



**GUILHERME VIEIRA PIMENTEL**

**SELECTIVITY AND EFFECTIVENESS OF HERBICIDES IN  
THE CORN AND GRAIN SORGHUM CROP**

**LAVRAS – MG  
2018**

**GUILHERME VIEIRA PIMENTEL**

**SELECTIVITY AND EFFECTIVENESS OF HERBICIDES IN THE CORN AND  
GRAIN SORGHUM CROP**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Pimentel, Guilherme Vieira.

Selectivity and effectiveness of herbicides in the corn and grain sorghum crop / Guilherme Vieira Pimentel. - 2018.

97 p. : il.

Orientador(a): Silvino Guimarães Moreira.

.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. *Zea mays*. 2. *Sorghum bicolor*. 3. Sulfoniluréias. I. Moreira, Silvino Guimarães. . II. Título.

**GUILHERME VIEIRA PIMENTEL**

**SELECTIVITY AND EFFECTIVENESS OF HERBICIDES IN THE CORN AND  
GRAIN SORGHUM CROP**

**SELETIVIDADE E EFICÁCIA DE HERBICIDAS NAS CULTURAS DO MILHO E  
SORGO GRANÍFERO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 30 de maio de 2018.

Dra. Flávia Carvalho Santos	REHAGRO
Dr. Amilton Ferreira da Silva	UFSJ
Dr. Elifas Nunes Alcântara	EPAMIG
Dr. Élberis Pereira Botrel	UFLA

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2018**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer os meus pais, Gentil e Ângela. Obrigado por todo o esforço para a minha formação pessoal e profissional. À minha irmã Luana, ao meu cunhado Danilo, à minha sobrinha Helena, e demais familiares, pelo apoio e pela compreensão do tempo de convívio muitas vezes sacrificado para realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura (DAG), pela oportunidade concedida para a realização do doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil, pela concessão de bolsa de estudos e recursos financeiros para realização desse trabalho.

Ao professor e orientador Dr. Silvino Guimarães Moreira, não apenas pela disponibilidade e acompanhamento nessa minha formação profissional, mas também pela sua amizade e seus ensinamentos. Exemplo de profissional, pelo qual tenho grande admiração e gratidão.

Aos demais professores dos Programas de Pós-Graduação da Universidade Federal de Lavras, pelos conhecimentos transmitidos ao longo desta jornada.

Aos funcionários do Setor de Grandes Culturas, pela colaboração nos trabalhos de campo. À Marli dos Santos Túlio, secretária do programa de pós-graduação Agronomia/Fitotecnia, por todo o apoio durante o doutorado.

Aos colegas de orientação e integrantes do Grupo de Pesquisa em Manejo de Sistemas de Produção (GMAP), em especial ao Antônio, Mateus, Carine, Inara, Alessandro, Julia, Anderson, Dante, Daniel e demais, pela disposição, e por serem sempre tão solícitos. Aos demais colegas do Departamento de Agricultura, por todo o convívio e apoio.

À Aline, Franklin e Josi, pela amizade e companheirismo durante toda a minha trajetória. Por mais distantes que pudessem estar, sempre me incentivaram e acreditaram na minha capacidade, tenho muito que agradecer a vocês.

À minha namorada, Daiane Moreira Gomes, pelo carinho, companheirismo, e por acreditar e me incentivar nessa trajetória. Obrigado por todo amor e dedicação.

E finalmente a Deus, por me guiar, iluminar e me dar tranquilidade para seguir em frente com os meus objetivos e não desanimar com as dificuldades. Agradeço por todas as vitórias e conquistas da minha vida.

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

As plantas daninhas exercem papel fundamental na competição por recursos com as culturas do milho e sorgo. Isso proporciona efeitos negativos, principalmente no que se refere às produtividades das culturas. A seletividade e a eficácia de herbicidas são a base para o sucesso do controle químico de plantas daninhas na produção agrícola. O presente trabalho foi dividido em dois artigos. No primeiro artigo, objetivou-se avaliar a eficiência no controle de plantas daninhas e seletividade de herbicidas aplicados em pré e pós-emergência na cultura do sorgo granífero. Avaliou-se sete tratamentos com quatro repetições, no delineamento em blocos casualizados. Os tratamentos utilizados foram: 1. Capina manual; 2. S-metolachlor (1440 g ha<sup>-1</sup> i.a.); 3. S-metolachlor (1440 g ha<sup>-1</sup> i.a.) + atrazina (2000 g ha<sup>-1</sup> i.a.); 4. atrazina (2000 g ha<sup>-1</sup> i.a.); 5. atrazina (3000 g ha<sup>-1</sup> i.a.); 6. atrazina (2000 g ha<sup>-1</sup> i.a.) + óleo mineral (0,25%) e; 7. atrazina (2000 g ha<sup>-1</sup> i.a.) + óleo mineral (0,5%). Verificou-se que a atrazina em pós-emergência foi eficiente no controle de plantas daninhas, além de seletiva à cultura do sorgo, não afetando a produtividade, exceto em mistura com óleo mineral (0,5%). O S-metolachlor não apresentou seletividade em pré-emergência para os cultivares testados, pelo fato de não ser seletivo, promovendo a redução no número de plantas e produtividade. No segundo artigo, o trabalho foi conduzido em duas etapas, sendo que na primeira objetivou-se estudar os efeitos dos herbicidas (tembotrione e nicosulfuron) associados às épocas de adubação nitrogenada na produtividade dos híbridos de milho. O delineamento experimental utilizado foi do tipo blocos casualizados, em esquema fatorial 4 × 2, com 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos de quatro níveis dos fatores modos de controle [capina; nicosulfuron + atrazina (20 e 32 + 1250 g ha<sup>-1</sup> i.a.); e tembotrione + atrazina (75,6 + 1250 g ha<sup>-1</sup> i.a.) ], e dois níveis do fator época de adubação nitrogenada (0 e 7 dias após o controle), sobre os híbridos de milho: P30F53Leptra, DKB 230PRO3 e KWS 9004PRO2 em duas épocas de cultivo (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> safra), ano agrícola 2016/2017. Na segunda etapa, avaliou-se a seletividade de oito híbridos de milho a diferentes doses do herbicida nicosulfuron. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, 3 × 8, adotando-se três repetições. A parcela principal correspondeu às doses de nicosulfuron (0, 20 e 60 g ha<sup>-1</sup> i.a.) e a subparcela, aos híbridos de milho, aplicados em dois experimentos de acordo com os estádios fenológicos V4 e V8. Todos os herbicidas são mais eficazes no controle das plantas daninhas na 1<sup>a</sup> safra, devido as condições climáticas favoráveis. A adubação nitrogenada pode ser realizada no mesmo dia da aplicação dos herbicidas nicosulfuron e tembotrione, não havendo redução da produtividade para os híbridos P30F53Leptra, DKB 230PRO3 e KWS 9004PRO2. Existem diferenças de tolerância entre os híbridos de milho em relação a dose do herbicida nicosulfuron e estágio fenológico de aplicação. Aplicação de nicosulfuron altera o arranjo das fileiras nas espiguetas do híbrido P30F53Leptra.

