **International journal of remote sensing**, v. 38, n. 8-10, p. 2246-2259. 2017.

TANG, L.; SHAO, G. Drone remote sensing for forestry research and practices. **Journal of Forestry Research**, v. 26, n. 4, p. 791-797, 2015.

TEIXEIRA, M.F.F.; ASPIAZU, I.; BARROS, T.T.V.; KARAM, D.; de CARVALHO, A.J.; de FREITAS, N.M. Seletividade de herbicidas aplicados em pós-emergência na cultura do sorgo sacarino. **Espacios**, v. 38, n. 13. p. 18-26. 2017.

UNDESA (United Nations, Department of Economic and Social Affairs), Population Division. 2015. World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP 241.

United States Department of Agriculture. Departamento de agricultura dos Estados Unidos da América, USDA. 2019. World agricultural production. Circular Series WAP 9-19. Setembro 2019. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

VAN ES, H.; WOODARD, J. Innovation in agriculture and food systems in the digital age. **The global innovation index**. p. 97-104. 2017.

WECHSLER, S.J.; MC FADDEN, J.R.; SMITH, D.J. What do farmers weed control decisions imply about glyphosate resistance? Evidence from surveys of US corn fields. **Publications from USADA-ARS / UNL Faculty**. 1785. 2017.

YAO, H.; HUANG, Y. Remote sensing applications to precision farming. In: Wang, G.; Weng, Q. ed. **Remote sensing of natural resources**. Chap 18. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 333-352. 2013.

ZWIRTES, A.L.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; KUNZ, J.; REIMANN, G.K.
Desempenho produtivo e retorno econômico da cultura do sorgo submetida à irrigação deficitária. **Engenharia agrícola**, v. 35, n. 4, p. 676-688. 2015.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Investigar os efeitos do uso dos herbicidas pré-emergentes no controle de plantas infestantes e sua seletividade para culturas da soja e do sorgo cultivadas em sucessão em dois tipos de solos (arenoso e argiloso).

2.2. Específicos

Comparar o uso de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja com o controle proporcionado pelos mesmo durante o cultivo do sorgo, para avaliar se estes herbicidas podem ser comparados com os tratamentos atrazina e atrazina + s-metolacoloro que são comumente aplicados na pré-emergência da cultura do sorgo.

3. CAPÍTULO I - EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDAS EM SOLO ARENOSO E ARGILOSO COM A SUCESSÃO SOJA-SORGO.

RESUMO: O controle de plantas daninhas na cultura do sorgo exige múltiplos conhecimentos pois existem poucos herbicidas registrados para essa finalidade. Assim, planejar o uso de herbicidas pré-emergentes na soja, cultivada na safra de verão, e com maiores opções de herbicidas disponíveis é uma alternativa para facilitar o manejo de plantas daninhas no sorgo durante a segunda safra. Dois ensaios foram realizados na cultura da soja e dois na cultura do sorgo, em diferentes tipos de solo (arenoso e argiloso). Os herbicidas avaliados foram: diclosulam, clorimuron, flumioxazina, sulfentrazone, s-metolacoloro, s-metolacoloro + atrazina e atrazina. Também foram avaliadas uma testemunha mantida no limpo e uma testemunha com matocompetição. O controle de plantas daninhas (*Commelina benghalensis* - COMBE, *Cenchrus echinatus* - CCHEC e *Eleusine indica* - ELEIN) foi avaliado aos 7, 14, 21 e 28 DAP em ambas as culturas utilizando a escala de controle visual proposta por EWRC (1964). A produtividade também foi avaliada quando os grãos atingiram a maturidade fisiológica. Todos os ensaios foram estabelecidos em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. Os dados foram submetidos à ANOVA e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 0.05$). Todos os tratamentos com herbicidas pré-emergentes controlaram eficientemente as plantas daninhas em ambos os ensaios de soja até 28 dias após o plantio (DAP). No sorgo, aos 21 DAP, no solo arenoso, para CCHEC, o controle proporcionado por sulfentrazone aplicado em pré-emergência da cultura da soja foi de 97%, enquanto atrazina aplicado na pré-emergência do sorgo proporcionou 86%. Para o controle de ELEIN, no mesmo período de avaliação, sulfentrazone, diclosulam e clorimuron tiveram também apresentaram melhor performance de controle que a atrazina (97,3%; 96%; 95,8% e 85,8% respectivamente). Nenhum dos herbicidas aplicados na pré-emergência da soja afetaram a produtividade da soja nem do sorgo, não diferindo estatisticamente do tratamento testemunha capinada. Assim, os resultados desta pesquisa evidenciaram o potencial da utilização de pré-emergentes no sistema de sucessão soja-sorgo, resultando em uma estratégia eficaz para o manejo integrado de plantas daninhas, contribuindo, portanto, para a produtividade das culturas e minimizando problemas de resistência das plantas daninhas nas áreas agrícolas.

Palavras-chave: *Glycine max*; *Sorghum bicolor*; herbicidas pré-emergentes; sucessão de culturas.

RESIDUAL EFFECT OF HERBICIDES IN SAND AND CLAY SOILS IN SOYBEAN-SORGHUM SUCCESSION.

ABSTRACT: The weed control in the sorghum requires multiple knowledge because there are few herbicides registered for this purpose. Thus, the pre-emergent herbicides applications on soybeans, grown in the summer, and with higher herbicide options available, is an alternative to help weed management in sorghum during the second season. Two tests were conducted on soybean and two on sorghum, in different soils (sandy and clay). The herbicides evaluated were: diclosulam, chlorimuron, flumioxazin, sulfentrazone, s-metolachlor, atrazine and s-metolachlor + atrazine. In addition, an untreated was kept clean and another was in weed competition. Weed control (*Commelina benghalensis* - COMBE, *Cenchrus echinatus* - CCHEC and *Eleusine indica* - ELEIN) was evaluated at 7, 14, 21 and 28 DAP (days after planting) in both cultures using the visual control scale proposed by EWRC (1964). Yield was also evaluated. All assays were established in a randomized block design with four replications. The data were submitted to ANOVA and the means were compared using the Tukey test ($\alpha = 0.05$). All pre-emergent herbicide treatments effectively controlled weeds in both soybean trials up to 28 days after planting (DAP). In sorghum, at 21 DAP, in sandy soil, for CCHEC, the control provided by sulfentrazone applied in pre-emergence of soybean crop was 97%, while atrazine applied in the pre-emergence of sorghum provided 86%. For ELEIN control, in the same evaluation period, sulfentrazone, diclosulam and chlorimuron also had better control performance than atrazine (97.3%; 96%; 95.8% and 85.8% respectively). None of the herbicides applied in the pre-emergence of soybeans affected the productivity of soybean or sorghum. Thus, the results of this research showed the potential of using pre-emergent in the soybean-sorghum succession system, resulting in an effective strategy for integrated weed management, thus contributing to crop productivity and minimizing weed resistance issues in the fields.

Keywords: *Glycine max*; *Sorghum bicolor*; pre-emergent herbicides; crop-succession.

3.1. Introdução

Para um eficiente manejo de plantas infestantes, deve-se utilizar métodos integrados de controle sendo uma estratégia técnica e economicamente relevante para a manutenção da sustentabilidade do sistema (Zimdahl, 2018). Uma adaptação deste modelo para a realidade soja-sorgo consiste na necessidade de se avaliar o uso de herbicidas pré-emergentes na principal cultura plantada (soja), antes do cultivo do sorgo. A utilização mundial destes herbicidas tem aumentado, ganhando destaque entre os agricultores (Wechsler et al., 2017). Esta forma de aplicação garante o desenvolvimento inicial da cultura sem a interferência destas plantas infestantes, no momento de maior susceptibilidade da cultura. Geralmente, esses herbicidas apresentam atividade residual no solo, proporcionando controle dos primeiros fluxos de emergência de plantas infestantes, até outra intervenção de controle (Monquero, 2014). Todavia, como quaisquer substâncias químicas, o uso de herbicidas nas culturas, deve-se considerar as características físico-químicas e orgânicas de cada tipo de solo, bem como o índice de precipitação pluvial (Zanatta et al., 2008; Monquero et al., 2008). Na literatura existem poucos trabalhos que estudam sistemas de manejo e suas interações com as plantas infestantes (Sodré Filho et al., 2008; Jakelaitis et al., 2014; Pacheco et al., 2016).

Uma vez explicitado a problemática das plantas daninhas na cultura do sorgo, as opções limitadas de herbicidas para uso nesta cultura e os prejuízos causados pelas plantas daninhas a sua produção, é possível conceituar os problemas do matocompetição também na cultura da soja. A cultura da soja dentro do estudo do sistema de manejo é decisiva, pois seu manejo interferirá na quantidade de plantas daninhas presentes na área agrícola no período das águas, e serão muitas destas sementes que causarão a problemática relatada na cultura do sorgo. Por isso, o conhecimento do sistema agrícola de produção e seus componentes é essencial no manejo integrado de plantas daninhas.

A cultura da soja é o principal cultivo de verão no Brasil nos últimos anos. A área global cultivada com soja na safra 2017/2018 ultrapassou os 124 milhões de hectares (USDA, 2019). A produção mundial de soja nesta mesma safra atingiu 341,6 milhões de toneladas (USDA, 2019). Nesta safra, o Brasil ocupou a primeira posição no ranking de

maiores produtores desta oleaginosa, seguido pelos Estados Unidos, produzindo respectivamente 122 e 120 milhões de toneladas. A área cultivada com soja no Brasil na safra 2017/2018 foi de 35 milhões de hectares. A produtividade média mundial de soja foi de 2,74 toneladas ha⁻¹, e o Brasil merece destaque: a produtividade média brasileira foi de 3,47 toneladas ha⁻¹, superando a média global em 27%. A eficiência agrônômica na produção brasileira de soja, no sistema porteira a dentro na fazenda, ou seja, excetuando-se questões de logística e industrialização coloca o Brasil em destaque até mesmo se comparar a produção brasileira com outros países. O nível de tecnologia empregado na produção agrícola no Brasil permite que hoje o País possa ser o maior exportador de soja, base da alimentação animal mundial de aves, bovinos e suínos (EMBRAPA, 2018).

Plantas daninhas são problemas também na cultura da soja, pois afetam sua produtividade. Na cultura da soja quando cultivada no cerrado as principais plantas daninhas são buva (*Conyza sumatrensis*), capim-amargoso (*Digitaria insularis*), pé-de-galinha (*Eleusine indica*), apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), trapoeraba (*Commelina benghalensis*), capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*), poaia-branca (*Richardia brasiliensis*), erva-quente (*Spermacoce latifolia*), milho tiguera (*Zea mays*), picão-preto (*Bidens subalternans*) e leiteiro (*Euphorbia heterophylla*).

Embora com muitas limitações técnicas com relação aos herbicidas, a cultura do sorgo granífero vem ocupando posição de destaque em sucessão à cultura da soja no Brasil, nos últimos anos (Cândido et al., 2002; IBGE, 2019). Sob a ótica do manejo de plantas daninhas, a sucessão de culturas é mais benéfica ao solo e a produtividade dos cultivos que o uso exclusivo de uma monocultura ou mesmo deixar a terra em pousio. Considerando o aspecto financeiro, a sucessão de culturas consiste também num estímulo econômico, no uso racional da terra, e permite adequado aproveitamento da adubação residual da cultura anterior e pode permitir maior produção de grãos (Santana-Gomes et al., 2014; Pacheco et al., 2017). Analisando os estudos de manejo de plantas daninhas na cultura do sorgo e os atuais sistemas de produção soja/sorgo em sucessão no centro-oeste brasileiro, especificamente nas regiões de cerrado, pode-se buscar o entendimento de todo o sistema para realizar o controle das plantas daninhas, deixando a visão imediatista de controlar daninhas apenas num momento específico dentro do ciclo da cultura.

Após este estudo detalhado dos conceitos e trabalhos que correlacionam os temas que esta tese versará, resume-se que as plantas daninhas causadoras de problemas na cultura safrinha são muitas vezes ligadas ao cultivo anterior quer seja pela produção

maciça de propágulos (ocorrida no ciclo anterior) ou mesmo pela ineficiência de controle que permite a sobrevivência de algumas plantas nos dois ciclos de cultivo sucessivos.

Assim, este trabalho busca estudar os aspectos referentes a matocompetição na cultura da soja, na cultura do sorgo, relacionando a utilização da estratégia de sucessão com o uso de herbicidas pré-emergentes para verificar quais herbicidas podem contribuir neste sistema protegendo a produtividade sem prejuízos as culturas. É também objetivo deste trabalho comparar o uso de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja com o controle proporcionado pelos mesmo durante o cultivo do sorgo, para avaliar se estes herbicidas podem ser comparados com os tratamentos atrazina e atrazina + s-metolacoloro que são comumente aplicados na pré-emergência da cultura do sorgo.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Condução dos ensaios no campo

Foram instalados dois experimentos em condições de campo nos municípios de Rio Verde e Montividiu, estado de Goiás (S 17° 45'28,7" / W 51° 02'06,6" e S 17° 26'37,2" / W 51° 08'35,8" – 819 e 878 m altitude respectivamente). A cultura da soja foi cultivada durante a safra de verão (SV) do ano agrícola 2018/2019 e logo após sua colheita, no período da segunda safra ou safrinha (SS), a cultura do sorgo foi cultivada. Para caracterização dos solos quanto as propriedades químicas e físicas foram realizadas análises de solo de acordo com a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017). Os ensaios de Rio Verde foram instalados em solo arenoso (areia 82%; silte 10%; argila 8%) enquanto os ensaios de Montividiu foram instalados em solo argiloso (areia 20%; silte 12%; argila 68%). As informações referentes as características químicas e físicas do solo podem ser consultadas nas Tabelas 1 e 2. Para eliminar quaisquer plantas daninhas presentes na área antes de iniciar o plantio da soja nos dois experimentos, foi realizada uma aplicação para dessecação aos 7 dias antes do plantio utilizando 2 L ha⁻¹ de paraquat. A cultivar de soja utilizada nos dois experimentos foi a Pionner 96Y90 RR, utilizando 20 plantas por metro.

A cultivar utilizada no estudo é tolerante ao glifosato e apresenta tolerância ao nematoide dos cistos raças 3 e 14. Seu hábito de crescimento é indeterminado e ela é tolerante ao acamamento. No dia do plantio da cultura da soja, os tratamentos com os herbicidas pré-emergentes foram aplicados imediatamente após a semeadura (Tabela 3). Os tratamentos Atrazina e Atrazina e S-metolacloro foram aplicados apenas na pré-emergência da cultura do sorgo. Esses tratamentos foram mantidos sem competição com plantas daninhas durante o cultivo da soja através da aplicação de glifosato ($1.2 \text{ L p.c. ha}^{-1}$). Todos os tratamentos foram aplicados com o auxílio de uma barra de aplicação de alumínio (3 m de faixa aplicada) com 6 pontas de pulverização, utilizando um cilindro costal de CO_2 devidamente calibrado para 40 PSI e velocidade de caminhamento de 1 m.s^{-1} . As pontas de pulverização utilizadas (TEEJET AIXR 110.015) foram selecionadas pela característica desejada de produção de gotas grossas através do sistema de indução de ar, ideal para este tipo de aplicação. Essas pontas foram montadas espaçadas 0,5 m e o volume de calda utilizado foi de 100 L ha^{-1} . As condições climáticas durante a aplicação dos herbicidas foram: Rio Verde SV (temperatura 28°C , umidade relativa 63% e velocidade do vento $2\text{-}4 \text{ km h}^{-1}$); SS (temperatura 30°C , umidade relativa 60% e velocidade do vento $3\text{-}5 \text{ km h}^{-1}$). Montividiu SV (temperatura 26°C , umidade relativa 65% e velocidade do vento $1\text{-}4 \text{ km h}^{-1}$); SS (temperatura 29°C , umidade relativa 61% e velocidade do vento $2\text{-}5 \text{ km h}^{-1}$). As condições climáticas no momento da aplicação e nas semanas subsequentes as aplicações dos herbicidas pré-emergentes não interferiram na performance de controle dos mesmos (Figura 1).

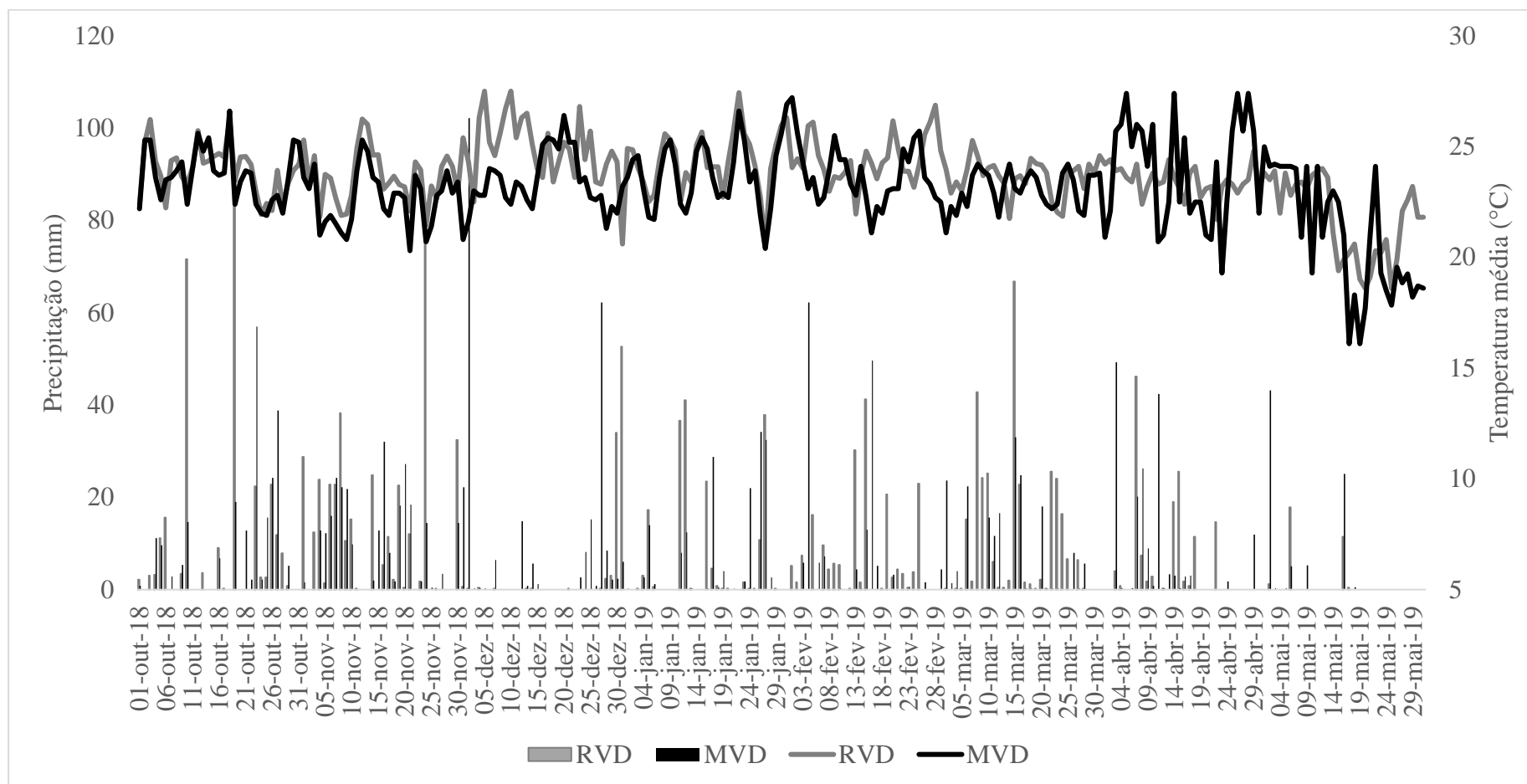


Figura 1. Dados climáticos diários obtidos durante a realização dos experimentos avaliando a performance dos herbicidas nas culturas da soja e do sorgo: precipitação (mm – gráfico de barras) e temperatura média (°C – gráfico de linhas) referentes aos ensaios de Rio Verde (RVD cinza) e Montividiu (MVD preto).