**Palavras-chave:** *Zea mays*. *Sorghum bicolor*. Sulfoniluréias. Detoxificação

## ABSTRACT

Weeds play a key role in the competition for resources with maize and sorghum crops. This has negative effects, especially with regard to crop yields. The selectivity and efficacy of herbicides are the basis for the success of chemical weed control in agricultural production. This paper was divided into two articles. In the first article, the objective was to evaluate the efficiency in weed control and herbicide selectivity applied in pre and post emergence in the culture of sorghum. Seven treatments with four replications were evaluated in a randomized complete block design. The treatments used were: 1. Manual weeding; 2. S-metolachlor (1440 g ha<sup>-1</sup> a); 3. S-metolachlor (1440 g ha<sup>-1</sup> a.i.) + atrazine (2000 g ha<sup>-1</sup> a.i.); 4. atrazine (2000 g ha<sup>-1</sup> i.a.); 5. atrazine (3000 g ha<sup>-1</sup> a.i.); 6. atrazine (2000 g ha<sup>-1</sup> i.a.) + mineral oil (0.25%) and; 7. atrazine (2000 g ha<sup>-1</sup> i.a.) + mineral oil (0.5%). It was verified that post-emergence atrazine was efficient in the control of weeds, besides being selective to the sorghum crop, not affecting productivity, except in mixture with mineral oil (0.5%). S-metolachlor did not present pre-emergence selectivity for the cultivars tested, because it was not selective, promoting a reduction in plant numbers and productivity. In the second article, the work was carried out in two stages. The first one was to study the effects of herbicides (tembotrione and nicosulfuron) associated with nitrogen fertilization periods on maize hybrids productivity. The experimental design was a randomized block design, in a 4 × 2 factorial scheme, with 4 replicates. The treatments were composed of four levels of the factors control modes [weeding; nicosulfuron + atrazine (20 and 32 + 1250 g ha<sup>-1</sup> a.i.); and tembotrione + atrazine (75.6 ± 1250 g ha<sup>-1</sup> ia), and two levels of the nitrogen fertilization time factor (0 and 7 days after the control), on maize hybrids: P30F53Leptra, DKB 230PRO3 and KWS 9004PRO2 in two growing seasons (1st and 2nd crop), agricultural year 2016/2017. In the second step, the selectivity of eight corn hybrids at different doses of the herbicide nicosulfuron was evaluated. The experimental design was a randomized complete block design, in a subdivided plot scheme, 3 × 8, with three replications. The main plot corresponded to the doses of nicosulfuron (0, 20 and 60 g ha<sup>-1</sup> a.i.) and the subplot, to the maize hybrids, applied in two experiments according to the phenological stages V4 and V8. All herbicides are more effective in weed control in the 1st crop due to favorable weather conditions. Nitrogen fertilization can be carried out on the same day as the application of the herbicides nicosulfuron and tembotrione, with no reduction in productivity for the hybrids P30F53Leptra, DKB 230PRO3 and KWS 9004PRO2. There are tolerance differences between maize hybrids in relation to the dose of the herbicide nicosulfuron and phenological stage of application. Application of nicosulfuron alters the arrangement of the rows in the spikes of the hybrid P30F53Leptra.

**Key-words:** *Zea mays*. *Sorghum bicolor*. Sulfonylureas. Detoxification.

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b>	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL ..... 10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO ..... 13</b>
<b>2.1</b>	<b>Milho..... 13</b>
<b>2.2</b>	<b>Matocompetição na cultura do milho ..... 13</b>
<b>2.3</b>	<b>Controle químico de plantas daninhas no milho sob sistema de plantio direto . 15</b>
<b>2.4</b>	<b>Nicosulfuron..... 16</b>
<b>2.5</b>	<b>Tembotrione..... 20</b>
<b>2.6</b>	<b>Atrazina ..... 21</b>
<b>2.7</b>	<b>Interações entre herbicidas de pós-emergência e épocas de adubação nitrogenada na cultura do milho ..... 22</b>
<b>2.8</b>	<b>Adubação nitrogenada ..... 23</b>
<b>2.9</b>	<b>Interações fitotóxicas entre os herbicidas e as épocas de adubação nitrogenada ..... 25</b>
<b>2.10</b>	<b>Sorgo ..... 27</b>
<b>2.11</b>	<b>Matocompetição na cultura do sorgo ..... 28</b>
<b>2.12</b>	<b>Controle químico de plantas daninhas na cultura do sorgo ..... 28</b>
<b>2.13</b>	<b>S-metolachor ..... 29</b>
	<b>REFERÊNCIAS ..... 31</b>
	<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS* ..... 37</b>
	<b>ARTIGO 1 - Interações entre épocas de aplicação de herbicidas e adubação nitrogenada em híbridos de milho geneticamente modificados ..... 38</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO ..... 40</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS ..... 41</b>
<b>2.1</b>	<b>Primeira etapa ..... 43</b>
<b>2.2</b>	<b>Segunda etapa ..... 45</b>
<b>2.3</b>	<b>Análise estatística ..... 47</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 48</b>
<b>3.1</b>	<b>Primeira etapa ..... 48</b>
<b>3.2</b>	<b>Segunda etapa ..... 55</b>

<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>67</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>68</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>73</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>78</b>
	<b>ARTIGO 2 - Selectivity and effectiveness of herbicides in the grain sorghum crop</b> <b>.....</b>	<b>79</b>
	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>82</b>
	<b>MATERIAL AND METHODS.....</b>	<b>83</b>
	<b>RESULTS AND DISCUSSION.....</b>	<b>85</b>
	<b>REFERENCES .....</b>	<b>90</b>
	<b>ANEXO.....</b>	<b>96</b>

## **PRIMEIRA PARTE**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do milho se apresenta como o principal cereal no mundo em termos de produção de grãos. Na última safra, a produção mundial foi de 1 bilhão, 70 milhões e 510 mil toneladas (USDA, 2018). Atualmente, os Estados Unidos, China e Brasil, contribuem, respectivamente, com aproximadamente 35, 21 e 9% da produção mundial. Ressalta-se que a produção brasileira tem crescido a cada ano, sendo que a previsão para a safra 2017/18 é de 92 milhões de toneladas. Isso equivale a uma redução de 6% comparado à safra 2016/2017 (USDA, 2018).

Ressalta-se que o aumento da produção brasileira de milho ao longo dos últimos anos, somente foi possível devido aos aumentos sucessivos da produtividade a cada ano. Os principais fatores que contribuíram com esse incremento de produtividade foram o desenvolvimento de novos híbridos, altamente produtivos, melhoria no manejo do solo, pragas, doenças e plantas daninhas.

Com relação ao manejo de plantas daninhas, com exceção do milho resistente ao glifosato, lançado comercialmente no Brasil, em 2013, nenhum outro herbicida foi lançado nos últimos 10 anos. O último produto lançado comercialmente para controle de plantas daninhas no milho foi o Soberan® (tembotrione), em 2008. As dificuldades para obtenção de novas moléculas e elevados custos com pesquisas e desenvolvimento, reduziram as inovações na indústria de herbicidas, havendo assim, a busca por um novo paradigma de desenvolvimento, os transgênicos, que possibilitaram maior captação de recurso pela patente do que os produtos químicos, além de reduzir o consumo de defensivos, bem como as empresas passaram a oferecer de forma integrada defensivos e sementes aos agricultores (SILVA; COSTA, 2012).

Neste contexto, nos últimos anos, os principais produtos utilizados pelos produtores em aplicação em pós-emergência tem sido o glifosato, tembotrione, mesotrione, atrazina e nicosulfuron. Dos herbicidas citados, os produtos comerciais a base de nicosulfuron sempre foram os mais utilizados no Brasil, devido ao menor custo por ha, comparado, principalmente, ao Soberan® (tembotrione). Porém, é importante ressaltar que sempre houveram relatos de fitoxidez causadas pelo nicosulfuron em alguns híbridos de milho mais sensíveis, quando eram utilizadas doses mais elevadas, principalmente quando se faziam aplicações de herbicidas próximas às adubações nitrogenadas e/ou aplicações de inseticidas organofosforados. No

entanto, nos últimos anos, mesmo com lançamento de novos híbridos, existem poucos estudos na literatura sobre a sensibilidade dos novos materiais, aos atuais herbicidas disponíveis.

No campo, muitas atividades de manejo ocorrem em um curto espaço de tempo, ou mesmo em um único dia. O controle de plantas daninhas em pós-emergência, e as adubações nitrogenadas de cobertura, são realizadas em um curto espaço de tempo, normalmente entre os estádios fenológicos V<sub>3</sub> a V<sub>4</sub> para a cultura do milho. Suspeita-se que as operações realizadas simultaneamente possam causar sintomas de fitotoxicidade na cultura, principalmente devido a utilização de híbridos mais produtivos e as elevadas doses de nitrogênio recomendadas atualmente. Isso traz dúvidas quanto a possibilidade de interações fitotóxicas das altas doses de N, aplicadas em híbridos com alto potencial de produtividade.

Comparado ao milho, o sorgo apresenta no mundo, uma área de cultivo muito reduzida, sendo o quinto cereal mais cultivado do mundo (RIBAS, 2014). Por outro lado, apresenta grande importância em países e em algumas áreas do globo com pluviosidade reduzida. No Brasil, a cultura do sorgo deverá ter uma área plantada de 655,1 mil hectares e uma produtividade de 2.875 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2018/19 (CONAB, 2018). A área de sorgo, segunda safra no estado de Minas Gerais, está estimada em 190,1 mil hectares, 3,8% superior à safra passada, com uma produtividade média de 3.363 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que a produção poderá alcançar 639,4 mil toneladas.