Tabela 1. Análise química e física do solo no experimento de solo arenoso, Rio Verde – GO, 2018/2019.

cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³				g dm ⁻³	
Ca	Mg	Al	H+Al	K	S	P	pH	M,O	
2,3	0,7	0	2,1	23	3,9	61,3	5,6	1,4	
mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³				Sat,Bases	
Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC	SB	V%	M%
3	23,5	35,2	2	5,5	0,3	5,2	3,1	58	0
%				Relações entre bases					
Areia	Silte	Argila	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC	
82	10	8	3,3	38,4	11,6	0,44	0,13	0,01	

Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Al = Alumínio; H = Hidrogênio; K = Potássio; S = Enxofre; P = Fósforo; M.O = Matéria Orgânica; Na = Sódio, Fe = Ferro; Mn = Manganês; Cu = Cobre; Zn = Zinco; B = Boro; CTC = Capacidade de troca catiônica; SB = Soma de bases; V% = Saturação por bases; M% Saturação por Alumínio. cmol_c dm⁻³ = centímol carga por decímetro cúbico; mg dm⁻³ = miligrama por decímetro cúbico; g dm⁻³ = grama por decímetro cúbico

Tabela 2. Análise química e física do solo no experimento de solo argiloso, Montividiu – GO, 2018/2019.

cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³				g dm ⁻³	
Ca	Mg	Al	H+Al	K	S	P	pH	M,O	
5,3	1,9	0	3,9	54	11,1	54	5,7	3,7	
mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³				Sat,Bases	
Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC	SB	V%	M%
1	44,7	13,4	0,7	2,7	0,6	11,3	7,4	66	0
%				Relações entre bases					
Areia	Silte	Argila	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC	
20	12	68	2,8	38,6	13,8	0,47	0,17	0,01	

Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Al = Alumínio; H = Hidrogênio; K = Potássio; S = Enxofre; P = Fósforo; M.O = Matéria Orgânica; Na = Sódio, Fe = Ferro; Mn = Manganês; Cu = Cobre; Zn = Zinco; B = Boro; CTC = Capacidade de troca catiônica; SB = Soma de bases; V% = Saturação por bases; M% Saturação por Alumínio. cmol_c dm⁻³ = centímol carga por decímetro cúbico; mg dm⁻³ = miligrama por decímetro cúbico; g dm⁻³ = grama por decímetro cúbico

Tabela 3. Herbicidas pré-emergentes utilizados nos experimentos da cultura da soja e do sorgo (ingrediente ativo, concentração da formulação comercial, dose utilizada e especificação sobre o momento em que a aplicação foi realizada).

Número do tratamento	Ingrediente Ativo (i.a.)	Concentração Formulação	Dose Utilizada	Momento da Aplicação
1	Diclosulam	840 g kg ⁻¹	35,3 g i.a. ha ⁻¹	Pré-emergência da soja
2	Clorimuron 20 g i.a. ha ⁻¹	250	20	Pré-emergência da soja
3	Sulfentrazona 200 g i.a. ha ⁻¹	500	200	Pré-emergência da soja
4	Flumioxazina 50 g i.a. ha ⁻¹	500	50	Pré-emergência da soja
5	S-metolacoloro 1728 g i.a. ha ⁻¹	960	1728	Pré-emergência da soja
6 ¹	Atrazina 1250 g i.a. ha ⁻¹	500	1250	Pré-emergência do sorgo
7 ¹	Atrazina S-metolacoloro	500 960	1250 576	Pré-emergência do sorgo
8	Testemunha capinada (TCAP)	-	-	Semanalmente ²
9 ³	Testemunha matocompetição (TMATO)	-	-	-

¹Os tratamentos 6 (Atrazina) e 7 (Atrazina e S-metolacoloro) foram aplicados apenas na pré-emergência da cultura do sorgo. Esses tratamentos foram mantidos sem competição com plantas daninhas durante o cultivo da soja através da aplicação de glifosato. ²A operação de capina foi realizada semanalmente no tratamento 8 durante o período da condução das culturas. ³O tratamento 9 foi mantido sem a realização do controle de plantas daninhas durante a condução das culturas.

Após a colheita da cultura da soja, nas mesmas áreas, em sistema de sucessão, foi realizado o plantio da cultura do sorgo. A variedade de sorgo utilizada nos plantios foi a Brevant 1G233 (12 plantas m^{-1}). Esta variedade é tolerante a antracnose, helmintosporiose, ferrugem do sorgo e a podridão de *Macrophomina phaseolina*. Esta variedade pertence a classificação sorgo granífero. Dois tratamentos adicionais foram aplicados no mesmo dia da sementeira do sorgo na safrinha, logo após o plantio da cultura (Tabela 3).

O espaçamento utilizado para o plantio da soja e do sorgo foi 0,5 m entrelinhas e os ensaios foram instalados nas seguintes datas: Rio Verde 02/10/2018 (SV) e 17/01/2019; Montividiu 03/10/2018 (SV) e 14/01/2019. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. A área experimental de cada parcela foi de 4 m (comprimento) x 4 m (largura), ou seja, 8 linhas da cultura, sendo a área aplicada com os herbicidas pré-emergentes 4 m (comprimento) x 3 m (largura). Uma faixa de 4 m (comprimento) x 1 m (largura) foi mantida em cada parcela para conferência sobre a eficácia de controle dos herbicidas. As culturas da soja e do sorgo foram cultivadas de acordo com as boas práticas agrônômicas para realização do programa de manejo de inseticidas e fungicidas necessários para a manutenção dos cultivos.

3.2.2. Avaliação de eficácia de controle das plantas daninhas

O controle de plantas daninhas foi avaliado aos 7, 14, 21 e 28 dias após o plantio (DAP) de cada cultura de acordo com a escala 0-100% (EWRC, 1964). Nesta escala a nota 0 significa ausência de controle e a nota 100% significa controle total das plantas daninhas.

3.2.3. Avaliação de produtividade

Na ocasião da colheita, estágio R8 (Fehr et al., 1971), foram determinados os seguintes atributos agrônômicos: massa de grãos, em gramas, através de amostra

correspondente a cada parcela (2 linhas centrais com 4 metros comprimento), em que a massa foi ajustada para umidade de 13%; e produtividade de grãos, por meio de pesagem dos grãos colhidos das plantas, na área útil da parcela, mediante correção da umidade para 13%, e os valores convertidos para kg ha^{-1} .

3.2.4. Análises estatísticas

A percentagem de controle foi normalizada utilizando a fórmula da raiz quadrada do arcoseno (Equação 1):

$$Y_t = \text{GRA}(\text{ASIN}(\text{SQRT}(Y/100)))$$

Em que:

GRA = Graus;

ASIN = equação do arcoseno;

SQRT = raiz quadrada;

Y = dado original e 100 número padronizado para conversão para percentagem.

Os dados foram submetidos a ANOVA e para comparação de médias utilizou-se Tukey ($\alpha = 0,05$). Para realização das análises estatísticas utilizou-se o software Minitab 18 (Minitab Statistical Software®).

3.3. Resultados e Discussão

Antes do início de cada avaliação de controle, nas parcelas do tratamento testemunha matocompetição foram realizadas avaliações quanto a fitossociologia da parcela. Constatou-se as seguintes espécies e densidades de plantas daninhas presentes nos ensaios: ensaio de Rio Verde safra de verão (SV) - *Commelina benghalensis* 9 plantas m^{-2} (COMBE), *Cenchrus echinatus* 13 plantas m^{-2} (CCHEC) e *Eleusine indica* 8 plantas m^{-2} (ELEIN). Para segunda safra (SS): 16 plantas m^{-2} (CCHEC) e 9 plantas m^{-2} (ELEIN). No ensaio de Montividiu: (SV) *Commelina benghalensis* (COMBE) 13 plantas m^{-2} ,

Cenchrus echinatus (CCHEC) 10 plantas m⁻² e *Eleusine indica* (ELEIN) 5 plantas m⁻². Para SS: CCHEC 14 plantas m⁻² e ELEIN 12 plantas m⁻².

Embora o plantio direto tenha possibilitado avanços agronômicos, principalmente no cultivo de grãos, esse sistema é extremamente dependente de herbicidas para realizar o controle das plantas daninhas (Nichols et al., 2015). Os herbicidas são moléculas químicas e quaisquer fatores que atuem sobre esta molécula química podem afetar sobremaneira o desempenho desses produtos fitossanitários. Os fatores que podem afetar a dinâmica dos herbicidas nos ambientes agrícolas podem ser resumidos como a interceptação do próprio herbicida pelo dossel de culturas/plantas daninhas (Chauhan et al., 2006), perdas por volatilidade (Bish et al., 2019), fotodecomposição (Buerge et al., 2019) ou degradação microbiana no solo (Maheswari e Ramesh, 2019). A quantidade de chuvas ou a irrigação é também algo decisivo para que a performance dos herbicidas seja satisfatória, embora alguns herbicidas não tenham extrema dependência de água para exercerem o efeito herbicida, ou seja, causar a morte das plantas daninhas. Tratando-se de herbicidas pré-emergentes, cujo objetivo é a deposição no solo, pode-se considerar ainda a tecnologia de aplicação utilizada e os tipos de solos agrícolas que está trabalhando. Os pesquisadores Chauhan et al (2006) estudaram a quantidade de herbicidas que efetivamente atingiu o solo após a aplicação em sistemas de plantio direto e verificaram que entre 15% e 80% do total do herbicida aplicado realmente atingiu o solo, sendo o restante interceptado pela palhada. Esse conjunto de fatores atua de modo integrado também na interface com o tipo de solo. Neste trabalho, a ocorrência de precipitações, a presença de palhada e as condições de temperatura não influenciaram a eficácia dos herbicidas estudados no controle das plantas daninhas.

Todos os herbicidas pré-emergentes controlaram eficientemente as plantas daninhas na cultura da soja até os 28 DAP (Tabela 4). Para a espécie COMBE, no solo arenoso, todos os herbicidas demonstraram controle similar ao tratamento testemunha capinada (Tabela 4).

Todos os tratamentos apresentaram controle igual ou superior a 88% para COMBE. Esta é uma espécie decumbente cuja arquitetura foliar dificulta o manejo pós-emergente. Diversos herbicidas pós-emergentes utilizados na cultura da soja apresentam dificuldade de controle por causa da estrutura prostrada e seu rápido rebrote após a aplicação (Takano et al., 2013). Por isto, opções eficientes de herbicidas pré-emergentes facilitam o manejo de plantas daninhas na cultura. No experimento em solo argiloso, o controle proporcionado para COMBE pelos tratamentos s-metolaclopro (97,3%),

sulfentrazone (97%), diclosulam (93,8%) e flumioxazina (89,3%) foi semelhante (Tabela 4). A manutenção do controle de plantas daninhas até os 28 DAP reforçou os benefícios promovidos pelos pré-emergentes, que reduziram a competição entre as plantas daninhas e a cultura da soja, evitando assim a produção de propágulos e o reabastecimento do banco de sementes durante o ciclo de cultivo de verão. Este prazo de 28 dias pode ser muito eficiente para evitar a matocompetição pelo rápido fechamento do dossel da cultura, em especial para cultivares que sejam de ciclo precoce. Neste experimento a soja se encontrava no estágio V6 aos 42 dias após o plantio (DAP) quando ocorreu o fechamento das entrelinhas. Os pesquisadores Nonemacher et al. (2017), estudando a espécie COMBE e trabalhando com os herbicidas diclosulam, flumioxazina e s-metolacoloro em doses semelhantes as utilizadas neste trabalho, também obtiveram sucesso no controle desta planta daninha na cultura da soja.

Aos 28 DAE para CCHEC, os melhores tratamentos no solo arenoso, foram diclosulam (93%), s-metolacoloro (92,8%), sulfentrazone (91%) e clorimuron (82,3%) (Tabela 4). No solo argiloso, s-metolacoloro promoveu 94,8% e diclosulam 90,3% de controle para CCHEC, ficando apenas atrás da testemunha capinada (Tabela 4). Entretanto, vale ressaltar que a performance destes herbicidas depende muito de cada área agrícola e das espécies daninhas presentes nesta área. Exemplificando, para CCHEC, Constantin et al. (2007) também observaram controle de alguns destes herbicidas pré-emergentes para esta espécie infestante. Para ELEIN no solo arenoso, todos os tratamentos com exceção da testemunha capinada apresentaram performance de controle similar: s-metolacoloro promoveu 92,8%, diclosulam 92%, sulfentrazone 88,8%, clorimuron 82,8% e flumioxazina 80,8%. No solo argiloso, s-metolacoloro promoveu a melhor performance 96% de controle aos 28 DAP. No experimento realizado no solo argiloso, aos 14 DAP a performance de sulfentrazone e diclosulam para o controle de ELEIN foi semelhante 99% e 98,5% respectivamente. No experimento realizado no solo arenoso também foi verificado performance similar entre sulfentrazone e diclosulam para o controle de ELEIN (99% e 98,8% respectivamente). Nos trabalhos de Minozzi et al. (2017) entretanto, diclosulam quando utilizado a 25,2 e 35 g i.a. ha⁻¹ foi mais eficiente que sulfentrazone (150 e 200 g i.a. ha⁻¹) aos 14 DAP na cultura da soja.

Tabela 4. Controle de plantas daninhas (% Visual) para *Commelina benghalensis* (COMBE), *Cenchrus echinatus* (CCHC) e *Eleusine indica* (ELEIN) aos 7, 14, 21 e 28 dias após o plantio (DAP) da soja – Rio Verde (RVD) e Montividiu (MVD). TCAP = testemunha capinada.

Tratamentos	COMBE				RVD CCHC				ELEIN			
	7DAP	14DAP	21DAP	28DAP	7DAP	14DAP	21DAP	28DAP	7DAP	14DAP	21DAP	28DAP
Diclosulam	98,3 ¹ ±1,5 b ²	98,8±0,5 ³ ab	98,3±1,0 ab	97,3±1,7 ab	98,8±0,5 b	98,3±0,5 b	96,8±2,5 b	93,0±4,7 b	99 b	98,8±0,5 b	97,5±1,7 b	92,0±3,9 b
Clorimuron	98,3±1,0 b	98,0±0,8 b	95,5±0,6 b	89,5±7,9 b	98,8±0,5 b	97,8±1,3 b	94,5±3,7 b	82,3±6,8 bc	99 b	98,0±0,8 b	95,5±3,7 b	82,8±8,0 b
Sulfentrazone	98,8±0,5 b	97,5±3,0 b	98,5±0,6 ab	97,5±1,0 ab	98,8±0,5 b	98,3±0,5 b	97,3±0,5 b	91,0±3,6 bc	99 b	99 b	97,3±1,7 b	88,8±4,8 b
Flumioxazina	98,8±0,5 b	98,0±2,0 b	95,8±5,2 b	88,0±11 b	98,8±0,5 b	97,0±1,4 b	92,5±5,3 b	79,0±9,6 c	99 b	98,3±1,0 b	95,8±3,9 b	80,8±10,3 b
S-metolacoloro	98,8±1,5 b	97,8±1,9 b	96,5±2,4 b	95,8±2,2 ab	98,8±0,6 b	97,8±0,5 b	97,0±0,8 b	92,8±4,6 b	98,8±0,5 b	98,0±1,4 b	97,3±1,5 b	92,8±2,1 b
TCAP	100,0 a	100,0 a	100,0 a	100,0 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
F	7.094	4.263	4.767	4.331	19.179	24.465	10.287	15.236	97.030	13.019	5.869	16.375
P	1,3 x 10 ⁻³	1,3 x 10 ⁻²	8,3 x 10 ⁻³	1,2 x 10 ⁻²	4,9 x 10 ⁻⁶	1,0 x 10 ⁻⁶	2,0 x 10 ⁻⁴	2,0 x 10 ⁻⁵	7,1 x 10 ⁻¹¹	5,2 x 10 ⁻⁵	3,8 x 10 ⁻³	1,3 x 10 ⁻⁵

Tratamentos	COMBE				MVD CCHC				ELEIN			
	7DAP	14DAP	21DAP	28DAP	7DAP	14DAP	21DAP	28DAP	7DAP	14DAP	21DAP	28DAP
Diclosulam	98,3±1,5 b	91,0±8,0 a	97,3±1,5 bc	93,8±6,0 bc	98,3±1,0 b	97,5±0,6 b	95,8±1,5 bc	90,3±2,1 bc	98,8±0,5 b	98,5±0,6 b	95,8±2,2 bc	86,0±3,6 c
Clorimuron	97,8±1,3 b	95,3±3,9 a	93,0±5,0 c	88,3±6,7 c	99 b	96,5±1,7 b	92,5±3,3 c	84,5±6,1 c	99 b	96,8±2,6 b	93,3±2,4 c	87,8±3,8 c
Sulfentrazone	98,3±1,5 b	99,0 a	99,0 ab	97,0±1,4 bc	98,8±0,5 b	96,3±2,2 b	93,3±2,4 c	87,3±3,0 c	99 b	97,0±1,8 b	94,0±1,2 c	86,5±4,4 c
Flumioxazina	98,5±0,6 b	97,3±1,0 a	95,3±1,7 bc	89,3±7,2 bc	98,8±0,5 b	95,8±2,2 b	93,8±3,0 c	87,0±2,4 c	98,8±0,5 b	97,8±0,5 b	94,3±3,0 c	89,3±4,8 c
S-metolacoloro	99,0 b	98,8±0,5 a	98,5±1,0 ab	97,3±1,0 ab	99 b	98,8±0,5 b	98,5±0,6 b	94,8±3,3 b	99 b	99 b	98,5±0,6 b	96,0±2,2 b
TCAP	100,0 a	100,0 a	100,0 a	100,0 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
F	15.394	-	11.667	11.555	27.023	13.787	23.145	36.036	63.419	10.015	23.171	32.141
P	1,9 x 10 ⁻⁵	-	9,8 x 10 ⁻⁵	1,0 x 10 ⁻⁴	5,3 x 10 ⁻⁷	3,7 x 10 ⁻⁵	1,5 x 10 ⁻⁶	7,7 x 10 ⁻⁸	1,5 x 10 ⁻⁹	2,2 x 10 ⁻⁴	1,5 x 10 ⁻⁶	1,7 x 10 ⁻⁷

¹Resultados médios das 4 repetições analisadas. ²Médias seguidas da mesma letra para o controle não diferem pelo teste de Tukey (P≥0,05). ³Desvio padrão. F = valor teste F; P = valor da diferença estatística. RVD = experimento conduzido em solo arenoso; MVD = experimento conduzido em solo argiloso.