Principalmente por apresentar uma área de cultivo reduzida, poucos herbicidas foram desenvolvidos para a cultura do sorgo, sendo registrados apenas Atrazina, Simazina e 2,4-D (AGROFIT, 2018). No caso específico de herbicidas para aplicação em pós emergência, a atrazina é o único produto registrado. Esse fato desperta a necessidade de estudos sobre seletividade de herbicidas para essa cultura e, por meio desses, estimular as empresas de agroquímicos a obter o registro junto aos órgãos competentes.

O sorgo, tradicionalmente, apresenta maior suscetibilidade a herbicidas quando comparado ao milho, tanto que comumente é utilizado como planta indicadora de herbicidas, principalmente de graminicidas. Dessa forma, estudos sobre os efeitos e eficácia dos herbicidas na cultura do sorgo são fundamentais para aumento de alternativas para o controle da comunidade infestante (MACHADO et al., 2016).

Diante do exposto, objetivou-se com o presente estudo, avaliar os efeitos fitotóxicos da interação herbicidas e adubação nitrogenada para a cultura do milho, bem como a eficiência de

diferentes herbicidas no controle de plantas daninhas e sua seletividade na cultura do sorgo granífero.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Milho**

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, sendo sua importância caracterizada pelas diversas formas de utilização, que vão desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal, representa no mundo, a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% do total produzido. No Brasil varia de 60 a 80%, dependendo da fonte da estimativa e de ano para ano (DUARTE et al., 2010).

A posição consolidada da área de milho, reunindo a primeira e segunda safras, no ano agrícola 2016/17, atingiu 17591,7 milhões de hectares. As boas condições climáticas nas principais regiões do país proporcionaram uma produção recorde, atingindo 97,8 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

A correta escolha dos híbridos de milho permite obter maior produtividade, porém, os fatores abióticos e bióticos, como disponibilidade de água, luz, nutrientes, pragas e doenças, poderão limitar o potencial genético dos cultivares (CRUZ et al., 2010). Dentre os fatores que influenciam na produtividade da cultura, destaca-se a interferência de plantas daninhas, durante o período de maior vulnerabilidade da cultura (SILVA et al., 2007).

### **2.2 Matocompetição na cultura do milho**

As plantas daninhas são associadas à muitas culturas e são uma grande ameaça para a produção agrícola, podendo ocasionar perdas diretas à produção de grãos, devido sua concorrência, além de algumas serem hospedeiras de doenças e pragas (GONÇALVES et al., 2015). Potencialmente, as plantas daninhas podem reduzir a produtividade das culturas em 37%, o que é bem maior do que o potencial dos insetos- pragas (18%), fungos e bactérias (16%) e vírus (2%), separadamente (OERKE, 2006).

A cultura do milho, embora seja considerada competitiva com as plantas daninhas, pode ser severamente afetada pela interferência dessas no desenvolvimento, na qualidade dos grãos, na operacionalidade da colheita e, na redução da produtividade, especialmente em condições de sequeiro (SULEWSKA et al., 2012; IDZIAK; WOZNICA, 2013).

Estima-se que as perdas de produtividade, devido a interferência das plantas daninhas na cultura do milho variam de 10 a 85%, quando não manejadas adequadamente (KARAM; SILVA, 2009). A grande amplitude de variação é função das espécies presentes no local, da densidade de infestação, do tipo de solo, das condições climáticas predominantes no período, além do estágio fenológico da cultura (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Dentre os diversos fatores que influenciam nas perdas de produtividade, o grau de infestação é o mais importante.

Quanto aos períodos de convivência entre as plantas daninhas e as plantas cultivadas, devem ser destacados três períodos, definidos por Pitelli e Durigan (1984). Esses são: (1) período anterior à interferência (PAI) ou o comprimento máximo de, durante o qual as plantas daninhas que surgem logo após a semeadura podem coexistir com a safra, sem causar perda de produtividade inaceitável; (2) o período total de prevenção à interferência (PTPI), correspondente ao intervalo de tempo entre a implantação da cultura e o momento em que as práticas de controle deixam de ser necessárias. As plantas daninhas que germinam após o término do PTPI não promovem reduções de produtividade da cultura e; (3) o período crítico de prevenção da interferência (PCPI), ou o comprimento mínimo de tempo necessário para a cultura ser mantida livre das plantas daninhas antes da perda de produtividade, até o momento em que as plantas daninhas que vierem a emergir posteriormente, não mais interfiram na produtividade da cultura.

Diversos autores têm usado o PCPI para determinar o período em que as operações de controle devem ser utilizadas, para minimizar as perdas de produtividade para a cultura do milho (TABELA 1).

Tabela 1 - Estudos dos períodos de interferência em dias após a emergência, obtidos na literatura.

Ano	Autores	P.D.	PTPI	PAI	PCPI	Redução da Produtividade <sup>1</sup>
			-----DAE-----			-----%-----
2002	KOZLOWSKI	Várias spp.	45	12	33	87
2003	SKÓRA NETO	Várias spp.	-	28	-	48
2004	VIDAL et al.	BRAPL	50	20	30	60
2008	GALON et al.	BRAPL	27	11	16	71
2009	KOZLOWSKI; KOEHLER; PITELLI	Várias spp.	-	24	-	15
2016	SINGH et al.	Várias spp.	60	30	30	-

<sup>1</sup> Redução da produtividade quando na presença das plantas daninhas por todo o ciclo da cultura do milho. P.D. – plantas daninhas; BRAPL- *Brachiaria plantaginea*; DAE – dias após a emergência; PTPI - período total de prevenção à interferência; PAI - período anterior à interferência; PCPI - período crítico de prevenção da interferência.

A interferência das plantas daninhas pode acarretar uma redução de até 87% na produtividade, em condições onde não há controle das mesmas na cultura do milho (TABELA 1). Sendo considerado de grande importância o PCPI, entre os estágios fenológicos de duas a sete folhas definitivas (V2 a V7), no qual, nesse período, deve se evitar a competição das plantas daninhas com a cultura (KOZLOWSKI, 2002).

O uso da capina manual elimina imediatamente as plantas daninhas, todavia, o uso de herbicidas em pós-emergência na cultura do milho irá permanecer por um período variável na área, competindo com a cultura. Para evitar essa competição, ressalta-se que em lavouras tecnificadas, de alta produtividade, o controle de plantas daninhas é efetuado precocemente (V2) através de aplicações sequenciais de herbicidas, apresentando melhores resultados de controle quando comparados com aplicações tardias (V7). Dessa forma, para interromper imediatamente o processo de competição, os produtos recomendados em pós-emergência, devem possuir certas características importantes, como elevada seletividade à cultura e rápida ação no controle das plantas daninhas (FANCELLI et al., 1998). Assim, o controle de plantas daninhas na cultura do milho é fundamental e é baseado, principalmente, no método químico.

### 2.3 Controle químico de plantas daninhas no milho sob sistema de plantio direto

Com o crescimento do sistema de plantio direto (SPD), nos últimos anos, houve uma adoção ainda maior do controle químico, o qual substituiu o controle realizado no sistema

convencional, por meio de capinas manuais, cultivo mecânico das entrelinhas, além da aração e gradagem. A maior utilização do controle químico é decorrente da sua maior eficácia, conveniência e viabilidade de custos (JAKELAITIS et al., 2006; GLOWACKA, 2011).

Após a adoção do SPD, ocorreram reduções nas aplicações de herbicidas em pré-emergência. Isso porque no SPD ocorre uma redução de sua ação, devido à interrupção do seu movimento até o solo, por uma espessa camada de cobertura morta (palha), ocasionando uma retenção e/ou possibilidade de degradação e volatilização dos herbicidas interceptados. Diversos caracteres podem afetar a retenção dos herbicidas pela palhada, como intensidade e época de ocorrência de chuvas após a aplicação dos produtos, assim como pelas diferentes solubilidades e pressões de vapor dos mesmos (MATOS et al., 2016).

Em decorrência da baixa eficiência dos herbicidas pré-emergentes no SPD, novos herbicidas e/ou associações para aplicação em pós-emergência foram registrados e, se fortaleceram como uma ferramenta no controle de plantas daninhas na cultura do milho (KARAM et al., 2009). Diversos produtores rurais têm adquirido esses produtos por apresentarem vantagens como a seletividade em relação às plantas presentes na área (CARVALHO et al., 2010).

Assim, com a crescente utilização dos produtos em pós-emergência, a seletividade dos herbicidas à cultura do milho é fundamental. São conhecidos exemplos de herbicidas que, dependendo das condições de uso, podem ocasionar efeitos fitotóxicos, reduzindo o crescimento e a produtividade das plantas. Assim, estudos sobre a seletividade dos herbicidas e os efeitos na produtividade da cultura do milho são importantes, pois poderá ocorrer fitotoxicidade oculta, quando as plantas não mostram sintomas visíveis, mas apresentam redução na produtividade. Portanto, é importante o conhecimento do ciclo da cultura, das necessidades e momentos de definição do potencial produtivo dessas, assim como estipular momentos de intervenção de forma mais segura (LÓPEZ-OVEJERO, 2000). A seguir serão destacados os principais herbicidas para aplicações em pós emergência, utilizados na cultura do milho.

#### **2.4 Nicosulfuron**

A facilidade no controle de plantas daninhas na cultura do milho em pós-emergência ocorreu após a introdução no mercado brasileiro dos produtos do grupo químico das

sulfoniluréias. Dentre eles, destaca-se o nicosulfuron, que ganhou notoriedade entre os produtores e teve sua utilização aumentada gradativamente devido a elevada eficácia agrônômica no controle de diversas espécies de plantas daninhas, às baixas doses recomendadas, à baixa toxicidade aos mamíferos e à seletividade (MORAES et al., 2009).

Seletividade é a característica dos herbicidas que possibilita a sua aplicação para o controle de plantas daninhas, sem causar danos às culturas. Em geral, a seletividade é o resultado de diferenças na resposta das espécies vegetais a um determinado herbicida (ALTERMAN; JONES, 2003).

O nicosulfuron é um herbicida sistêmico, de rápida absorção pelas folhas e translocados via apoplasto e simplasto até o sistema radicular, pontos de crescimento celular e regiões meristemáticas. Promove a inibição da enzima acetolactato sintase (ALS) ou acetohidroxiácido sintase (AHAS), cujo mecanismo de ação atua inibindo a síntese dos aminoácidos alifáticos de cadeia lateral: valina, leucina e isoleucina (TREZZI; VIDAL, 2001). A paralização na síntese dos aminoácidos leva a uma interrupção na divisão celular e paralização do crescimento das plantas daninhas.

Os sintomas da ação desses herbicidas são caracterizados pela clorose de folhas novas e a necrose de tecidos, o que ocorre entre 7 e 14 dias após a aplicação, podendo estender até os 21 dias, dependendo do estágio fenológico da cultura no momento da aplicação. No entanto, a interrupção no crescimento das plantas e a morte das regiões meristemáticas ocorrem logo após a aplicação (TREZZI; VIDAL, 2001; RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

A seletividade do herbicida à cultura do milho ocorre devido ao metabolismo rápido do nicosulfuron, que também pode estar relacionada com a sua velocidade de absorção, mais lento para a cultura de milho (SILVA et al., 2007). Nas sulfoniluréias, a seletividade está associada ao metabolismo diferencial. As sulfoniluréias são seletivas por sofrerem desativação metabólica, por hidrólise pela ação do citocromo P-450 monooxigenase, ou seja, é a conversão rápida a compostos inativos nas culturas tolerantes, ao passo que pouco ou nenhum metabolismo pode ser medido em plantas sensíveis (SIMINSZKY, 2006; OLIVEIRA JR.; INOUE, 2011).