Avaliando o Koc dos herbicidas, coeficiente de partição de carbono orgânico água, uma relação entre o coeficiente de adsorção do herbicida ao solo pela taxa de carbono orgânico do solo, verificou-se no *Herbicide Handbook* que os herbicidas diclosulam, clorimuron, flumioxazin, sulfentrazone, s-metolacloprid e atrazina apresentam valores de Koc respectivamente de 90 ml g⁻¹, 110 ml g⁻¹, não disponível, 43 ml g⁻¹, 200 ml g⁻¹ e 100 ml g⁻¹ (Senseman, 2007). Quanto maior o valor do Koc maior a tendência de um determinado herbicida se fixar na fração organomineral do solo. Por outro lado quanto menor, o Koc, menor a tendência do herbicida se fixar na fração organomineral do solo. Essa é uma das explicações para a excelente performance de controle do sulfentrazone mesmo no solo argiloso. Outra importante razão para o sucesso obtido no controle de plantas daninhas na cultura da soja foi que as doses utilizadas pelos produtores do sudoeste goiano foram similares as utilizadas neste trabalho. Além disto, utilizando herbicidas pré-emergentes os agricultores conseguem muitas vezes reduzir a aplicação de glifosato, que pode ser compreendido como excelente ferramenta para o manejo de resistência. Resultados similares utilizando herbicidas pré-emergentes foram encontrados pelos pesquisadores Krenchinski et al. (2019) para as espécies de *Conyza*, Santos et al. (2016) também utilizou diclosulam para as espécies COMBE, *Chamaesyce hirta*, *Urochloa ruziziensis*, *Digitaria horizontalis* e *Conyza canadenses*, corroborando com os dados obtidos neste trabalho. Nestes estudos a importância do uso dos herbicidas pré-emergentes reforça os conceitos de proteção da produtividade da cultura da soja através da diminuição da matocompetição.

Os resultados de produtividade da cultura da soja, reforçaram a dificuldade de produção de cultivos em solos mais fracos do ponto de vista de nutrientes e menores teores de argila. No solo arenoso as produtividades foram menores se comparadas aos rendimentos obtidos no solo argiloso (diclosulam 1835 kg ha⁻¹; clorimuron 1670 kg ha⁻¹; sulfentrazone 1617 kg ha⁻¹; flumioxazina 1793 kg ha⁻¹; s-metolacloprid 1580 kg ha⁻¹; testemunha capinada 1267 kg ha⁻¹ e testemunha matocompetição 833 kg ha⁻¹), que as encontradas no experimento conduzido em solo argiloso (Tabela 5). Ainda sobre os resultados de produtividade da soja no solo arenoso, todos os herbicidas pré-emergentes promoveram resultados similares aos encontrados no tratamento testemunha capinada (Tabela 5). Neste experimento, não foram observados ganhos de produtividade ao comparar os tratamentos com herbicidas pré-emergentes versus tratamento testemunha matocompetição (Tabela 5). Isto ocorreu, provavelmente porque a competição com plantas daninhas não afetou a produção de soja, uma vez que a cultura tem grande

capacidade de competir. Verificou-se neste experimento que as plantas de soja cresceram sobre as plantas daninhas, corroborando essa afirmação. É relevante verificar que os herbicidas avaliados não promoveram a fitotoxicidade corroborando com os dados dos pesquisadores Osipe et al. (2014). No solo argiloso, todos os herbicidas pré-emergentes proporcionaram produtividade similar e não diferente da encontrada no tratamento testemunha capinada (Tabela 5).

Todos os herbicidas pré-emergentes utilizados na cultura da soja continuaram promovendo benefícios ao sistema, mesmo após o efeito residual terminar, sem causar fitointoxicação na cultura subsequente. Por isso, foi verificada a redução na infestação de plantas daninhas na cultura do sorgo (Tabela 6). As plantas de soja protegidas da matocompetição puderam crescer rapidamente e assim promover o rápido fechamento das entrelinhas, evitando a entrada de luz solar, que resulta na inibição da germinação de espécies fotoblásticas positivas. Essas espécies geralmente possuem sementes pequenas e são muito dependentes da luz para iniciar seu processo de germinação, reduzindo assim o número de sementes viáveis de plantas daninhas no banco de sementes que poderiam competir com o sorgo.

No solo arenoso para CCHEC aos 28 DAP verificou-se que a sulfentrazone foi melhor que atrazina, mesmo considerando o intervalo da aplicação entre de mais de 100 dias entre ambos e o herbicida atrazina ter sido aplicado na pré-emergência do sorgo (Tabela 6). Isso confirma as observações de campo sobre resultados de melhor produtividade quando produtores do sudoeste goiano utilizam herbicidas pré-emergentes na cultura da soja e depois realizam o plantio do sorgo (dados não publicados). Para o capim-pé-de-galinha (ELEIN) durante o mesmo período de avaliação, sulfentrazone, diclosulam e clorimuron apresentaram melhor controle que atrazina, valendo também as mesmas observações sobre a época de aplicação destes herbicidas, demonstrando que o planejamento e posicionamento de herbicidas nos programas de sucessão de culturas pode ser importante ferramenta para controle de plantas daninhas e melhor manejo de plantas daninhas resistentes. (Tabela 6).

Tabela 5. Produtividade das culturas da soja e do sorgo (kg ha^{-1}) nos experimentos de Rio Verde (RVD) e Montividiu (MVD).

Tratamentos	Soja		Sorgo	
	RVD	MVD	RVD	MVD
Diclosulam	2795.9 ¹ ±547,4 a ²	4631.3±152,2 ³ a	3253.7±701,5 ab	3520.1±214,4 ab
Clorimuron	3355.4±449,9 a	5025.4±145,9 a	3294.3±289,5 ab	3254.1±361,2 ab
Sulfentrazone	3028.5±392,6 a	4645.7±13,3 a	2780.0±613,0 abc	3269.3±346,5 ab
Flumioxazina	3218.3±537,9 a	5011.6±351,8 a	2837.1±685,4 abc	3317.1±927,5 ab
S-metolacoloro	3009.9±426,5 a	4590.3±305,8 a	2631.5±200,4 bc	2677.7±405,6 bc
Atrazina ⁴	-	-	2776.4±316,1 abc	2744.7±245,3 abc
Atrazina + S-metolacoloro ⁴	-	-	2477.0±197,4 bc	2493.4±201,9 bc
Testemunha capinada (TCAP)	3324.2±637,3 a	4591.6±293,4 a	3478.9±418,7 ab	3922.6±704,9 a
Testemunha matocompetição (TMATO)	2713.8±628,7 a	3546.8±361,7 b	1950.8±261,7 c	1802.1±294,6 c
F	-	6.791	5.149	6.716
P	-	7,0 x 10 ⁻⁴	8,0 x 10 ⁻⁴	1,0 x 10 ⁻⁴

¹Resultados médios das 4 repetições analisadas. ²Médias seguidas da mesma letra para o controle não diferem pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). ³Desvio padrão. F = valor teste F; P = valor da diferença estatística. ⁴Os tratamentos Atrazina e Atrazina + S-metolacoloro foram aplicados apenas na pré-emergência da cultura do sorgo. Durante o cultivo da soja esses tratamentos foram mantidos sem matocompetição através da aplicação de glifosato. RVD = experimento conduzido em solo arenoso; MVD = experimento conduzido em solo argiloso. Cada ensaio e cultura foram analisados separadamente.

No solo Argiloso, que possui maior quantidade de partículas com cargas negativas, sendo por isto considerado mais reativo, os melhores níveis de controle encontrados para as espécies CCHEC e ELEIN ficaram restritos até os 14 DAP (Tabela 6). Neste ambiente, todos os herbicidas aplicados na pré-emergência da cultura da soja promoveram controle similar ao encontrado após a aplicação dos tratamentos com atrazina e atrazina + s-metolaclopro aplicados na pré-emergência do sorgo, exceto o tratamento com sulfentrazone para ELEIN (Tabela 6). Esses resultados reforçam que o controle de plantas daninhas na cultura do sorgo é uma operação muito difícil, em especial para gramíneas. Métodos alternativos de controle devem sempre ser utilizados junto com herbicidas como ferramentas do manejo integrado de plantas daninhas a fim de maximizar as vantagens da cultura frente as plantas daninhas (Cabral et al., 2013). Trezzi et al. (2008) avaliou as respostas de herbicidas, híbridos de milho, diferentes espaçamentos entrelinhas e encontrou diversidade de interação entre esses fatores, principalmente combinando práticas que favoreçam a cultura. Essa pode ser uma importante pesquisa de complementação a este trabalho, uma vez que estudar fatores que favoreçam a cultura do sorgo no sistema de cultivo de safrinha, em sucessão à cultura da soja, associado ao uso de herbicidas pré-emergentes é economicamente e tecnicamente o caminho mais viável para boa condução desses dois cultivos, evitando problemas de resistência de plantas daninhas e facilitando o manejo e controle das mesmas.

Outro aspecto importante é a restrição de chuvas que ocorre na safrinha. Neste período os recursos do ambiente como a água são mais limitantes e a competição pode ser ainda mais severa dependendo da infestação de plantas daninhas (Martins et al., 2018; Alvarenga et al., 2010). Assim, muito mais que persistência no ambiente o efeito de controle proposto no manejo integrado em sistema de sucessão é utilizar o planejamento, aplicando herbicidas no melhor momento possível, neste sistema e na cultura em que maiores opções estejam disponíveis. No sistema sucessão soja-sorgo pela diversidade de herbicidas disponíveis e pelo cultivo da soja ser na safra de verão (momento mais favorável para as plantas daninhas produzirem sementes) o efeito da utilização dos herbicidas foi extremamente positivo, obtendo êxito no controle de plantas daninhas nos momentos em que as culturas mais precisam de proteção contra a matocompetição.

Em algumas condições específicas, alguns herbicidas podem permanecer no solo afetando a cultura subsequente (*carryover*) (Dan et al., 2012). Por isso, estudos como este são fundamentais para eliminar dúvidas sobre os herbicidas pré-emergentes.

Tabela 6. Controle de plantas daninhas (% Visual) para *Cenchrus echinatus* (CCHEC) e *Eleusine indica* (ELEIN) aos 7, 14, 21 e 28 dias após o plantio (DAP) do sorgo – Rio Verde (RVD) e Montividiu (MVD). TCAP = testemunha capinada.

Tratamentos	RVD				ELEIN			
	7DAP	14DAP	21DAP	28DAP	7DAP	14DAP	21DAP	28DAP
Diclosulam	99 ¹ b ²	98.8±0.5 ³ ab	95.5±1.9 bc	92.3±3.0 b	98.8±0.5 b	98.8±0.5 b	96.0±2.0 bc	94.0±1.2 bc
Clorimuron	98.5±1.3 b	97.8±2.1 b	94.8±3.9 bc	91.5±7.2 b	99.0±0.8 b	98.5±1.0 b	95.8±2.2 bc	92.5±6.1 bcd
Sulfentrazone	98.8±0.5 b	98.5±1.0 b	97.0±1.6 b	93.8±2.5 b	98.8±0.5 b	98.8±0.5 b	97.3±0.5 b	96.5±1.0 b
Flumioxazina	98.5±1.0 b	98.0±2.0 b	91.3±6.1 bcd	87.5±6.6 b	99 b	99 b	91.3±6.1 bcd	88.0±6.0 bcd
S-metolaclo-ro	99 b	98.3±0.5 b	89.0±4.2 cd	87.0±5.4 b	99 b	99 b	90.0±5.1 cd	87.8±5.3 cd
Atrazina	98.8±0.5 b	97.3±1.7 b	86.0±2.4 d	82.8±3.3 b	99 b	98.3±1.0 b	85.8±3.0 d	84.3±2.5 d
Atrazina + S-metolaclo-ro	98.5±0.6 b	96.0±2.4 b	91.5±1.7 bcd	88.3±3.9 b	98.5±0.5 b	98.3±0.5 b	95.0±1.6 bc	91.5±1.7 bcd
TCAP	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
F	5.842	5.006	13.556	9.263	8.647	7.532	15.148	14.678
P	7,3 x 10 ⁴	1,8 x 10 ³	1,6 x 10 ⁶	3,1 x 10 ⁵	5,2 x 10 ⁵	1,3 x 10 ⁴	6,4 x 10 ⁷	8,4 x 10 ⁷

Tratamentos	MVD				ELEIN			
	7DAP	14DAP	21DAP	28DAP	7DAP	14DAP	21DAP	28DAP
Diclosulam	98.5±1.0 ab	97.0±1.4 b	80.8±11.1 b	75.0±12.2 b	98.8±2.0 b	97.0±2.7 b	87.3±8.1 b	82.8±8.7 bc
Clorimuron	98.5±1.0 ab	97.5±3.0 ab	84.8±2.4 b	77.8±3.3 b	98.8±0.5 ab	97.5±1.7 b	89.5±3.3 b	85.3±5.9 bc
Sulfentrazone	98.3±1.0 b	98.0±1.2 ab	88.3±5.4 b	83.5±5.4 b	98.5±1.0 b	98 ab	94.3±4.3 b	90.3±4.6 b
Flumioxazina	96.8±2.1 b	94.3±3.8 bc	83.5±5.3 b	75.0±10.8 b	97.0±1.6 b	94.3±4.6 bc	89.3±2.5 b	83.3±5.4 bc
S-metolaclo-ro	95.5±2.5 b	92.8±1.8 bc	83.5±9.9 b	77.8±10.7 b	96.5±1.9 b	93.8±4.6 bc	86.3±7.9 b	82.0±6.8 bc
Atrazina	94.5±2.5 b	88.5±5.3 c	76.0±11.2 b	68.3±10.9 b	96.0±2.4 b	88.3±4.7 c	82.0±8.7 b	75.3±6.4 c
Atrazina + S-metolaclo-ro	97.8±1.9 b	95.5±3.7 bc	85.0±4.1 b	81.5±4.4 b	98.5±1.0 b	96.5±2.4 b	89.5±4.2 b	86.8±2.5 bc
TCAP	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
F	6.473	9.606	14.508	7.434	6.474	9.719	8.962	6.638
P	3,8 x 10 ⁴	2,4 x 10 ⁵	9,2 x 10 ⁷	2 x 10 ⁴	3,8 x 10 ⁴	2,2 x 10 ⁵	4,0 x 10 ⁵	3,0 x 10 ⁴

¹Resultados médios das 4 repetições analisadas. ²Médias seguidas da mesma letra para o controle não diferem pelo teste de Tukey (P≥0,05). ³Desvio padrão. F = valor teste F ; P = valor da diferença estatística. RVD = experimento conduzido em solo arenoso; MVD = experimento conduzido em solo argiloso.

A partir dos resultados de produtividade da cultura do sorgo no experimento em solo arenoso, verificou-se que a produtividade desta cultura foi protegida pelos tratamentos com herbicidas diclosulam e chlorimuron aplicados na pré-emergência da cultura da soja, sendo estes resultados comparáveis ao tratamento testemunha capinada (Tabela 6). No solo argiloso, os herbicidas diclosulam (3520 kg ha^{-1}), clorimuron (3254 kg ha^{-1}), sulfentrazone (3269 kg ha^{-1}) e flumioxazina (3317 kg ha^{-1}) também aplicados na pré-emergência da soja protegeram a produtividade da cultura do sorgo, com resultados semelhantes aos obtidos no tratamento testemunha capinada (3922 kg ha^{-1}) (Tabela 6). Esses resultados evidenciam que estas múltiplas combinações da sucessão de cultivos e os herbicidas pré-emergentes podem ser utilizados, resultando em benefícios para ambas culturas. Foram adicionados a estes resultados, os efeitos positivos do manejo integrado de plantas daninhas, visualizados na colheita das parcelas experimentais. Isso reforçou ainda mais o conceito de se evitar a matocompetição no sistema, verificou-se maior facilidade de colheita nas parcelas em que os herbicidas diclosulam, clorimuron, sulfentrazone e s-metolaclopro foram utilizados. Os efeitos indiretos como prejuízos a colheita mecanizada com certeza não seriam notados após a utilização desses herbicidas, diferente do tratamento matocompetição que a colheita foi extremamente dificultosa.

Os tipos de solo, as interações entre os fatores ambientais e os atributos físico-químicos dos herbicidas sem dúvidas continuarão trazendo desafios aos sistemas produtivos. No cenário futuro de mudanças climáticas, escassez de água e migração da agricultura para novas áreas antes ocupadas por pastagens degradadas há muitos desafios como apresentado pelos pesquisadores Jugulam et al. (2018) e Varanasi et al. (2016). A dependência do herbicida glifosato associada a maior chance das plantas daninhas detoxificarem os herbicidas por causa da maior disponibilidade de CO_2 , nos sítios fotossintéticos são apresentados como fatores impactantes para herbicidas atualmente aplicados na pós-emergência das culturas como solução única. Caberá ao técnico de cada região produtiva do Brasil, estudar profundamente sobre os herbicidas, sobre sua performance e aplicar a sua experiência pessoal para customizar aplicações, sobretudo no cenário de aplicações associadas aos recursos da agricultura digital. Será através do conhecimento, dos limites técnico de cada herbicida em doses adequadas e da aplicação de tecnologia que poderá solucionar os problemas potenciais de carryover.

Por fim, verificando que nos sistemas de produção soja-sorgo a produtividade das culturas pode ser mantida utilizando os herbicidas com planejamento. Os tratamentos pré-emergentes aplicados antes do plantio da cultura do sorgo reforçam que nem sempre o

uso isolado da atrazina é eficaz no controle de plantas daninhas na cultura do sorgo (Tabela 5 e 6). Embora a atrazina seja um herbicida necessário nesse sistema para controlar a soja, ele não proporcionou o controle esperado, principalmente para gramíneas. A adição de s-metolacoloro que alguns produtores têm associado a atrazina pode trazer problemas na produtividade do sorgo. Vale ressaltar que o s-metolacoloro é um herbicida não registrado para a cultura do sorgo. Em alguns casos, quando utilizado na pré-emergência da cultura do sorgo, pode causar sintomas de fitotoxicidade na cultura. Nesse trabalho essa característica não foi observada. Entretanto a produtividade do sorgo, embora não diferente estatisticamente foi 1001,9 kg menor no experimento do solo arenoso e 1429,2 kg menor no solo argiloso comparando-se o tratamento atrazina e s-metolacoloro ao tratamento testemunha capinada (Tabela 6). Assim, sugere-se que seja praticado o uso antecipado de herbicidas para cultivares de sorgo que tenham maior susceptibilidade, ou seja, que se efetue a aplicação na pré-emergência da soja dentro desse sistema de sucessão.

3.4. Conclusões

O cultivo em sucessão das culturas da soja e do sorgo pode ser beneficiado pelo uso de herbicidas pré-emergentes. Esses herbicidas promoveram benefícios para ambas culturas evitando a competição por recursos entre elas e as plantas daninhas.

Todos os herbicidas pré-emergentes testados apresentaram controle adequado para as plantas daninhas avaliadas na cultura da soja, impactando positivamente o rendimento da cultura no solo argiloso.

Na cultura do sorgo os herbicidas utilizados na pré-emergência da soja também proporcionaram benefícios reduzindo a competição entre as plantas daninhas e a cultura nos dois tipos de solo estudados.

3.5. Agradecimentos

Este estudo foi realizado com o apoio do Instituto Federal de Goiano, Campus Rio Verde.

3.6. Referências Bibliográficas

ALVARENGA, R.C.; NOVOTNY, E.H.; PEREIRA FILHO, I.; SANTANA, D.P.; PEREIRA, F.T.F.; HERNANI, L.C. **Cultivo do milho**. CRUZ, J.C.C. (Ed.). Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2010.

BISH, M.D.; FARRELL, S.T.; LERCH, R.N.; BRADLEY, K.W. Dicamba losses to air after applications to soybean under stable and nonstable atmospheric conditions. **Journal of Environmental Quality**, v. 48, n. 6, p. 1675-1682. 2019.

BUERGE, I.J.; KASTEEL, R.; BÄCHLI, A.; POIGER, T. Behavior of the chiral herbicide Imazamox in soils: enantiomer composition differentiates between biodegradation and photodegradation. **Environmental science & technology**, v. 53, n.10, p. 5733-5740. 2019.

CABRAL, P.H.R.; JAKELAITIS, A.; CARDOSO, I.S.; ARAÚJO, V.T.; PEDRINI, E.C.F. Interferência de plantas daninhas na cultura do sorgo cultivado em safrinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, p. 308-314. 2013.

CÂNDIDO, M.J.D., OBEID, J.A., PEREIRA, O.G., CECON, P.R., QUEIROZ, A.D., PAULINO, M.F., GONTIJO NETO, M.M. Valor nutritivo de silagens de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sob doses crescentes de adubação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 1, p. 20-29, 2002.

CHAUHAN, B.S.; GILL, G.S.; PRESTON, C. Tillage system effects on weed ecology, herbicide activity and persistence: a review. **Animal Production Science**, v. 46, n. 12, p. 1557-1570. 2006.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR.; R.S., CAVALIERI, S.D.; ARANTES, J.G.Z.; ALONSO, D.G.; ROSO, A.C. Estimativa do período que antecede a interferência de plantas daninhas na cultura da soja, Var. Coodetec 202, por meio de testemunhas duplas. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 231-237. 2007.

DAN, H.A.; DE MORAES DAN, L.G.; DE LEMOS BARROSO, A.L.; DE OLIVEIRA NETO, A.M.; GUERRA, N. Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 86-91. 2012.

Empresa Brasileira de Agricultura e Pecuária. EMBRAPA, 2018. Visão 2030 : o futuro da agricultura brasileira. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

European weed research council. EWRC. Report of the 3rd and 4rd meetings of EWRC. Committees of methods in weed research. **Weed Research**, v. 4, p. 88.1964.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine Max* (L.) Merrill 1. **Crop science**, v. 11, n.6, p. 929-931. 1971.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. 2019. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Estatística da Produção Agrícola. 07/2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-SUL>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

JAKELAITIS, A.; SOARES, M.P.; CARDOSO, I.S.B. Banco de sementes de plantas daninhas em solos cultivados com culturas e pastagens. **Global science and technology**. v. 7, n. 2, p. 63-73. 2014.

JUGULAM, M.; VARANASI, A.K.; VARANASI, V.K.; PRASAD, P.V.V. Climate Change Influence on Herbicide Efficacy and Weed Management. In: **Food Security and Climate Change**. YADAV, S.S.; REDDEN, R.J.; HATFIELD, J.L.; EBERT, A.W.; HUNTER, D. (Eds.) New Jersey: John Willey and Sons. p. 433-448. 2018.

KRENCHINSKI, F.H.; PEREIRA, V.G.C.; ZOBIOLE, L.H.S.; ALBRECHT, A.J.P.; ALBRECHT, L.P.; PETERSON, M. Halauxifen-Methyl + Diclosulam: New Option to Control *Conyza* spp. Prior Soybean Sowing. **Planta Daninha**, v. 37., p. 1-10. 2019.

MAHESWARI, S.T., RAMESH, A. Fate and Persistence of Herbicide Residues in India. Herbicide Residue Research in India. In: **Environmental Chemistry for a Sustainable World**. v.12. LICHTFOUSE, E.; SCHWARZBAUER, J.; ROBERT, D. (eds.) Singapore: Springer, 2019. p. 1-27.

MARTINS, D.A.; TAVARES, C.J.; JAKELAITIS, A.; SOUSA, J.B.; DA SILVEIRA MAIA, V.M.; DE SOUSA, R.J.; ARAÚJO, A.C.F. Manejo do Consórcio entre milho e *Urochloa brizantha* com subdoses de tembotrione. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2, p. 5528. 2018.

MINOZZI, G.B.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; MONQUERO, P.A.; ZOBIOLE, L.H.S.; PEREIRA, G.R.; DUCK, L. Controle em pré semeadura da cultura de soja de algodão voluntário tolerante ao glyphosate e amônio glufosinate e de Eleusine indica. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 3, p. 183-191. 2017.

MONQUERO, P.A. **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. Rima. São Carlos, SP. 400 p. 2014.

MONQUERO, P.A.; AMARAL, L.; BINHA, D.P.; SILVA, A.C.; SILVA, P.V. Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação. **Planta daninha**, v. 26, n. 2, p. 403-409. 2008.

NICHOLS, V.; VERHULST, N.; COX, R.; GOVAERTS, B. Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. **Field Crops Research**, v. 183, p. 56-68. 2015.

NONEMACHER, F.; GALON, L.; SANTIN, C. O.; FORTE, C. T.; FIABANE, R. C., WINTER, F. L.; PERIN, R. R. K. Associação de herbicidas aplicados para o controle de plantas daninhas em soja resistente ao glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 2, p. 142-151. 2017.

OSIPE, J.B.; DE OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D.F.; RIOS, F.A., FRANCHINI, L.H.M.; RAIMONDI, M.A. Seletividade de aplicações combinadas de herbicidas em pré e pós-emergência para a soja tolerante ao glyphosate. **Bioscience Journal**, v. 30, n.3, p. 623-631. 2014.

PACHECO, L.P.; PETTER, F.A.; SOARES, L.S.S.; DA SILVA, R.F.; OLIVEIRA, J.B.S. Sistemas de produção no controle de plantas daninhas em culturas anuais no cerrado piauiense. **Revista ciência agrônômica**, v. 47, n. 3, p. 500-508. 2016.

PACHECO, L.P.; SÃO-MIGUEL, A.S.D.C.; DA SILVA, R.G.; SOUZA, E.D.; PETTER, F.A.; KAPPES, C. 2017. Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 52, n. 8, p. 582-591. 2017.

SANTANA-GOMES, S.M.S M.; DIAS-ARIEIRA, C.R.; BIELA, F.; CARDOSO, M.R.; FONTANA, L.F.; PUERARI, H.H. Sucessão de culturas no manejo de *Pratylenchus brachyurus* em soja. **Nematropica**, v. 44, p. 200-206. 2014.

SANTOS, T.T.M. dos; TIMOSSI, P.C.; LIMA, S. F.; GONÇALVES, D.C.; SANTANA, M.V. Associação dos herbicidas Diclosulam e Glyphosate na dessecação visando o controle residual de plantas daninhas na cultura da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 2, p. 138-147. 2016.

SENSEMAN, S.A. **Herbicide handbook**. 9th Edition, Champaign: Weed Science Society of America, 2007. 458 p.

SODRÉ FILHO, J.; CARMONA, R.; CARDOSO, A.N.; CARVALHO, A.M. Culturas de sucessão ao milho na dinâmica populacional de plantas daninhas. **Scientia agraria**, v. 9, n. 1, p. 7-14. 2008.

TAKANO, H. K.; JUNIOR, R.S.O.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D.F.; FRANCHINI, L. H.M.; BRAZ, G.B.P.; RIOS, F.A.; GHENO, E.A.; GEMELLI, A. Efeito da adição do 2, 4-D ao glyphosate para o controle de espécies de plantas daninhas de difícil controle. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n.1, p. 1-13. 2013.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Embrapa. 2017. 573p.

TREZZI, M.M.; VIDAL, R.A.; KRUSE, N.D.; PRATES, M.V.B.; GUSTMAN, M.S.; NUNES, A.L.; ARGENTA, G. Manejo químico de plantas daninhas na cultura do milho em função de características morfofisiológicas e redução de espaçamento da cultura. **Planta Daninha**, v. 26, n.4, p. 845-853. 2008.

United States Department of Agriculture. Departamento de agricultura dos Estados Unidos da América, USDA. 2019. World agricultural production. Circular Series WAP 9-19. Setembro 2019. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

VARANASI, A.; PRASAD, P.V.; JUGULAM, M. Impact of climate change factors on weeds and herbicide efficacy. **Advances in agronomy**, v. 135, p. 107-146. 2016.

WECHSLER, S.J.; MCFADDEN, J.R.; SMITH, D.J. What do farmers weed control decisions imply about glyphosate resistance? Evidence from surveys of US corn fields. **Pest management science**, v. 74, n. 5, p.1143-1154. 2017.

ZANATTA, J.F.; PROCOPIO, S.O.; MANICA, R.; PAULETRO, E.A.; CARNELUTTI, F.A. VARGAS, L.; SGANZERLA, D.C.; ROSENTHAL, M.D.; PINTO, J.J.O. Soil water contents and fomesafen efficacy in controlling *Amaranthus hybridus*. **Planta daninha**, v. 26, p.143-155. 2008.

ZIMDAHL, R.L. **Fundamentals of weed science**. 5 ed. Academic press. London, ING. 758 p. 2018.

4. CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO DA INJÚRIA DAS PLANTAS DE SOJA E SORGO APÓS A APLICAÇÃO DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES UTILIZANDO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO.

RESUMO: Ao utilizar herbicidas pré-emergentes o tema sobre injúrias potenciais destas moléculas para as culturas deve ser estudado. Com os avanços da digitalização da agricultura, novas ferramentas podem auxiliar nesses estudos. Veículos aéreos não tripulados (VANTs) podem servir como instrumentos para estudos sobre os efeitos de herbicidas e suas implicações na área da ciência das plantas daninhas, complementando observações obtidas através de análises no campo. O objetivo deste trabalho foi determinar ocorrência e níveis de injúria após a aplicação de diferentes herbicidas pré-emergentes nas culturas da soja e do sorgo em solos arenoso e argiloso, através da utilização de um VANT de baixo custo. Os herbicidas foram aplicados na mesma data de plantio das culturas, de acordo com as recomendações de bula dos produtos. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os herbicidas avaliados foram: diclosulam, clorimuron, flumioxazina, sulfentrazone, s-metolacoloro, s-metolacoloro + atrazina e atrazina. Também foram avaliadas uma testemunha mantida no limpo e uma testemunha com matocompetição. As análises de campo foram realizadas para determinação da injúria, estande de plantas, conteúdo relativo de clorofila, altura de plantas, distância entre dosséis e produtividade. Foram realizadas análises do tecido foliar das plantas de soja e sorgo. Os voos foram realizados utilizando um veículo aéreo não tripulado equipado com um sensor RGB. Foram utilizados três comprimentos de onda do espectro visível e três índices de vegetação em complementação as análises realizadas no campo. Os herbicidas não causaram injúria as culturas. A utilização do sistema de sensoriamento remoto de baixo custo possibilitou resultados promissores que podem reduzir custos na avaliação de sintomas de injúria nas culturas da soja e do sorgo quando se utiliza herbicidas pré-emergentes.

Palavras-chave: *Glycine max*; *Sorghum bicolor*; sensor RGB baixo custo; manejo digital de plantas daninhas; agricultura 4.0; respostas espectrais.

Unmanned aerial vehicles for determining injury from pre-emergence herbicides on soybean and sorghum crops.

ABSTRACT: When experiments with pre-emergent herbicides are conducted, the potential injury must always be studied. With the advances in the agriculture digitalization, new tools can assist in these studies. Unmanned aerial vehicles (UAVs) can serve as a baseline for studies in weed science, complementing observations obtained in the ground. The objective of this work was to determine injury from pre-emergence herbicides on soybean in sandy and clay soils using a low-cost UAV. Herbicides were sprayed at the planting date at label rates according to a randomized complete block design with four replications of the following seven treatments: diclosulam, chlorimuron, sulfentrazone, flumioxazin, s-metolachlor, s-metolachlor + atrazine, atrazine, a control manually weeded, and a control without weed control. Ground-based evaluations were crop injury, plant stand, relative chlorophyll content, plant height, canopy distance, and yield. Leaves nutrients analyses were also completed to both crops. Flights were performed with a UAV equipped with an RGB camera. Three individual visible wavelengths and commonly used vegetation indices were analyzed against ground-based measurements. Pre-emergent herbicides did not affect soybean or sorghum reflectance which agreed with the ground-based measurements and were considered safe to both crops. Our low-cost remote sensing system has shown promising results to reduce the costs of estimating injury from pre-emergence herbicides.

Keywords: *Glycine max*, *Sorghum bicolor*; low-cost RGB sensor; digital weed management; 4.0 agriculture; spectral responses.

4.1. Introdução

O conceito de agricultura digital e outros termos como fazendas inteligentes, agricultura de precisão ou precisão na agricultura tem sido frequentemente utilizados para se referir ao uso da digitalização de processos que envolvem o sistema produtivo em atividades que ocorrem dentro e fora das fazendas (Klerkx et al., 2019). Para obter imagens sobre o ambiente agrícola, utiliza-se aeronaves (tripuladas ou não) ou satélites. Os veículos aéreos não tripulados (VANT) são utilizados para sobrevoar a área acima dos experimentos e assim obter as imagens que são capturadas pelos sensores. É comum a utilização dos softwares de processamento de imagens para editar essas imagens e obter os dados necessários para efetuar as análises técnicas desejadas. Para o processamento das imagens, deve-se reproduzir tridimensionalmente as imagens com softwares, observando a vetorização das mesmas no mapa com o objetivo de mensurar as distâncias e as áreas. No processamento da imagem a primeira etapa consiste na produção do ortomosaico. O ortomosaico pode ser definido como uma imagem composta por diversas imagens obtidas em separado com escala aproximada de uma mesma região. Essas imagens são recortadas e configuradas pelos softwares de processamento de imagens para unir as imagens em uma única que represente a área ou parte da área em estudo. Outra aplicação do processamento de imagens é gerar o modelo digital de superfície (MDS) que representa a altitude de todos os objetos acima do solo e o modelo digital de terreno (MDT), que representa as altitudes do relevo da área em estudo. Os índices de vegetação utilizam os diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético, fazendo combinações matemáticas para apresentar correlações entre a vegetação e o ambiente da área em estudo.

Esses mapas podem ser mapas como o ortomosaico, mdt, mds e curvas de nível e os índices de vegetação. Alguns trabalhos como Parvis e Pirola (1999) descreveram detalhadamente como utilizar o processamento de imagens para eliminar o solo e separar infestações de plantas daninhas. Em geral, os diversos métodos existentes de classificação utilizam primeiro a decomposição da imagem RGB em componentes individuais R, G e B, convertendo o arquivo numa imagem binária as quais discriminam pixels mais claros para as plantas daninhas e mais escuros para o solo e /ou para a palhada (Vibhute e Bodhe, 2012). De acordo com Liu e Wang (2013) ao aplicar a transformação da imagem e deixá-

la em cinza o pesquisador pode identificar apenas informações sobre luminosidade, sem as informações das cores. Assim, essa conversão visa o aumento da acurácia pois permite extrair as características das plantas, sendo a conversão altamente recomendada em processos de separação entre plantas e solo. Uma vez que as imagens estão na escala de cinza podendo utilizar classificação binária para os dois segmentos: plantas e o que não são plantas, ou seja, solo e outros elementos. Diversos fatores podem afetar a qualidade das imagens obtidas no campo e é comum que ocorram resíduos provenientes deles nas imagens no momento de processá-las, e, é por essa razão devem remover os resíduos quando o processamento é efetuado (Liu e Wang, 2013). No modelo de cores o classificador deve estar atento ao correto estabelecimento dos padrões de cores para poder classificar corretamente os espaços e subespaços de cores presentes nas imagens.

Os índices de vegetação podem ser utilizados pelos pesquisadores para analisar a competição de plantas daninhas e assim demonstrar eficientemente como os herbicidas podem auxiliar no manejo de plantas daninhas evitando prejuízos as culturas (Huang et al., 2018). Por outro lado, pode-se também estudar respostas das plantas indicando novos caminhos nos estudos de fitotoxicidade dos herbicidas para as culturas, indicando se são ou não seguros para uso nos cultivos (Reddy e Jha, 2016).

Os pesquisadores Huang et al. (2015) estudaram respostas espectrais na cultura da soja, após o uso de glifosato para verificação de fitotoxicidade e obtiveram correlações biométricas interessantes na altura de plantas através da aplicação de índices de vegetação. Após o processamento e análise das imagens eles sugeriram que é possível encontrar um modelo para prever a redução de produtividade causada após a aplicação deste herbicida. Na mesma cultura, estudando o herbicida Dicamba Huang et al. (2016) verificaram que os índices de vegetação podem acusar fitotoxicidade mesmo em momentos próximos a aplicação do herbicida. No Brasil, os pesquisadores Da Silva et al. (2019) estudaram a injúria causada pelo herbicida glifosato nas plantas daninhas *Eleusine indica* e *Brachiaria decumbens* após a aplicação do herbicida utilizando também índices de vegetação. Eles verificaram que a diferença de sensibilidade de cada espécie daninha ao herbicida glifosato pode ser mensurado através dos resultados obtidos pela aplicação dos índices de vegetação sendo *E. indica* menos sensível que *B. decumbens*. Chen et al. (2019) avaliaram controle e fitotoxicidade de diferentes herbicidas aplicados em pré e pós-emergência na cultura do trigo utilizando drones para realizar a aplicação. Embora a avaliação dos resultados tenha sido por porcentagem visual eles não notam sintomas de

fitotoxicidade dos herbicidas pré emergentes na cultura. Entretanto, alguns herbicidas pós-emergentes causaram fitotoxicidade as plantas de trigo.