Estudos recentes têm mostrado que alguns híbridos apresentam diferentes níveis de tolerância ao herbicida nicosulfuron, dependendo da dose, do ambiente e estágio fenológico da planta. Ao avaliar a produtividade de cinco híbridos de milho submetidos a taxas crescentes de nicosulfuron, Cavalieri et al. (2008) observaram uma redução de 17,4% na produtividade de

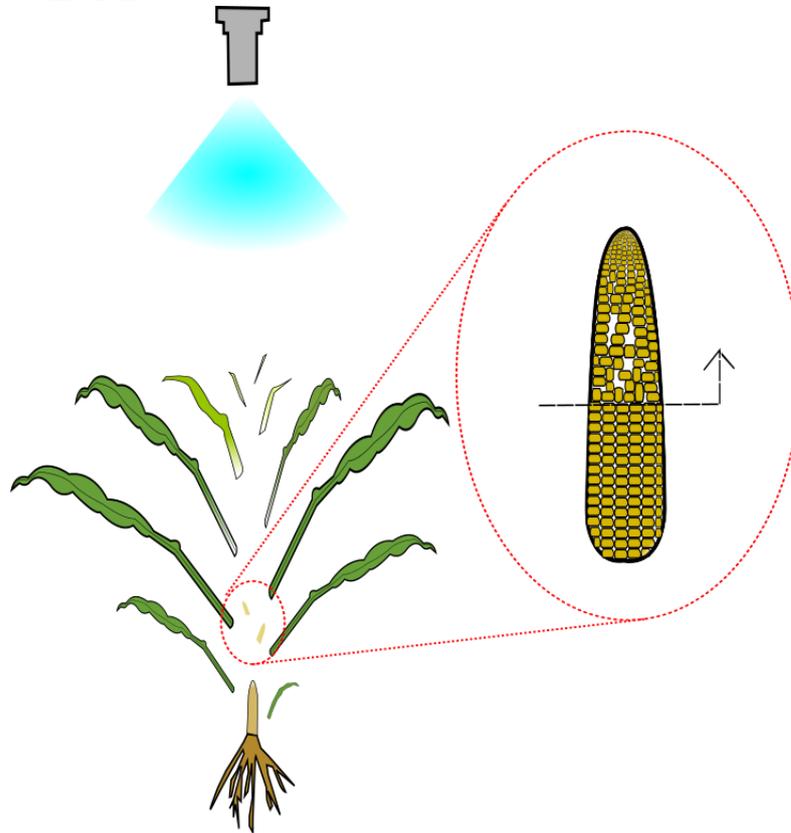
grãos, para apenas um dos híbridos testados, com a maior dose do herbicida ( $60 \text{ g ha}^{-1}$ ). Em outro estudo, Cavalieri et al. (2010) observaram contrastes realizados a taxas de 30 e  $60 \text{ g ha}^{-1}$  de nicosulfuron, verificando-se que os híbridos Ballu e Coodetec foram mais sensíveis ao herbicida, quando comparado com os outros 33 híbridos de milho estudados.

De acordo com Peixoto e Ramos (2002), os híbridos de milho podem ser divididos em três grupos, com base nos diferentes níveis de sensibilidade ao nicosulfuron: i) híbridos sensíveis; ii) híbridos intermediários e iii) híbridos tolerantes. Os primeiros são provenientes de parentais sensíveis. Os híbridos intermediários são aqueles que, dependendo da dose e de alguns fatores ambientais e de manejo, podem apresentar ou não fitotoxicidade. Os híbridos tolerantes não apresentam sintomas de fitotoxicidade nas doses recomendadas, pois ambos os parentais são tolerantes.

Na maioria dos híbridos, a tolerância é mais acentuada nos primeiros estádios fenológicos. A seletividade do nicosulfuron para a cultura do milho diminui a partir do estágio fenológico V6 (seis folhas expandidas) e, com doses maiores ou iguais a  $60 \text{ g ha}^{-1}$  i.a. (SPADER; VIDAL, 2001). Observou-se também, que com a aplicação do herbicida nicosulfuron ( $52 \text{ g ha}^{-1}$  i.a) nos estádios fenológicos V4 e V8, ocorreram reduções de produtividade, sendo maiores quando os herbicidas foram aplicados com as plantas de milho em V8, principalmente por provocarem redução do número de fileiras por espiga e número de grãos por fileira (LÓPEZ-OVEJERO, 2003).

Substâncias denominadas fitoalexinas são responsáveis pela metabolização das moléculas do herbicida. Porém, a produção de fitoalexinas em quantidades suficientes para a degradação do herbicida são reduzidas com o desenvolvimento das plantas. Após o estágio de desenvolvimento V<sub>5</sub> essas substâncias são produzidas em menor quantidade, aumentando a possibilidade de estresse da cultura. É relatado na literatura, que a aplicação tardia de nicosulfuron após a fase fenológica V<sub>5</sub>, no momento da definição do número de fileiras nas espigas de milho, poderá impedir a duplicação dos óvulos causando deformações na espiga e, conseqüentemente, menor número de grãos por espiga, devido a translocação desses para as regiões meristemáticas da planta, inibindo a divisão celular (FIGURA 1) (MAGALHÃES et. al., 1995; FANCELLI; DOURADO-NETO, 2000). No entanto, faltam estudos para os híbridos mais modernos e produtivos utilizados nos atuais sistemas de produção de grãos do país, seja no cultivo de verão ou na segunda safra.