Na cultura do sorgo, Che Ya et al. (2013) estudou a classificação da cultura e das plantas daninhas utilizando o processamento de imagens obtidas através de radiometria hiperespectral. Eles utilizaram o método de análise linear discriminante e através das diferenças nos comprimentos de ondas eles conseguiram com sucesso separar as plantas daninhas da cultura do sorgo. Gundy et al. (2017) estudaram a aplicação de herbicidas pré-emergentes utilizando equipamentos que permitem aplicação destes fitossanitários em taxas variáveis baseado em mapas de classificação do solo pelos níveis de matéria orgânica e condutividade elétrica na cultura do sorgo. As avaliações das imagens coletadas pelos drones permitiram a correta verificação da performance dos herbicidas no controle das plantas daninhas.

Assim, o presente trabalho objetivou utilizar as ferramentas da agricultura digital (drones, processamento supervisionado das imagens utilizando índices de vegetação e medições no solo com sensores espectrais), para estudar as respostas com relação ao controle de plantas daninhas e a fitotoxicidade das culturas da soja e do sorgo quando cultivadas em sistema de sucessão de culturas, após a aplicação de herbicidas pré-emergentes. O objetivo neste trabalho foi determinar o efeito dos herbicidas pré-emergentes aplicados nas culturas da soja e do sorgo através de sensoriamento remoto e avaliações de campo utilizando um veículo aéreo não tripulado de baixo custo equipado com um sensor RGB.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Informações sobre as culturas modelo utilizadas nos ensaios

Os experimentos foram conduzidos em propriedades agrícolas localizadas nos municípios de Rio Verde (RVD), (S 17° 45' 28,9" / W 51° 02' 06,6") e Montividiu (MVD) (S 17° 26' 37,2" / W 51° 08' 35,8"), estado de Goiás. Na safra de verão (SV) os experimentos foram conduzidos utilizando a cultura da soja e, em sucessão, na segunda safra (SS) ou safrinha

foi realizado o plantio da cultura do sorgo em ambas as áreas. Os ensaios conduzidos no município de RVD foram realizados numa área de solo arenoso enquanto os experimentos conduzidos em MVD foram realizados numa área de solo argiloso (Tabela 7 e 8). As espécies de plantas daninhas presentes nas áreas foram: *Commelina benghalensis* (COMBE); *Richardia brasiliensis* (RCHBR) ocorrência apenas no experimento de solo arenoso; *Cenchrus echinatus* (CCHEC), e *Eleusine indica* (ELEIN). Antes do início do plantio da soja, utilizou-se um herbicida de amplo espectro de controle e não seletivo (Paraquat 2 L ha⁻¹) para eliminar eventuais plantas daninhas presentes nas áreas. As parcelas experimentais foram compostas por 8 linhas da cultura em cada ensaio, sendo 4 m (comprimento) x 4 m (largura), sempre considerando uma faixa de 1 m x 4 m como testemunha lateral em cada parcela. O espaçamento utilizando entrelinhas foi de 0,5 m. A cultivar de soja escolhida para ser o modelo experimental de ambos experimentos foi a Pioneer 96Y90 e o sorgo (granífero) escolhido foi o Brevant 1G233. Os plantios de soja foram realizados nos dias 03/10/18 (MVD) e 08/10/18 (RVD). Os plantios de sorgo foram realizados nos dias 17 de janeiro de 2019 (RVD) e 14 de janeiro de 2019 (MVD). Para a semeadura, foram utilizadas 20 e 12 sementes m⁻¹ para as culturas da soja e do sorgo respectivamente. Os ensaios foram instalados utilizando o delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições.

Os tratamentos herbicidas foram aplicados no mesmo dia do plantio das culturas, sendo a aplicação realizada logo após a semeadura. Os tratamentos estudados neste trabalho foram: diclosulam, clorimuron, sulfentrazone, flumioxazina, s-metolacoloro, atrazina, atrazina e s-metolacoloro, testemunha capinada (TCAP) e testemunha matocompetição (TMATO) (Tabela 9).

Os herbicidas foram aplicados utilizando um sistema de pulverização através de um cilindro costal de CO₂ regulado para 40 PSI. A aplicação dos tratamentos herbicidas ocorreu sobre condições ambientais de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento adequadas.

A injúria geral dos herbicidas (clorose + necrose) foi avaliada aos 35 dias após o plantio (DAP), mesmo momento do voo do veículo aéreo não tripulado (VANT)/drone, através da avaliação visual das plantas de soja e de sorgo utilizando uma escala de 0-100% através da metodologia proposta por EWRC (1964). Nesta escala, 0 significou ausência do sintoma de injúria e 100% a morte total da planta.

Tabela 7. Análise química e física do solo no experimento de solo arenoso, Rio Verde – GO, 2018/2019.

cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³			g dm ⁻³		
Ca	Mg	Al	H+Al	K	S	P	pH	M,O	
2,3	0,7	0	2,1	23	3,9	61,3	5,6	1,4	
mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³			Sat,Bases	Sat, Al	
Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC	SB	V%	M%
3	23,5	35,2	2	5,5	0,3	5,2	3,1	58	0
Relações entre bases									
Areia	Silte	Argila	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC	
82	10	8	3,3	38,4	11,6	0,44	0,13	0,01	

Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Al = Alumínio; H = Hidrogênio; K = Potássio; S = Enxofre; P = Fósforo; M.O = Matéria Orgânica; Na = Sódio, Fe = Ferro; Mn = Manganês; Cu = Cobre; Zn = Zinco; B = Boro; CTC = Capacidade de troca catiônica; SB = Soma de bases; V% = Saturação por bases; M% Saturação por Alumínio. cmol_c dm⁻³ = centímol carga por decímetro cúbico; mg dm⁻³ = miligrama por decímetro cúbico; g dm⁻³ = grama por decímetro cúbico

Tabela 8. Análise química e física do solo no experimento de solo argiloso, Montividiu – GO, 2018/2019.

cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³			g dm ⁻³		
Ca	Mg	Al	H+Al	K	S	P	pH	M,O	
5,3	1,9	0	3,9	54	11,1	54	5,7	3,7	
mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³			Sat,Bases	Sat, Al	
Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC	SB	V%	M%
1	44,7	13,4	0,7	2,7	0,6	11,3	7,4	66	0
Relações entre bases									
Areia	Silte	Argila	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC	
20	12	68	2,8	38,6	13,8	0,47	0,17	0,01	

Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Al = Alumínio; H = Hidrogênio; K = Potássio; S = Enxofre; P = Fósforo; M.O = Matéria Orgânica; Na = Sódio, Fe = Ferro; Mn = Manganês; Cu = Cobre; Zn = Zinco; B = Boro; CTC = Capacidade de troca catiônica; SB = Soma de bases; V% = Saturação por bases; M% Saturação por Alumínio. cmol_c dm⁻³ = centímol carga por decímetro cúbico; mg dm⁻³ = miligrama por decímetro cúbico; g dm⁻³ = grama por decímetro cúbico.

Tabela 9. Herbicidas pré-emergentes utilizados nos experimentos da cultura da soja e do sorgo (ingrediente ativo, concentração da formulação comercial, dose utilizada e especificação sobre o momento em que a aplicação foi realizada).

Número do Tratamento	Ingrediente Ativo (i.a.)	Concentração Formulação	Dose Utilizada	Momento da Aplicação
1	Diclosulam 35,3 g i.a. ha ⁻¹	840	35,3	Pré-emergência da soja
2	Clorimuron 20 g i.a. ha ⁻¹	250	20	Pré-emergência da soja
3	Sulfentrazone 200 g i.a. ha ⁻¹	500	200	Pré-emergência da soja
4	Flumioxazina 50 g i.a. ha ⁻¹	500	50	Pré-emergência da soja
5	S-metolaclo-ro 1728 g i.a. ha ⁻¹	960	1728	Pré-emergência da soja
6 ¹	Atrazina 1250 g i.a. ha ⁻¹	500	1250	Pré-emergência do sorgo
7 ¹	Atrazina S-metolaclo-ro	500 960	1250 576	Pré-emergência do sorgo
8	Testemunha capinada (TCAP)	-	-	Semanalmente ²
9 ³	Testemunha matocompetição (TMATO)	-	-	-

¹Os tratamentos 6 (Atrazina) e 7 (Atrazina e S-metolaclo-ro) foram aplicados apenas na pré-emergência da cultura do sorgo. Esses tratamentos foram mantidos sem competição com plantas daninhas durante o cultivo da soja através da aplicação de glifosato. ²A operação de capina foi realizada semanalmente no tratamento 8 durante o período da condução das culturas. ³O tratamento 9 foi mantido sem a realização do controle de plantas daninhas durante a condução das culturas.

O conteúdo indireto de clorofila presente nos tecidos foliares foi mensurado com o auxílio de um radiômetro portátil (GreenSeeker®, Falcon Inc., Sunnyvale, EUA) aos 35 dias após o plantio (Knipling et al., 1970). Foram realizadas também avaliações do estande de plantas e da altura de plantas (14 DAP). A distância entre os dosséis foi avaliada aos 35 DAP. Todas as medidas foram avaliadas utilizando as duas linhas centrais de cada parcela.

Os voos foram realizados aos 35 dias após o plantio utilizando um veículo aéreo não tripulado (VANT), modelo equipado com quatro hélices (Phantom 4 Advanced, DJI, Shenzhen, China). O VANT foi também equipado com um sensor RGB (vermelho verde e azul) modelo 20 MP CMOS (DJI, Shenzhen, China). Os voos foram realizados entre 10h e 11h da manhã, quando > 70% da área acima dos experimentos estava sem nuvens, numa altitude de 30 m, com sobreposição lateral e frontal de 80% (pixel de 1,0 cm). As imagens foram ortoretificadas utilizando o software Pix4D versão 3.2.23 (Pix4D SA, Lausanne, Switzerland) e foram analisadas utilizando o software de processamento de imagens QGIS (QGIS Development Team, Boston, EUA). Foram utilizados índices de vegetação calculados a partir das bandas do espectro visível RGB (red, green, blue): MPRI (Modified Photochemical Reflectance Index), PRI (Photochemical Reflectance Index), e VARI (Visible Atmospherically Resistant Index) (Tabela 10). A reflectância espectral dos pontos amostrais foi obtida através da média dos valores dos pixels em 6 áreas (0,05 m x 0,05 m cada), situadas nas duas linhas centrais de cada parcela.

Tabela 10. Equações utilizadas para determinação dos índices de vegetação utilizados para avaliação da resposta das culturas (injúria).

Índice	Descrição	Equação	Referência
MPRI	Modified Photochemical Reflectance Index	$(G-R^1) / (G+R)$	Chen et al. (2008)
PRI	Photochemical Reflectance Index	$(B-G) / (B+G)$	Gamon et al. (1997)
VARI	Visible Atmospherically Resistant Index	$(G-R)/(G+R-B)$	Gitelson et al. (2003)

¹R = Red; G = Green; B = Blue.

4.2.2. Análises de solo e tecido vegetal

As análises de solo dos experimentos foram realizadas no laboratório SoloTech®, parceiro do IF Goiano, para a camada do solo entre 0-20 cm, de acordo com a metodologia

proposta pela EMBRAPA Solos (Claessen, 1997). Para a efetuar a avaliação do teor nutricional das plantas realizou-se a coleta de quatro folhas plenamente saudáveis e expandidas do terço médio das plantas de soja e de sorgo por parcela aos 35 DAP. Essas folhas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas prontamente até o laboratório Solo Tech. No laboratório, realizou-se a análise de macronutrientes primários e secundários nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) além dos micronutrientes Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Boro (B). Para a quantificação destes nutrientes utilizou-se as metodologias propostas por MAPA (2014).

4.2.3. Análises de produtividade das culturas

A produtividade foi avaliada através da colheita dos rendimentos da soja e do sorgo quando os grãos atingiram sua maturidade fisiológica. A colheita da soja no experimento realizado em RVD foi realizada em 17/01/19 e o sorgo colhido em 02/05/19. No experimento realizado em MVD a soja foi colhida em 14/01/19 e o sorgo em 29/04/19. A estimativa da produtividade ha^{-1} foi calculada, padronizando-se a umidade a 13%.

4.2.4. Análises estatísticas

Para avaliação dos dados não foi necessária a realização de transformação dos dados. Para verificação da normalidade dos dados utilizou-se Barlett. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância através do teste F ($\alpha = 0,05$). Quando o valor de F foi significativo, utilizou-se o teste de Tukey para a comparação de médias. Para avaliação do teor de nutrientes nos tecidos foliares, utilizou-se análise fatorial (tratamentos x tipo de solo). Quando o valor de F foi significativo, utilizou-se o teste de Tukey para a comparação de médias.

4.3. Resultados e discussão

Após o processamento das imagens foram geradas as ortoimagem com os croquis experimentais e as posições dos tratamentos (Figura 2 e 3). Nesse processo, realizou-se o processamento das imagens originais para efetuar a correspondência entre os pontos da imagem fotográfica obtida (pontos adquiridos e registrados) com as posições do terreno corrigidas (ponto corrigido).

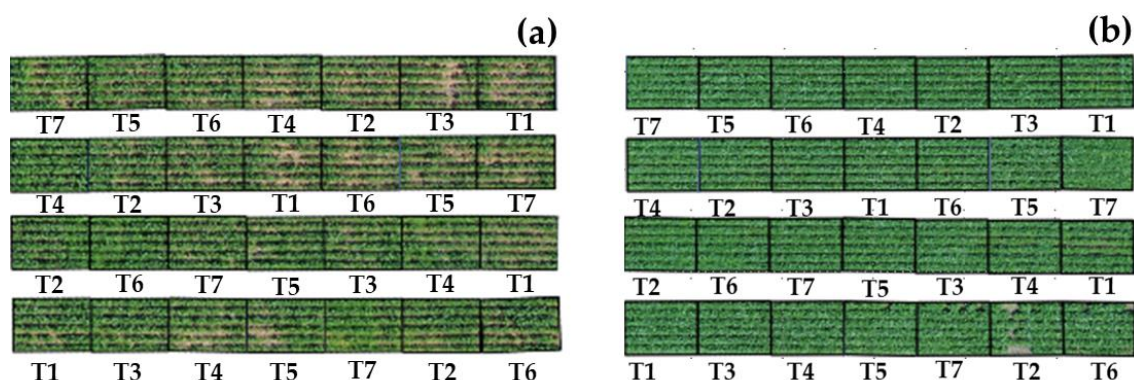


Figura 2. Ortoimagem dos ensaios de soja avaliando a injúria proporcionada pelos herbicidas pré-emergentes no experimento de Rio Verde (RVD) (a) e Montividiu (MVD) (b). Os tratamentos apresentados na figura são: T1) diclosulam, T2) clorimuron, T3) sulfentrazone, T4) flumioxazina, T5) s-metolacloro, T6) testemunha capinada (TCAP) e T7) testemunha mato competição (TMATO).

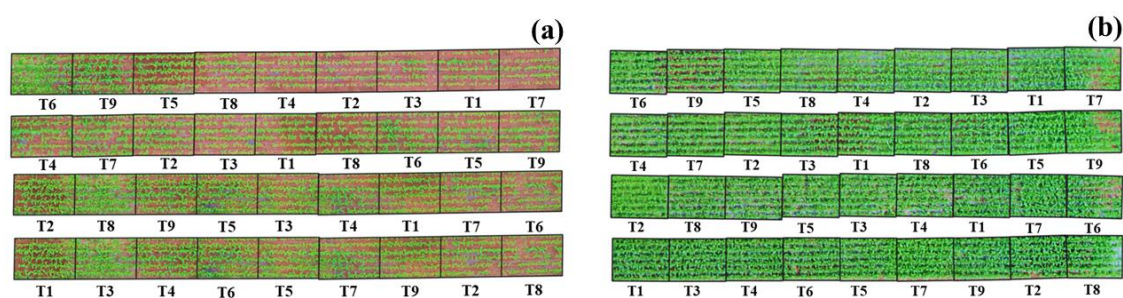


Figura 3. Ortoimagem dos ensaios de sorgo avaliando a injúria proporcionada pelos herbicidas pré-emergentes no experimento de Rio Verde (RVD) (a) e Montividiu (MVD) (b). Os tratamentos apresentados na figura são: T1) diclosulam, T2) clorimuron, T3) sulfentrazone, T4) flumioxazina, T5) s-metolacloro, T6) s-metolacloro e atrazina, T7) atrazina, T8) testemunha capinada (TCAP) e T9) testemunha matocompetição (TMATO).

No experimento de RVD, a análise do solo apresentou a seguinte composição física: 8% de argila, 10% de silte e 82% de areia. O conteúdo de matéria orgânica foi de $1,4 \text{ g dm}^{-3}$. Este solo foi classificado como neossolo quartizarênico. Devido a estas características, o cultivo de soja neste experimento foi considerado mais dificultoso

(condições ambientais mais limitantes). No experimento realizado em MVD, o solo foi classificado como latossolo vermelho distrófico e os teores de argila, silte e areia foram respectivamente de 68%, 12% e 20%. O teor de matéria orgânica foi de $3,7 \text{ g dm}^{-3}$. Nas áreas de cultivo de grãos, em geral os ambientes não são homogêneos e a variabilidade local pode interferir no desenvolvimento das culturas e principalmente na manifestação de sintomas visuais nas folhas, que podem ser muitas vezes confundidos na análise de imagens, caso não sejam tomados diversos cuidados como a avaliação no local realizada ao nível do solo. Um pesquisador treinado pode tomar notas sobre os resultados visualizados no campo e assim separar os sintomas de causas diversas e aleatórias que podem ocorrer no caso de ambientes mais adversos ao cultivo das culturas (ex. solos arenosos).

Diversos fatores podem afetar a análise de imagens e assim interferir no processo de análise de fitotoxicidade de herbicidas. Sintomas como injúrias de clorose, necrose e redução de porte das plantas podem ser causados também pelo ataque de nematoides, deficiências nutricionais (Bai et al., 2018), ataque de insetos (Rutten et al., 2018) ou pela presença de doenças causadas por patógenos (Barbedo, 2019).

Os comprimentos de onda na faixa do RGB podem auxiliar na explicação de respostas de uma cultura agrícola ao efeito de um determinado tratamento quer seja de fertilizantes ou mesmo produtos fitossanitários (Huang et al., 2018; Alves et al. 2017).

A análise das respostas espectrais da cultura da soja revelou que os tratamentos com herbicidas pré-emergentes apresentaram respostas espectrais semelhantes em ambos experimentos, exceto o tratamento com diclosulam no experimento de RVD (Tabela 11). Neste experimento, as plantas de soja do tratamento com diclosulam apresentaram menor refletância nas bandas vermelhas, verde e azul (RGB) do espectro luminoso se comparado ao tratamento testemunha capinada. A seletividade dos herbicidas para a cultura da soja também foi avaliada por um pesquisador treinado na área de plantas daninhas em visita ao campo (Tabela 12). No experimento realizado em MVD, não foram verificadas diferenças na resposta espectral da soja nos componentes individuais do espectro luminoso e nos índices de vegetação. Isso foi corroborado através das avaliações realizadas a campo, e reforça a importância de se utilizar sempre a supervisão humana quando aplicar ferramentas digitais na agricultura. Os fatores críticos para injúria de herbicidas são clorose, necrose e redução de crescimento, que são capturados em ensaios para avaliação da seletividade de herbicidas através da nota de injúria geral ou separada. No campo, após a análise visual de injúria, não se observaram quaisquer sintomas críticos

de fitotoxicidade em nenhuma das áreas cultivadas com soja, inclusive para o tratamento com diclosulam no experimento de RVD. Everman et al. (2008) e Robles et al. (2010) também estudaram respostas espectrais, após o uso de produtos fitossanitários e verificaram que o sensoriamento remoto tem grande potencial para facilitar, aumentar a eficiência em termos de recursos humanos e tempo na identificação de injúrias causadas pelos herbicidas. Santin et al. (2019) estudaram o efeito da associação de herbicidas na cultura da soja no controle de plantas daninhas e sua seletividade para a cultura e obtiveram respostas similares.

Avaliando-se o índice de vegetação MPRI para a cultura da soja, não foram constatadas diferenças entre os tratamentos nos dois experimentos RVD e MVD (Tabela 11). Os tratamentos com herbicidas pré-emergentes não afetaram o estabelecimento do estande de plantas nos dois experimentos com a cultura da soja (Tabela 12). A altura de plantas não foi afetada no experimento realizado em RVD independentemente do tratamento herbicida aplicado (Tabela 12). No experimento MVD, verificou-se maior altura de plantas na testemunha capinada (30,8 cm) se comparado aos demais tratamentos (Tabela 12). A análise da distância de dosséis, no experimento RVD, demonstrou não haver interferência dos tratamentos para que a cultura pudesse fechar o espaço presente nas entrelinhas (Tabela 12). Embora a altura de plantas dos tratamentos com os herbicidas sulfentrazone, flumioxazina e s-metolacloro tenham também apresentado menor altura que a testemunha capinada, isto não refletiu numa diferença de produtividade. O controle químico tem sido preferido em larga escala como ferramenta para controlar plantas daninhas pela praticidade que promove e a escassez de mão de obra hoje disponível para atividades no campo. Assim, o emprego dessas moléculas tende a continuar aumentando nos próximos anos, mesmo que em algumas situações respostas pontuais de redução de altura possam ser verificadas. No entanto, é importante que mais estudos sejam realizados para avaliação dos parâmetros biométricos quando se estuda o efeito dos herbicidas pré-emergentes.

Tabela 11. Respostas espectrais da soja nos comprimentos de onda da faixa do visível e a aplicação dos índices de vegetação.

Tipo de solo	Tratamento	Red	Green	Blue	MPRI	VARI	PRI
RVD	Diclosulam	98.9 ¹ ±9.3b ²	147.1±0.5 ³ b	74.3±0.01b	0.201±0.1a	0.286±0.01ab	-0.340±0.01a
	Clorimuron	107.1±8ab	159.0±9.2ab	82.5±0.01ab	0.200±0.01a	0.288±0.01ab	-0.324±0.04a
	Sulfentrazone	111.8±12.1ab	162.4±7.7ab	84.0±0.01ab	0.188±0.1a	0.270±0.01ab	-0.324±0.02a
	Flumioxazina	109.1±4.8ab	162.6±7.1ab	88.5±0.01ab	0.205±0.1a	0.303±0.01a	-0.304±0.05a
	S-metolacoloro	119.6±8.3a	170.5±9.0a	96.0±0.01a	0.178±0.1a	0.265±0.01ab	-0.287±0.03a
	Testemunha matocompetição (TMATO)	121.8±6.5a	174.0±1.6a	98.0±0.01ab	0.181±0.01a	0.268±0.01b	-0.292±0.04a
	Testemunha capinada (TCAP)	115.9±7.2a	166.5±4.9a	81.2±0.01a	0.183±0.01a	0.254±0.01ab	-0.357±0.08a
	F v	4.959 3,7 x 10 ⁻³	4.441 6,3 x 10 ⁻³	4.491 6,0 x 10 ⁻³	-	-	-
MVD	Diclosulam	88.4±10.5a	156.6±9.3a	81.0±0.5a	0.284±0.01a	0.426±0.1a	-0.322±0.03a
	Clorimuron	88.3±8.6a	157.1±8.0a	83.1±9.2a	0.288±0.01a	0.432±0.01a	-0.316±0.03a
	Sulfentrazone	85.6±13.6a	155.5±12.1a	80.0±7.7a	0.295±0.01a	0.444±0.1a	-0.325±0.02a
	Flumioxazina	86.5±6.6a	155.6±4.8a	79.4±7.1a	0.289±0.01a	0.430±0.01a	-0.329±0.03a
	S-metolacoloro	83.8±9.2a	152.1±8.3a	75.4±9.0a	0.296±0.01a	0.435±0.1a	-0.344±0.03a
	Testemunha matocompetição (TMATO)	87.0±5.4a	154.3±6.5a	75.1±1.6a	0.282±0.01a	0.410±0.01a	-0.349±0.03a
	Testemunha capinada (TCAP)	79.5±3.7a	145.9±7.2a	73.6±4.9a	0.304±0.01a	0.445±0.01a	-0.345±0.02a
	F v	-	-	-	-	-	-

¹Resultados médios das 4 repetições analisadas. ²Médias seguidas da mesma letra para o controle não diferem pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). ³Desvio padrão. F = valor teste F. RVD = experimento conduzido em solo arenoso; MVD = experimento conduzido em solo argiloso.

Tabela 12. Avaliação do estande, da altura, distância entre dosséis e conteúdo relativo de clorofila das plantas de soja.

Experimento	Tratamento	Estande de Plantas (contagem)	Altura de Plantas (cm)	Distância Dosséis (cm)	Conteúdo de Clorofila 35 DAP	Injúria 35 DAP (Escala 0-10)
RVD	Diclosulam	20.5 ¹ ±1.3a ²	19.3±3.0 ³ a	10.6±2.6a	72.8±11.0a	0
	Clorimuron	19.0±1.4a	20.7±1.7a	8.9±2.8a	75.0±5.7a	0
	Sulfentrazone	20.5±0.6a	19.7±1.3a	10.4±2.1a	74.8±6.5a	0
	Flumioxazina	20.3±0.5a	19.7±1.9a	7.8±3.7a	79.0±2.8a	0
	S-metolacoloro	20.5±1.9a	20.0±1.7a	10.0±2.3a	74.7±4.3a	0
	Testemunha matocompetição (TMATO)	20.0±0.8a	20.1±0.6a	8.1±2.6a	72.35±6.3a	0
	Testemunha capinada (TCAP)	20.3±1.0a	18.8±1.7a	13.4±3.7a	77.5±4.4a	0
	F	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	
MVD	Diclosulam	20.0±0.1a	25.0±1.5b	5.6±1.9ab	80.9±1.2a	0
	Clorimuron	19.0±1.4a	24.9±1.8b	6.3±1.8ab	81.6±0.8a	0
	Sulfentrazone	19.3±0.5a	26.3±1.5b	4.4±2.0b	81.9±3.2a	0
	Flumioxazina	19.8±1.0a	26.9±2.2b	3.2±3.5b	82.3±2.5a	0
	S-metolacoloro	19.5±0.6a	26.7±0.8b	4±1.3b	83.7±0.5a	0
	Testemunha matocompetição (TMATO)	20.3±1.0a	24.9±2.1b	4.2±0.9b	81.8±1.9a	0
	Testemunha capinada (TCAP)	21.0±0.8a	30.8±1.7a	9.5±2.1a	84.7±1.4a	0
	F	-	6.925	4.666	-	-
v	-	6,0 x 10 ⁻⁴	5,0 x 10 ⁻³	-	-	

¹Resultados médios das 4 repetições analisadas. ²Médias seguidas da mesma letra para o controle não diferem pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). ³Desvio padrão. F = valor teste F. RVD = experimento conduzido em solo arenoso; MVD = experimento conduzido em solo argiloso.

No experimento MVD os tratamentos com sulfentrazone, flumioxazina, s-metolaclo e a testemunha matocompetição apresentaram os menores valores resultando num fechamento de entrelinhas mais rápido do que o observado no tratamento testemunha capinada (Tabela 12). O conteúdo de clorofila não foi influenciado pelos tratamentos aplicados nos experimentos de RVD e MVD. Aos 35 DAP, não foram observados nenhum sintoma de injúria visual proporcionado pelos tratamentos herbicidas (Tabela 12). A interpretação do resultado obtido nas análises dos índices de vegetação MPRI, PRI e VARI, complementada pelas determinações indiretas do teor de clorofila e a avaliação em laboratório do conteúdo de nutrientes nos tecidos foliares reforçou a seletividade dos herbicidas pré-emergentes para as culturas da soja e do sorgo.

Analisando-se o espectro RGB para a cultura do sorgo não foram encontradas diferenças em nenhuma das bandas estudadas, independentemente do tratamento analisado (Tabela 13). O índice de vegetação MPRI também foi semelhante para todos tratamentos avaliados em ambos experimentos (Tabela 13). O índice VARI apresentou resposta semelhante ao MPRI não diferenciando a resposta espectral de nenhum tratamento nos dois experimentos (Tabela 13). O índice PRI também apresentou respostas semelhantes aos índices MPRI e VARI (Tabela 13). O estande de plantas na cultura do sorgo não foi afetado pelo uso dos herbicidas pré-emergentes (Tabela 14). No solo arenoso não foram observadas diferenças entre a altura das plantas de sorgo (Tabela 14). No experimento de MVD, verificou-se o efeito dos tratamentos na altura das plantas.

A testemunha matocompetição apresentou maior altura de plantas, caracterizada pela presença no campo de plantas estioladas, principalmente como resultado da competição por luz com outras gramíneas como CCHEC e ELEIN. As plantas com menor altura foram encontradas no tratamento com flumioxazina. O conteúdo de clorofila presente nas folhas do sorgo foi semelhante entre os tratamentos para os dois experimentos analisados (Tabela 14). Na avaliação de injúria realizada aos 35 DAP nenhum sintoma de fitotoxicidade foi observado na cultura do sorgo independentemente do tratamento analisado e do tipo de solo estudado (Tabela 14).

Tabela 13. Respostas espectrais do sorgo nos comprimentos de onda da faixa do visível e a aplicação dos índices de vegetação.

Experimento	Tratamento	Red	Green	Blue	MPRI	VARI	PRI
RVD	Diclosulam	122.9 ¹ ±11.6a ²	168.1±8.9 ³ a	100.4±15.5a	0.161±0.04a	0.242±0.04a	0.242±0.04a
	Clorimuron	130.8±15.8a	171.2±7.5a	97.6±16.2a	0.138±0.05a	0.198±0.06a	0.198±0.06a
	Sulfentrazone	132.5±11.2a	174.1±3.1a	91.2±12.4a	0.139±0.04a	0.193±0.05a	0.193±0.05a
	Flumioxazina	123.8±14.7a	168.5±10.0a	91.1±11.5a	0.157±0.03a	0.228±0.04a	0.228±0.04a
	S-metolacloro	127.9±5.9a	173.0±2.4a	90.0±9.8a	0.151±0.02a	0.212±0.03a	0.212±0.03a
	Atrazina	125.1±9.1a	172.9±3.3a	95.8±19.0a	0.164±0.03a	0.237±0.03a	0.237±0.03a
	Atrazina + S-metolacloro	124.2±12.3a	169.1±4.8a	92.9±20.9a	0.156±0.05a	0.225±0.05a	0.225±0.05a
	Testemunha capinada (TCAP)	124.4±10.2a	167.1±4.9a	83.4±12.3a	0.148±0.05a	0.202±0.06a	0.202±0.06a
	Testemunha matocompetição (TMATO)	124.3±9.1a	173.3±14.8a	96.6±2.7a	0.166±0.03a	0.244±0.04a	0.244±0.04a
F	-	-	-	-	-	-	
V	-	-	-	-	-	-	
MVD	Diclosulam	115.1±10.8a	176.1±12.3a	112.1±18.0a	0.225±0.02a	0.355±0.03a	-0.253±0.04a
	Clorimuron	124.5±9.7a	184.0±8.3a	120.1±11.9a	0.204±0.03a	0.329±0.04a	-0.233±0.04a
	Sulfentrazone	115.2±14.1a	174.2±12.3a	109.7±27.1a	0.223±0.03a	0.345±0.04a	-0.276±0.11a
	Flumioxazina	118.1±8.0a	174.9±8.9a	107.3±20.8a	0.205±0.01a	0.317±0.03a	-0.274±0.09a
	S-metolacloro	128.1±10.0a	187.9±12.6a	122.2±26.7a	0.201±0.02a	0.321±0.03a	-0.243±0.10a
	Atrazina	123.4±17.1a	169.7±30.3a	118.0±25.5a	0.166±0.09a	0.270±0.13a	-0.208±0.11a
	Atrazina + S-metolacloro	123.6±10.1a	182.8±5.7a	127.8±7.9a	0.204±0.03a	0.343±0.06a	-0.195±0.03a
	Testemunha capinada (TCAP)	132.4±13.2a	189.8±15.5a	126.1±17.4a	0.186±0.03a	0.303±0.06a	-0.222±0.04a
	Testemunha matocompetição (TMATO)	117.1±12.8a	178.0±12.4a	107.6±15.0a	0.219±0.03a	0.338±0.06a	-0.276±0.04a
F	-	-	-	-	-	-	
V	-	-	-	-	-	-	

¹Resultados médios das 4 repetições analisadas. ²Médias seguidas da mesma letra para o controle não diferem pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). ³Desvio padrão. F = valor teste F. Devido a ausência de diferenças significativas, expresso como -. RVD = experimento conduzido em solo arenoso; MVD = experimento conduzido em solo argiloso.

Tabela 14. Avaliação do estande, da altura, distância entre dosséis e conteúdo relativo de clorofila das plantas de sorgo.

Experimento	Tratamento	Estande de Plantas (contagem)	Altura de Plantas (cm)	Distância Dosséis (cm)	Conteúdo de Clorofila 35 DAP	Injúria 35 DAP (Escala 0-10)
RVD	Diclosulam	9.8±0.3a	22.4±2.0a	24.4±3.9a	52.3±1.4a	0
	Clorimuron	10.1±0.5a	23.3±2.9a	25.0±5.8a	53.5±4.7a	0
	Sulfentrazone	10.1±0.5a	24.2±2.4a	22.9±4.9a	52.5±1.9a	0
	Flumioxazina	10.5±0.4a	26.0±3.0a	23.9±3.4a	54.1±5.4a	0
	S-metolacloro	10.2±0.6a	24.6±4.0a	23.9±1.7a	52.6±6.2a	0
	Atrazina	10.0±0.3a	23.8±2.4a	25.8±2.6a	52.0±6.9a	0
	Atrazina + S-metolacloro	10.2±0.5a	22.1±2.7a	24.3±2.1a	52.8±5.2a	0
	Testemunha capinada (TCAP)	10.2±0.6a	25.8±4.0a	25.2±7.2a	52.2±0.8a	0
	Testemunha matocompetição (TMATO)	10.3±0.6a	26.8±2.9a	24.4±1.4a	59.0±2.8a	0
F	-	-	-	-	-	
v	-	-	-	-	-	
MVD	Diclosulam	10.0±0.4a	31.9±1.0ab	5.6±0.2a	66.2±5.7a	0
	Clorimuron	10.2±0.8a	32.2±1.7ab	5.6±0.4a	73.2±4.0a	0
	Sulfentrazone	9.9±0.3a	31.6±1.3ab	5.6±0.2a	71.6±1.2a	0
	Flumioxazina	9.9±0.2a	31.4±1.7b	5.4±0.3a	69.3±3.0a	0
	S-metolacloro	9.8±0.3a	32.3±1.4ab	5.7±0.2a	67.5±4.4a	0
	Atrazina	10.1±0.6a	32.7±1.3ab	5.6±0.2a	70.1±4.5a	0
	Atrazina + S-metolacloro	10.5±0.4a	31.7±1.3ab	5.8±0.4a	70.8±5.0a	0
	Testemunha capinada (TCAP)	10.4±0.3a	32.0±1.3ab	5.6±0.2a	68.9±2.2a	0
	Testemunha matocompetição (TMATO)	10.1±0.3a	33.7±2.3a	5.9±0.4a	75.5±2.0a	0
F	-	2.030	-	-	-	
v	-	8,6 x 10 ²	-	-	-	

¹Resultados médios das 4 repetições analisadas. ²Médias seguidas da mesma letra para o controle não diferem pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). ³Desvio padrão. F = valor teste F. RVD = experimento conduzido em solo arenoso; MVD = experimento conduzido em solo argiloso.

O teor de nutrientes presentes nas folhas esperado para a cultura da soja foi interpretado seguindo as recomendações da Embrapa Soja (2008). A análise do teor de nutrientes presente nas folhas das plantas de soja aos 35 DAP revelou que diferentes padrões nutricionais ocorreram nos tecidos foliares, principalmente entre os tipos de solo estudados (Tabela 15). Em geral, para estas variáveis o tipo de solo influenciou mais nas respostas obtidas do que propriamente os tratamentos herbicidas aplicados, exceto para os macronutrientes cálcio, magnésio e enxofre (Tabela 15). Nitrogênio, fósforo e potássio não apresentaram variação do teor presente no tecido foliar independente do tratamento aplicado (Tabela 15). A extração de nitrogênio foi maior no solo arenoso, já potássio foi mais extraído no solo argiloso enquanto para potássio não houve diferença em termos de extração para os dois solos estudados (Tabela 15). O macronutriente cálcio foi mais extraído no tratamento com diclosulam enquanto a testemunha matocompetição apresentou a menor extração deste nutriente no solo arenoso (Tabela 15). Não foram observadas diferenças entre o tipo de solo para este nutriente, bem como no solo argiloso todos tratamentos apresentaram performance semelhante quando a extração nos tecidos foliares de cálcio (Tabela 15). Para o magnésio, observou-se o efeito dos tratamentos e do tipo de solo. Sulfentrazone e flumioxazina no solo argiloso e clorimuron no solo arenoso foram os tratamentos que se destacaram pela maior extração de magnésio nos tecidos foliares (Tabela 15). A testemunha matocompetição no solo arenoso foi o tratamento com menor teor de magnésio dentre os dois tipos de solos e os diversos tratamentos estudados (Tabela 15). O enxofre apresentou perfil de extração similar no solo arenoso enquanto no solo argiloso flumioxazina foi o tratamento com maior extração deste macronutriente, sendo encontrada no tratamento testemunha matocompetição os menores teores deste nutriente (Tabela 15).