Figura 1 – Esquema da translocação do herbicida nicosulfuron para as regiões meristemáticas, inibindo a divisão celular e consequentemente reduzindo a produção de grãos por espiga; seta para cima - indicando o momento em que ocorreu a interferência, promovendo uma deformação e redução do número de fileiras da espiga, deste ponto em diante.



Fonte: Do autor (2018).

A utilização desse herbicida ainda necessita de certos cuidados, como o conhecimento da seletividade do híbrido utilizado. De forma geral, são conhecidos alguns cuidados que devem ser adotados antes de aplicar o herbicida, como o conhecimento do estágio fenológico da cultura no momento da aplicação, evitar aplicações tardias após V<sub>5</sub>, além de respeitar o período de carência entre a aplicação do herbicida e a do inseticida organofosforado ou da adubação nitrogenada de cobertura, de 7 a 10 dias, pois, quando negligenciados, podem interferir em sua seletividade e causar fitotoxicidade à cultura (PEIXOTO; RAMOS, 2002; LÓPEZ-OVEJERO et al., 2003). Novos estudos necessitam ser realizados, pois há carência de informações sobre a seletividade do nicosulfuron aos híbridos atuais.

## 2.5 Tembotrione

Entre os herbicidas registrados para a cultura do milho, o nicosulfuron ainda é um dos mais utilizados. Entretanto, com o lançamento do tembotrione, no Brasil, em 2008, foi disponibilizado para o produtor outra boa opção para controle de plantas daninhas na cultura do milho, o qual vem apresentando controle satisfatório de diversas espécies de plantas daninhas (BRASIL, 2016).

O tembotrione pertencente ao grupo químico das tricetonas, cujo modo de ação é a inibição da enzima 4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenase (HPPD), que atua na síntese de carotenoides, resultando no acúmulo de fitoeno e fitoflueno, com predomínio de fitoeno, que são dois precursores, sem cor, do caroteno. Há o desenvolvimento de uma intensa coloração esbranquiçada nas folhas das plantas daninhas que emergem após a aplicação, a qual evolui para uma seca e morte subsequente. Esses sintomas resultam de uma inibição indireta da síntese de carotenoides, devido ao envolvimento da plastoquinina como cofator da enzima fitoeno desaturase (SENSEMAN, 2007). Embora o crescimento das partes novas seja branco, este herbicida não inibe diretamente a biossíntese de clorofila. A perda da clorofila é resultado da oxidação pela luz, devido à falta de carotenoides que a protegem da foto-oxidação (KARAM; OLIVEIRA, 2007). Esses sintomas de fitotoxicidade aparecem rapidamente nas espécies sensíveis, após a absorção (pelas folhas e raízes) desse herbicida (KARAM et al., 2009).

Estudos têm sido conduzidos para avaliar a seletividade do tembotrione aos diversos híbridos de milho, como o realizado por Karam et al. (2009), na qual observaram que o tembotrione, em diferentes dosagens (80 e 100 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), foi seletivo a cinco híbridos de milho. Diversos híbridos de milho também foram seletivos ao tembotrione em estudo desenvolvido por Spader et al. (2008).

Outros estudos sobre tolerância de híbridos de milho ao tembotrione foram realizados, mostrando comportamentos semelhantes aos descritos anteriormente (CONSTANTIN et al., 2006; ZAGONEL; FERNANDES, 2007). Porém, foram observados leves sintomas de fitotoxicidade até 14 dias após a aplicação (DAA). No entanto, posteriormente, esses sintomas não foram mais observados, e não chegaram a afetar a produtividade. Essa rápida recuperação dos efeitos fitotóxicos também foram observados em milho-pipoca aos 8 DAA, não mostrando diferenças significativas entre as cultivares PA-038 e Viçosa-Maringá, com a testemunha após esse período (FREITAS et al., 2009). Ressalta-se que, apesar da existência dos estudos citados,

ainda há necessidade de novos trabalhos para outros híbridos ainda não testados, pois são lançados anualmente vários híbridos no país, os quais podem apresentar sensibilidade diferente aos herbicidas comparados àqueles já testados.

## 2.6 Atrazina

A utilização de rotação de diferentes mecanismos de ação se faz necessária quando se almeja um manejo sustentável das plantas daninhas. Dessa forma, além dos herbicidas discutidos (nicosulfuron, tembotrione), uma alternativa para o controle de plantas daninhas na cultura do milho (RR), em pós-emergência, é a utilização de herbicidas do grupo das triazinas, tendo como destaque nesse grupo a atrazina. Trata-se do herbicida mais utilizado na cultura do milho, em função de seu amplo espectro de controle de plantas daninhas, assim como seu baixo custo e considerável efeito residual no solo (BALBINOT JR.; TREZZI, 2010; MARCHESAN, 2011).

A atrazina apresenta-se como mecanismo de ação a inibição do Fotossistema II (MARCHI; MARCHI; GUIMARÃES, 2008). Quando absorvidas, as moléculas do herbicida encaixam-se no sítio de ligação da quinona Q<sub>b</sub>, componente do sistema fotossintético, o que afeta o processo de transferência de elétrons da fotossíntese, a ponto de paralisá-las. Apesar disso, a principal causa da morte das plantas é devido à contínua captação de energia solar pelas clorofilas, não havendo a transferência de elétrons para os processos subsequentes da fotossíntese. Assim, as moléculas de clorofila ficam sobrecarregadas, passando a ser denominadas clorofilas tripleto (PETERSON et al., 2015), e os elétrons não convertidos em energia química (ATP/NADPH) formarão radicais livres, que destroem as membranas lipídicas e causam a morte da planta (OLIVEIRA JR., 2011).