Analisando os micronutrientes, manganês, cobre e zinco apresentaram padrão similar, enquanto ferro e boro apresentaram padrões específicos de concentração nos tecidos foliares da soja aos 35 DAP (Tabela 16). No solo arenoso foram encontrados valores majoritariamente mais elevados de manganês e zinco do que no solo argiloso, embora não se encontrou efeito dos tratamentos para este nutriente avaliado (Tabela 16). As plantas cultivadas no solo argiloso apresentaram maiores teores foliares de cobre se comparadas as cultivadas no solo arenoso (Tabela 16). Para o ferro, o tratamento com sulfentrazone propiciou maior conteúdo foliar deste nutriente se comparado ao tratamento flumioxazina, testemunha capinada e testemunha matocompetição no solo arenoso bem como sulfentrazone e todos os outros tratamentos no solo argiloso (Tabela 16).

O único nutriente foliar observado em excesso nas folhas de soja foi o manganês no solo arenoso. Embora, atualmente não se visualize problemas com relação a sua fitotoxicidade na cultura da soja o Mn já foi considerado como um nutriente problema para a cultura quando em excesso no solo (Mascarenhas et al., 1994). Esse nutriente, em solos de baixa fertilidade natural como os solos arenosos no cerrado pode estar presente em maiores quantidades, e possivelmente relaciona a alta disponibilidade do nutriente com sua presença nas folhas (Mendes et al., 2012). Nesses ambientes, de acordo com Malavolta et al. (1997), pode haver aumento na disponibilidade de Mn para as plantas, como resposta a maior solubilidade dos compostos presentes na solução do solo por causa da acidez, pode resultar em aumento da sua absorção. Com a evolução do melhoramento genético da soja no Brasil, as cultivares mais modernas apresentam elevado grau de tolerância a este nutriente e, assim não são observados sintomas visuais do excesso desse elemento, embora ele possa ser mensurado na análise de tecidos foliares. Os trabalhos realizados por Lima et al. (2004) no município de Rio Verde – GO, também revelaram elevados teores de Mn trocável nos solos, bem como significativas acumulações foliares deste nutriente corroborando com os dados obtidos no ensaio realizado no solo arenoso. Este estudo permitiu que uma possível correlação entre o estudo do efeito dos herbicidas pré-emergentes e a alta acumulação de Mn no ambiente de solo arenoso fosse descartada, embasando também esta afirmação na ausência de efeito dos tratamentos ao comparar com os tratamentos testemunha capinada e testemunha matocompetição, nos quais não se aplicou quaisquer herbicidas.

Tabela 15. Teores dos macronutrientes presentes nas amostras de folhas de soja do trifólio médio das plantas aos 35 DAP.

	N		P		K		Ca		Mg		S	
	Arenoso A ²	Argiloso B	Arenoso B	Argiloso A	Arenoso A	Argiloso A	Arenoso A	Argiloso A	Arenoso	Argiloso	Arenoso B	Argiloso A
Diclosulam	38.2 a ¹	36.6 a	3.5 a	3.8 a	17.8 a	19.3 a	9.8 a	8.7 a	3.1 AB	3.4 AB	1.76 a	2.53 ab
Clorimuron	35.8 a	35.8 a	3.3 a	3.9 a	19.6 a	18.4 a	8.7 ab	9.0 a	3.6 A	3.3 AB	1.81 a	2.38 ab
Sulfentrazone	40.1 a	36.8 a	3.4 a	4.1 a	18.3 a	22.9 a	8.9 ab	9.4 a	3.2 AB	3.6 A	1.82 a	2.6 ab
Flumioxazina	37.2 a	37.2 a	3.4 a	4.9 a	18.5 a	22.5 a	8.2 ab	9.1 a	3.1 AB	4.0 A	1.76 a	2.77 a
S-metolaclo	38.7 a	34.8 a	3.3 a	3.9 a	19.8 a	19.1 a	9.5 ab	8.5 a	3.3 AB	3.2 AB	1.73 a	2.2 ab
Testemunha capinada (TCAP)	40.1 a	36.8 a	3.9 a	4.1 a	21.3 a	19.6 a	7.2 ab	8.4 a	3.1 AB	3.4 AB	1.56 a	2.23 ab
Testemunha matocompetição (TMATO)	37.7 a	37.2 a	3.2 a	5.0 a	19.0 a	15.9 a	7 b	8.0 a	2.5 B	3.2 AB	1.48 a	2.09 b
P valor ³	0.653	0.843	0.292	0.267	0.422	0.317	0.019	0.593	-	-	0.299	0.041
P valor ⁴	0.036		7.0 x 10 ⁻⁵		0.696		0.376		0.025 ⁵		3.7 x 10 ⁻¹²	

¹Comparação dos tratamentos realizada utilizando-se Tukey 5% dentro do mesmo tipo de solo (coluna). ²Comparação dos tratamentos realizada utilizando-se Tukey 5% comparando os tipos de solo (linha). ³P valor referente ao teste F para os tratamentos dentro do mesmo tipo de solo (colunas). ⁴P valor referente ao teste F para os tratamentos comparando os tipos de solo (linhas), exceto para o Mg. ⁵ P valor referente ao teste F para a interação entre os tratamentos e o tipo de solo. Letras minúsculas indicam a comparação dos tratamentos dentro do mesmo tipo de solo (coluna). Letras maiúsculas indicam comparação dos tratamentos nos dois tipos de solo. Os valores obtidos na análise dos tecidos foliares dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) foram expressos em g kg⁻¹.

Tabela 16. Teores dos micronutrientes presentes nas amostras de folhas de soja do trifólio médio das plantas aos 35 DAP.

	Fe		Mn		Cu		Zn		B	
	Arenoso	Argiloso	Arenoso A ²	Argiloso B	Arenoso B	Argiloso A	Arenoso A	Argiloso B	Arenoso A	Argiloso B
Diclosulam	188.8 AB ¹	87.3 B	244.9 a	23.9 a	4.3 a	7.3 a	75.5 a	25.8 a	54.7 ab	45.4 a
Clorimuron	193.6 AB	87.1 B	177.3 a	31.7 a	4.5 a	7.4 a	56 a	29.0 a	65 a	44.2 a
Sulfentrazone	265 A	97.7 B	227.5 a	26.5 a	4.8 a	8.7 a	70.9 a	27.5 a	66.4 a	47.4 a
Flumioxazina	111.3 B	92.6 B	195.9 a	26.7 a	4.4 a	9.0 a	69.5 a	28.0 a	67 a	43.1 a
S-metolaclo-ro	176.0 AB	83.7 B	176.9 a	24.6 a	3.5 a	6.5 a	53.4 a	24.6 a	67.7 a	48.6 a
Testemunha capinada (TCAP)	109.7 B	86.8 B	183.9 a	27.4 a	4.1 a	8.3 a	50.4 a	25.9 a	56.7 ab	45.8 a
Testemunha matocompetição (TMATO)	101.8 B	86.2 B	155 a	25.5 a	3.9 a	7.9	47.4 a	23.8 a	43.1 b	43.2 a
P valor ³			0.764	0.388	0.884	0.123	0.289	0.505	0.01	0.898
P valor ⁴	0.011 ⁵		2.19 x 10 ⁻¹²		7.0 x 10 ⁻¹³		8.21 x 10 ⁻¹¹		2 x 10 ⁻⁷	

¹Comparação dos tratamentos realizada utilizando-se Tukey 5% dentro do mesmo tipo de solo (coluna). ²Comparação dos tratamentos realizada utilizando-se Tukey 5% comparando os tipos de solo (linha). ³P valor referente ao teste F para os tratamentos dentro do mesmo tipo de solo (colunas), exceto para Fe (interação tratamentos e tipo de solo). ⁴P valor referente ao teste F para os tratamentos comparando os tipos de solo (linhas). ⁵ P valor referente ao teste F para a interação entre os tratamentos e o tipo de solo. Letras minúsculas indicam a comparação dos tratamentos dentro do mesmo tipo de solo (coluna). Letras maiúsculas indicam comparação dos tratamentos nos dois tipos de solo e para Fe indicam a interação tratamentos e tipo de solo. Os valores obtidos na análise dos tecidos foliares dos nutrientes ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn) e boro (B) foram expressos em mg kg⁻¹.

Com relação ao boro, no solo argiloso não foram observados efeitos dos tratamentos para tomada deste nutriente nas folhas, porém no solo arenoso o tratamento testemunha matocompetição assimilou menores teores foliares deste nutriente se comparada aos tratamentos clorimuron, sulfentrazone, flumioxazina e s-metolacoloro (Tabela 16).

A análise dos componentes principais permitiu a construção de três classes que somadas explicam acima de 66% as causas da multivariação encontradas quando todos os macros e micronutrientes foram estudados numa análise multivariada (Figura 4). No componente principal 1, tendo como maiores contribuintes de efeitos os nutrientes: Mn (44%), Zn (40%), Fe (30%), B (28%) e N (21%). No componente principal 2 o P (8%) e no componente principal 3 o Cu (4,5%). Ao realizar o tratamento dos dados organizando em dois grupos a população de dados dos componentes principais foi possível notar que o fator tipo de solo é muito importante quando se estuda a interferência dos herbicidas na dinâmica nutricional das plantas (Figura 4). No eixo x, separando-se em um grupo a esquerda e um outro grupo a direita, nota-se a influência do tipo do solo, fator determinante na classificação da resposta dos componentes principais estudados (Figura 4).

A análise multivariada dos dados revelou claramente que o fator solo é algo relevante nos estudos envolvendo herbicidas pré-emergentes e isso deve ser levado em consideração em experimentos com ferramentas de agricultura digital. Estudando-se a respostas dos dois componentes principais a separação dos dados é bastante clara quando o tipo do solo é colocado como um classificador. Chagas et al. (2019) também utilizou análise multivariada para separar diferentes tipos de solo de acordo com os teores de componentes físicos para estudo das propriedades químicas de herbicida no solo. Como conclusão deste estudo, os pesquisadores verificaram que esta análise é uma ferramenta interessante para separação dos resultados obtidos sobre as propriedades do herbicida em cada tipo de solo.

O teor de nutrientes para a cultura do sorgo foi analisado conforme os dados padrões de referência em análises foliares para a cultura proposto por Boaretto et al. (1999). Todos os nutrientes ficaram dentro dos padrões estabelecidos como faixa ótima para a cultura do sorgo. É interessante que com relação ao solo arenoso, diferentemente do que ocorreu com a cultura da soja, não foram verificados altos níveis de Mn nas folhas de sorgo. A explicação é dentre outros fatores que a marcha de absorção e capacidade de extração dos nutrientes são diferentes entre as culturas.

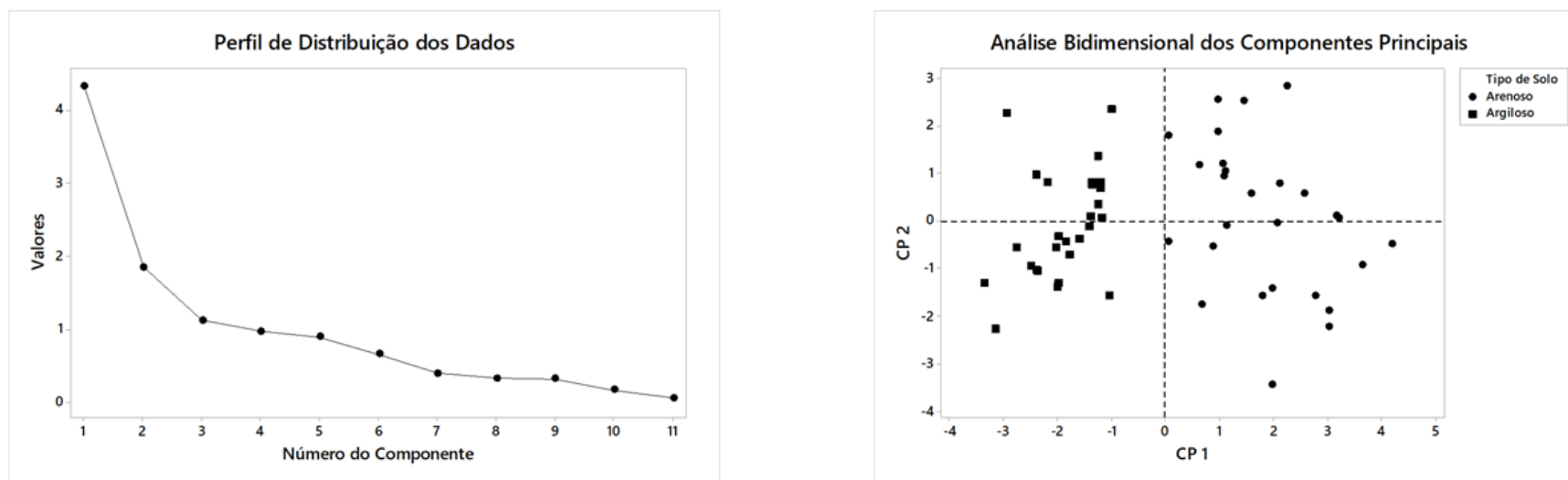


Figura 4. Análise dos componentes principais para avaliação dos teores de nutrientes presentes nas folhas das plantas de soja, após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes.

A análise do teor de nutrientes presentes nas folhas de sorgo aos 35 DAP revelou que os tratamentos herbicidas pré-emergentes utilizados não interferiram na dinâmica de nutrientes presentes nas folhas de sorgo (Tabela 17). O único fator que interferiu na quantidade de macro e micronutrientes presentes nas folhas da cultura foi o tipo de solo (Tabelas 17 e 18). As plantas de sorgo cultivadas no solo arenoso apresentaram maior quantidade de nitrogênio nas folhas se comparadas as plantas cultivadas no solo argiloso (Tabela 16). Para o fósforo, o solo argiloso permitiu maior concentração deste nutriente nas folhas de sorgo que o solo arenoso (Tabela 17). Para o potássio, de modo semelhante ao que ocorreu na cultura da soja, ambos solos apresentaram respostas semelhantes quanto ao teor deste nutriente nas folhas do sorgo (Tabela 17). Cálcio foi mais extraído no solo argiloso ao contrário de magnésio que foi mais requerido no solo arenoso (Tabela 17). O enxofre apresentou comportamento semelhante ao potássio sendo sua resposta indiferente nos dois tipos de solos estudados (Tabela 17).

Com relação aos micronutrientes presentes nas folhas do sorgo aos 35 DAP, também não houve efeito dos tratamentos com herbicidas pré-emergentes influenciando nesta dinâmica (Tabela 18). Para os nutrientes ferro, cobre, zinco e boro as respostas foram semelhantes sendo este nutriente mais requisitado no solo argiloso em que a extração foliar foi maior (Tabela 18). O sorgo cultivado no solo arenoso apresentou maiores teores foliares de manganês se comparado ao solo argiloso (Tabela 18).

A análise dos componentes principais permitiu a classificação de três grupos que somados explicam acima de 61% as causas da multivariação encontradas quando todos os macros e micronutrientes foram estudados numa análise multivariada (Figura 5). No componente principal 1 tem como maiores contribuintes de efeitos os nutrientes: Zn (46%), Cu (45%), P (42%), Fe (21%). No componente principal 2 o K (62%), Ca (55%), Mg (34%), Mn (34%) e B (15%) e no componente principal 3 o S (49%). Ao realizar o tratamento dos dados organizando em dois grupos, a população de dados dos componentes principais foi possível notar que o fator tipo de solo é muito importante quando se estuda a interferência dos herbicidas na dinâmica nutricional das plantas (Figura 5). No eixo x, separando em um grupo a esquerda e um outro grupo a direita nota-se a influência do tipo do solo, fator determinante na classificação da resposta dos componentes principais estudados (Figura 5).

Tabela 17. Teores dos macronutrientes presentes nas amostras de folhas de sorgo do terço médio das plantas aos 35 DAP.

	N		P		K		Ca		Mg		S	
	Arenoso A ²	Argiloso B	Arenoso B	Argiloso A	Arenoso A	Argiloso A	Arenoso A	Argiloso B	Arenoso B	Argiloso A	Arenoso A	Argiloso A
Diclosulam	34.8a ¹	35.8a	3.9a	5.6a	15.6a	16.1a	9.0a	7.1a	3.1a	5.3a	0.67a	0.70a
Clorimuron	37.2a	34.4a	3.8a	4.4a	16.9a	14.9a	10.9a	5.4a	3.9a	4.4a	0.65a	0.67a
Sulfentrazone	37.7a	36.7a	3.7a	5.8a	15.3a	17.1a	10.6a	6.5a	3.6a	5.5a	0.74a	0.66a
Flumioxazina	38.2a	36.3a	3.8a	5.3a	17.9a	18.8a	10.8a	6.5a	3.8a	4.9a	0.70a	0.70a
S-metolacoloro	37.7a	36.3a	4.0a	5.5a	13.7a	13.0a	7.3a	6.1a	3.0a	4.0a	0.67a	0.74a
Atrazina	37.2a	33.9a	3.7a	5.3a	13.3a	14.6a	8.8a	7.4a	3.4a	4.7a	0.73a	0.75a
Atrazina + S-metolacoloro	38.6a	33.4a	3.7a	5.7a	14.9a	15.9a	12.0a	7.7a	3.7a	5.2a	0.67a	0.67a
Testemunha capinada (TCAP)	35.3a	32.0a	4.1a	5.5a	13.0a	13.2a	8.3a	4.7a	3.2a	4.1a	0.75a	0.63a
Testemunha matocompetição (TMATO)	38.6a	33.4a	4.0a	4.6a	12.7a	13.4a	7.1a	4.6a	3.2a	3.9a	0.75a	0.76a
P valor ³	0.611	0.7	0.950	0.4	0.289	0.5	0.250	0.4	0.939	0.2	0.404	0.20a
P valor ⁴	0.004		2.0 x 10 ⁻⁹		0.6		3.03 x 10 ⁻⁵		6.52 x 10 ⁻⁶		0.75	

¹Comparação dos tratamentos realizada utilizando-se Tukey 5% dentro do mesmo tipo de solo (coluna). ²Comparação dos tratamentos realizada utilizando-se Tukey 5% comparando os tipos de solo (linha). ³P valor referente ao teste F para os tratamentos dentro do mesmo tipo de solo (colunas). ⁴P valor referente ao teste F para os tratamentos comparando os tipos de solo (linhas). Letras minúsculas indicam a comparação dos tratamentos dentro do mesmo tipo de solo (coluna). Letras maiúsculas indicam comparação dos tratamentos nos dois tipos de solo. Os valores obtidos na análise dos tecidos foliares dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) foram expressos em g kg⁻¹.

Tabela 18. Teores dos micronutrientes presentes nas amostras de folhas de sorgo do trifólio médio das plantas aos 35 DAP.

	Fe		Mn		Cu		Zn		B	
	Arenoso B ²	Argiloso A	Arenoso A	Argiloso B	Arenoso B	Argiloso A	Arenoso B	Argiloso A	Arenoso B	Argiloso A
Diclosulam	95.2a ¹	98.0a	25.8a	13.2a	3.9a	5.3a	10.5a	12.6a	3.4a	4.4a
Clorimuron	91.3a	84.9a	26.4a	14.5a	4.3a	4.7a	11.0a	11.6a	1.9a	6.6a
Sulfentrazone	86.4a	86.2a	25.6a	13.4a	3.9a	5.1a	10.6a	13.3a	3.2a	3.7a
Flumioxazina	74.6a	88.4a	22.8a	14.9a	3.9a	4.8a	10.2a	12.5a	1.9a	3.8a
S-metolacoloro	79.6a	88.4a	23.6a	13.7a	3.9a	5.1a	10.8a	12.6a	1.9a	1.9a
Atrazina	84.4a	95.8a	25.7a	14.4a	3.7a	5.0a	9.8a	12.7a	2.6a	3.4a
Atrazina + S-metolacoloro	85.2a	86.4a	24.8a	13.8a	4.1a	4.8a	10.4a	13.2a	2.7a	3.8a
Testemunha Capinada	73.9a	91.3a	24.1a	14.4a	3.6a	4.8a	10.2a	11.8a	2.1a	3.2a
Testemunha Mato competição	71.1a	85.4a	22.7a	14.1a	3.8a	5.1a	9.9a	12.2a	2.4a	3.3a
p valor ³	0.083	0.9	0.945	1.0	0.208	0.3	0.098	0.4	0.643	0.6
p valor ⁴	0.027		1.02 × 10 ⁻¹³		1.6 × 10 ⁻¹³		2.27 × 10 ⁻¹²		0.014	

¹Comparação dos tratamentos realizada utilizando-se Tukey 5% dentro do mesmo tipo de solo (coluna). ²Comparação dos tratamentos realizada utilizando-se Tukey 5% comparando os tipos de solo (linha). ³P valor referente ao teste F para os tratamentos dentro do mesmo tipo de solo (colunas). ⁴P valor referente ao teste F para os tratamentos comparando os tipos de solo (linhas). Letras minúsculas indicam a comparação dos tratamentos dentro do mesmo tipo de solo (coluna). Letras maiúsculas indicam comparação dos tratamentos nos dois tipos de solo. Os valores obtidos na análise dos tecidos foliares dos nutrientes ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn) e boro (B) foram expressos em mg kg⁻¹.

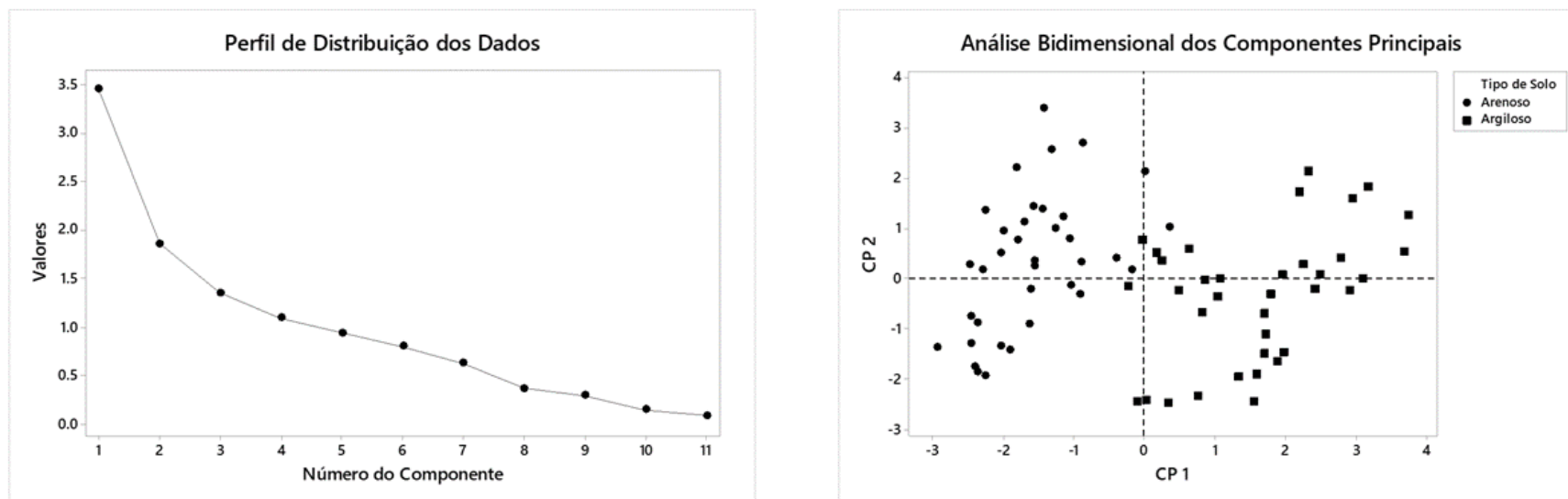


Figura 5. Análise dos componentes principais para avaliação dos teores de nutrientes presentes nas folhas das plantas de sorgo após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes.

Essas observações podem estar relacionadas com as diferentes interações entre o desenvolvimento radicular das plantas e a absorção de nutrientes pelas raízes das plantas quando cultivadas sob aplicação de herbicidas, entretanto estudos futuros são necessários do ponto de vista fisiológico para avaliar tais benefícios dos herbicidas pré-emergentes as culturas. Para Mg, verifica-se interação entre o tipo de solo e o efeito dos herbicidas pré-emergentes. Os tratamentos com clorimuron no solo arenoso, sulfentrazone e flumioxazina no solo argiloso apresentaram maior concentração deste nutriente nas folhas de soja que a testemunha em matocompetição. Embora no solo arenoso não foi possível a diferenciação da produtividade entre os tratamentos, a competição por água, luz e nutrientes ocasionada pelas plantas daninhas, pode em algum momento causar prejuízos a quantidade de nutrientes que chegam as folhas da cultura, região relevante para os processos fotossintéticos, promovendo prejuízos como a formação de EROS pela falta de substrato para as reações químicas envolvidas no processo (Agostinetto et al., 2016).

Analisando os resultados de produtividade na cultura do sorgo no experimento no solo arenoso, verificou-se que a produtividade desta cultura foi protegida pelos tratamentos em que se utilizou os herbicidas diclosulam e clorimuron aplicados na pré-emergência da cultura da soja, sendo estes resultados comparáveis ao tratamento testemunha capinada (Tabela 19). No solo argiloso, os herbicidas diclosulam, clorimuron, sulfentrazone e flumioxazina também aplicados na pré-emergência da cultura da soja protegeram a produtividade da cultura do sorgo, com resultados semelhantes aos obtidos no tratamento testemunha capinada (Tabela 19). Esses resultados evidenciam que estas múltiplas combinações da sucessão de cultivos e os herbicidas pré-emergentes pode ser utilizada, resultando em benefícios para ambas culturas. Adicionando a estes resultados, os efeitos positivos do manejo integrado de plantas daninhas, visualizados na colheita das parcelas experimentais. Isso reforçou ainda mais este conceito de evitar a matocompetição no sistema, pois verifica-se maior facilidade de colheita nas parcelas em que os herbicidas diclosulam, clorimuron, sulfentrazone e s-metolaclopro foram utilizados.

Tabela 19. Produtividade das culturas da soja e do sorgo (kg ha^{-1}) nos experimentos de Rio Verde (RVD) e Montividiu (MVD).

Tratamentos	Soja		Sorgo	
	RVD	MVD	RVD	MVD
Diclosulam	2795.9 ¹ ±547,4 a ²	4631.3±152,2 ³ a	3253.7±701,5 ab	3520.1±214,4 ab
Clorimuron	3355.4±449,9 a	5025.4±145,9 a	3294.3±289,5 ab	3254.1±361,2 ab
Sulfentrazone	3028.5±392,6 a	4645.7±13,3 a	2780.0±613,0 abc	3269.3±346,5 ab
Flumioxazina	3218.3±537,9 a	5011.6±351,8 a	2837.1±685,4 abc	3317.1±927,5 ab
S-metolaclo-ro	3009.9±426,5 a	4590.3±305,8 a	2631.5±200,4 bc	2677.7±405,6 bc
Atrazina ⁴	-	-	2776.4±316,1 abc	2744.7±245,3 abc
Atrazina + S-metolaclo-ro ⁴	-	-	2477.0±197,4 bc	2493.4±201,9 bc
Testemunha capinada (TCAP)	3324.2±637,3 a	4591.6±293,4 a	3478.9±418,7 ab	3922.6±704,9 a
Testemunha matocompetição (TMATO)	2713.8±628,7 a	3546.8±361,7 b	1950.8±261,7 c	1802.1±294,6 c
F	-	6,791	5,149	6,716
P	-	7,0 x 10 ⁻⁴	8,0 x 10 ⁻⁴	1,0 x 10 ⁻⁴

¹Resultados médios das 4 repetições analisadas. ²Médias seguidas da mesma letra para o controle não diferem pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). ³Desvio padrão. F = valor teste F; P = valor da diferença estatística. ⁴Os tratamentos Atrazina e Atrazina + S-metolaclo-ro foram aplicados apenas na pré-emergência da cultura do sorgo. Durante o cultivo da soja esses tratamentos foram mantidos sem matocompetição através da aplicação de glifosato. RVD = experimento conduzido em solo arenoso; MVD = experimento conduzido em solo argiloso. Cada ensaio e cultura foram analisados separadamente.

4.4. Conclusões

A utilização de veículos aéreos não tripulados para avaliação da injúria das culturas após a aplicação de herbicidas pré-emergentes é uma ferramenta importante e complementar para a avaliação do profissional treinado. Esse tipo de avaliação, baseado no uso de sensores de baixo custo, apresenta grande potencial como análise complementar das avaliações de injúrias realizadas no campo e possibilidade utilização crescente na ciência das plantas daninhas. Os herbicidas pré-emergentes avaliados não causaram injúria nas culturas da soja e do sorgo. A complementação das avaliações radiométricas com as avaliações realizadas no campo foram essenciais para evitar associações não correlacionadas ao uso dos herbicidas. A análise dos nutrientes foliares complementou esse diagnóstico, reforçando as características mais limitantes do solo arenoso para cultivos agrícolas. Por isso, para o pleno entendimento da dinâmica dos herbicidas pré-emergentes é essencial o estudo também de sua performance e interação com os cultivos em diferentes tipos de solo.

4.5 Agradecimentos

Este estudo foi realizado com o apoio do Instituto Federal de Goiano, Campus Rio Verde.

4.6. Referências Bibliográficas

AGOSTINETTO, D.; PERBONI, L.T.; LANGARO, A.C.; GOMES, J.; FRAGA, D.S.; FRANCO, J.J. Changes in photosynthesis and oxidative stress in wheat plants submitted to herbicides application. **Planta Daninha**, v. 34, n. 1, p. 1-9. 2016.

ALVES, T.M.; MARSTON, Z.P.; MACRAE, I.V.; KOCH, R.L. Effects of Foliar Insecticides on Leaf-Level Spectral Reflectance of Soybean. **Journal of Economic Entomology**. v. 110, p. 2436-2442. 2017.

BAI, G.; JENKINS, S.; YUAN, W.; GRAEF, G.L.; GE, Y. Field-based scoring of soybean iron deficiency chlorosis using RGB imaging and statistical learning. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1002. 2018.

BARBEDO, J.G.A. A review on the use of unmanned aerial vehicles and imaging sensors for monitoring and assessing plant stresses. **Drones**, v. 3, n. 2, p. 40. 2019

BOARETTO, A.E.; CHITOLINA, J.C.; RAIJ, B.V.; SILVA, F.C.; TEDESCO, M.J.; CARMO, C.A.F.S. Amostragem, acondicionamento e preparação das amostras de plantas para análise química. In: SILVA, J. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, p. 49-73, 1999.

CHAGAS, P.S.F.; DE FREITAS SOUZA, M.; DOMBROSKI, J.L.D.; DE OLIVEIRA JUNIOR, R.S.; DE SOUSA NUNES, G.H.; PEREIRA, G.A.M.; SILVA, D.V. Multivariate analysis reveals significant diuron-related changes in the soil composition of different Brazilian regions. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-12. 2019.

CHE'YA, N.N.; GUPTA, M.; GEORGE, D.; LISLE, A.; BASNET, B.; CAMPBELL, G. Spectral discrimination of weeds using hyperspectral radiometry. Proceedings of the 5th Asian Conference on Precision Agriculture (ACPA), Junho, 25-28, Jeju, Korea. 2013.

CHEN, J.; TANG, Y.H.; CHEN, X.H.; YANG, W. The review of estimating light use efficiency through photochemical reflectance index (PRI). **Journal of Remote Sensing**, v. 12, n. 2, 336, 2008.

CHEN, Y.; QI, H.; LI, G.; LAN, Y. Weed control effect of unmanned aerial vehicle (UAV) application in wheat field. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 2, n. 2. 2019.

CLAESSEN, M.E.C. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Embrapa, CNPS. 1997. 212 p.

DA SILVA, A.R.; DE FREITAS, M.A.; DE SOUZA COSTA, D.; DA SILVA ARAÚJO, L.; DE ALMEIDA ROCHA, R.; DOS SANTOS, P.V.; GALVANI FILHO, M.E. Proximal sensing estimation of glyphosate injury on weeds in central Brazil. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 13, n. 4, 044524. 2019.

EMBRAPA Soja. 2008. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2009 e 2010. Londrina: Embrapa Soja. 262 p. **Sistemas de Produção** n. 13.

European weed research council. EWRC. Report of the 3rd and 4rd meetings of EWRC. Committees of methods in weed research. **Weed Research**, v. 4, p. 88.1964.

EVERMAN, W.J.; MEDLIN, C.R.; DIRKS, R.D.; BAUMAN, T.T.; BIEHL, L. The effect of postemergence herbicides on the spectral reflectance of corn. **Weed Technology**, v. 22, n. 3, p. 514-522. 2008.

GAMON, J.; SERRANO, L.; SURFUS, J.S. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. **Oecologia**, v. 112, n. 4, p. 492-501. 1997.

GITELSON, A.A.; VIÑA, A.; ARKEBAUER, T.J.; RUNDQUIST, D.C.; KEYDAN, G.; LEAVITT, B. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. **Geophysical research letters**, v. 30, n. 5, p. 1-4. 2003.

GUNDY, G.J.; DILLE, J.A.; ASEBEDO, A.R. Efficacy of Variable Rate Soil-applied Herbicides Based on Soil Electrical Conductivity and Organic Matter Differences. **Advances in Animal Biosciences**, v. 8, n. 2, p. 277-282. 2017.

HUANG, Y.; REDDY, K.N.; FLETCHER, R.S.; PENNINGTON, D. UAV low-altitude remote sensing for precision weed management. **Weed technology**, v. 32, n. 1, p. 2-6. 2018.

HUANG, Y.; REDDY, K.N.; THOMSON, S.J.; YAO, H. Assessment of soybean injury from glyphosate using airborne multispectral remote sensing. **Pest management science**, v. 71, n. 4, p. 545-552. 2015.

HUANG, Y.; YUAN, L.; REDDY, K.N.; ZHANG, J. In-situ plant hyperspectral sensing for early detection of soybean injury from dicamba. **Biosystems engineering**, v. 149, p. 51-59. 2016.

KLERKX, L.; JAKKU, E.; LABARTHE, P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. **NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 90, p. 100315. 2019.

Knipling, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. **Remote sensing of environment**, v. 1, n. 3, p. 155-159. 1970.

LIMA, D.V.; KLIEMANN, H.J.; MORAES, M.F.; LEANDRO, W.M. Relações entre doses de calcário e manganês na nutrição mineral da soja na região de Rio Verde-GO. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 2, p. 65-73. 2004.

LIU, H.; WANG, X. Triple-image encryption scheme based on one-time key stream generated by chaos and plain images. **Journal of Systems and Software**, v. 86, n. 3, p. 826-834. 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. 1997. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Potafos, Piracicaba, São Paulo. 319 p.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2014. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. **Secretaria da Defesa Agropecuária**. Brasília. 220 p.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; MIRANDA, M.A.C.; Q.; CARMELLO, Q.A.C.; OLIVEIRA, F.A. Linhagem de soja tolerante a alto teor de manganês. **Bragantia**, v. 54, n. 2, p. 267-271. 1994.

MENDES, A.D.R.; OLIVEIRA, L.E.M.; NASCIMENTO, M.N.; REIS, K.L.; BONOME, L.T.S. Concentração e redistribuição de nutrientes minerais nos diferentes estádios foliares de seringueira. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 2, 525-532. 2012.

PARVIS, M.; PIROLA, M. A measurement of system for on-line estimation of weed coverage. **IEEE transaction on instrumentation and measurement**, v. 48, p. 990-994. 1999.

REDDY, K.N.; JHA, P. Herbicide-resistant weeds: management strategies and upcoming technologies. **Indian Journal of Weed Science**, v. 48, p. 108-111. 2016.

ROBLES, W.; MADSEN, J. D.; WERSAL, R. M. Potential for remote sensing to detect and predict herbicide injury on water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). **Invasive Plant Science and Management**, v. 3, p. 440-450, 2010.

RUTTEN, A.; CASAER, J.; VOGELS, M.F.; ADDINK, E.A.; VANDEN BORRE, J.; LEIRS, H. Assessing agricultural damage by wild boar using drones. **Wildlife Society Bulletin**, v. 42, n. 4, p. 568-576. 2018.

SANTIN, C.A.; GIACOMIN, E.; GALON, L.; MENEGAT, A.D.; ROSSETTO, E.R.O.; FRANCESCHETTI, M.B.; MAICO BAGNARA, A.M.; SILVA, A.M.L.; TONIN, R.J.; BRUNETTO, L.; FORTE, C.T. Association of herbicides for management of weed plants in pre-emergence of soybean culture. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 4, p. 217-224. 2019.

VIBHUTE, A.; BODHE, S.K. Applications of image processing in agriculture: a survey. **International Journal of Computer Applications**, v. 52, n. 2. 2012.

5. CONCLUSÃO GERAL

O estudo da eficiência de controle dos herbicidas pré-emergentes sobre as plantas daninhas, as análises da seletividade destes herbicidas para a cultura da soja e do sorgo cultivados em sucessão, demonstraram que para a prática do manejo integrado de plantas daninhas é essencial o planejamento das atividades, considerando o momento correto para aplicação destes herbicidas e o monitoramento dos efeitos potenciais destes herbicidas sobre os cultivos. Essas operações podem ser realizadas através das análises biométricas, estudo de imagens e acompanhamento da produtividade. Todos os herbicidas pré-emergentes avaliados apresentaram controle para as plantas daninhas avaliadas nas avaliações realizadas na cultura da soja, com incremento nos rendimentos da cultura no solo argiloso. Na cultura do sorgo, os herbicidas utilizados na pré-emergência da soja também proporcionaram benefícios reduzindo a competição entre as plantas daninhas e a cultura. Os herbicidas pré-emergentes avaliados não causaram injúria nas culturas da soja e do sorgo. A complementação das avaliações radiométricas com as avaliações realizadas no campo foram essenciais para evitar associações não correlacionadas ao uso dos herbicidas. A análise dos nutrientes foliares complementou esse diagnóstico, reforçando as características mais limitantes do solo arenoso para cultivos agrícolas. Os resultados gerados neste trabalho podem servir para aprimoramento das pesquisas da área da ciência das plantas daninhas que evolui rapidamente com a utilização das ferramentas da agricultura digital.