A ação seletiva das triazinas é primariamente determinada pelo metabolismo secundário. Nas plantas de milho, devido à presença da enzima glutathione S-transferase, podem detoxificar os compostos triazínicos por um processo chamado tolerância fisiológica diferencial (PETERSON et al., 2015), bem como a hidroxilação causada pela heme proteína citocromo P-450, tornando-o inofensivo à planta (MARCACCI et al., 2005).

Como destaque, a atrazina também pode estar associada a outros herbicidas, como o nicosulfuron do grupo das sulfoniuréias, inibidores da ALS (TIMOSSO; FREITAS, 2011), e o tembotrione do grupo das tricetonas, inibidores da enzima HPPD (WILLIAMS et al., 2011).

Essas associações têm sido muito utilizadas pelos produtores com o objetivo de aumentar o espectro de controle de plantas daninhas. Normalmente, nessas associações se reduz a dose de nicosulfuron e tembotrione. A redução é feita conforme as plantas daninhas e o grau de infestação (VARGAS et al., 2006).

Sintomas iniciais de fitotoxicidade em plantas de milho foram verificadas para oito híbridos de milho (DKB 499, DKB 330, DKB 789, DKB 390, AG 2060, AG 7000, AG 7010 e AG 8088), pulverizados no estágio V<sub>4</sub>, quando associado nicosulfuron mais atrazina (20 g ha<sup>-1</sup> + 1500 g ha<sup>-1</sup> i.a.), porém, sem prejuízos na produtividade de grãos (NICOLAI et al., 2008). Esses mesmos efeitos também foram observados para a associação de nicosulfuron mais atrazina (50 g ha<sup>-1</sup> + 1200 g ha<sup>-1</sup> i.a.) para cinco híbridos de milho (AG 405, A5 3466 TOP AGROESTE, 30F80 38318 R2 MG PIONER, UENF 506-8 e BR 406 – AGROMEN) (FREITAS et al., 2008).

Já foram observadas em outros estudos, a eficácia dos herbicidas nicosulfuron e tembotrione associados a atrazina, no controle de diversas espécies de plantas daninhas (ZAGONEL; FERNADES, 2007; TIMOSSI; FREITAS, 2011). Por exemplo, Timossi e Freitas (2011), observaram maior eficácia no controle das plantas daninhas quando aplicado nicosulfuron + atrazina (40 + 1000 g ha<sup>-1</sup> i.a.) na cultura do milho, o que proporcionou maiores produtividades de grãos do híbrido BRS 1035.

## **2.7 Interações entre herbicidas de pós-emergência e épocas de adubação nitrogenada na cultura do milho**

Para a cultura do milho, recomenda-se um período de carência de 7 a 10 dias entre as aplicações de alguns herbicidas e a aplicação de fertilizantes nitrogenados (PEIXOTO; RAMOS, 2002; LÓPEZ-OVEJERO et al., 2003). Por outro lado, nem sempre tem sido adotado no campo, todas as recomendações das pesquisas. Por vezes, a aplicação de herbicidas e a realização da cobertura nitrogenada ocorrem em um intervalo de tempo muito curto ou, no mesmo dia. Quando o período de carência não é respeitado, sintomas de fitotoxicidade podem ser observados, ocorrendo perdas na produtividade final da cultura.

Algumas considerações importantes sobre o período de carência devem ser observadas, como as quantidades e as fontes de nitrogênio aplicadas (PEIXOTO; RAMOS, 2002).

## 2.8 Adubação nitrogenada

No solo, o N encontra-se em formas inorgânicas e orgânicas, sendo que 95 a 98% do nitrogênio total existente no solo se encontra na forma de compostos orgânicos (R - NH<sub>2</sub>). Para que o nitrogênio orgânico possa ser absorvido pelas plantas e microrganismos, essas formas necessitam ser transformadas em formas inorgânicas, amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), pelo processo de oxidação microbiana, que incluem a mineralização e nitrificação, sendo o nitrato, a forma preferencial de absorção para grande parte das culturas (CANTARELLA, 2007).

Após absorção pelas plantas, o N é incorporado para formar ácido glutâmico, por uma sequência de reações catalisadas por enzimas como a glutamina sintetase (GS) e glutamato sintetase (GOGAT). No caso de a absorção ocorrer na forma nítrica, também pelo nitrato redutase (NR) e nitrito redutase (NIR), enzimas que mediam a redução do NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. A maioria dessas enzimas é dependente do suprimento de energia via NAD(P)H ou ferredoxina (HUPPE; TURPIN, 1994).

Parte da quantidade de N requerido pelas culturas pode ser suprida pelo solo, no entanto, em muitas situações, o solo é incapaz de atender toda a demanda, tornando-se necessária a fertilização nitrogenada (CANTARELLA, 2007). No Brasil, os fertilizantes nitrogenados mais utilizados são a ureia, nitrato e sulfato de amônio.

A ureia é hidrolisada rapidamente no solo, transformando-se em amônia (NH<sub>3</sub>) pela ação da enzima urease, normalmente com alguma perda de amônio por volatilização. Posteriormente, parte da amônia é convertida em amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), o qual pode ser retido pelas cargas negativas do solo. Por outro lado, vários autores observaram que o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> proveniente da ureia tende a ser nitrificado mais rapidamente do que o do sulfato de amônio, em virtude da elevação do pH do meio durante a hidrólise da ureia (SILVA; DO VALE, 2000). Assim, o N da ureia é inicialmente móvel (como ureia) no solo, depois se torna pouco móvel (como NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e, finalmente, passa a uma forma bastante móvel (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (CANTARELLA, 2007).

O NO<sub>3</sub><sup>-</sup> não é retido no solo e é mais sujeito a perdas por lixiviação. Assim, fertilizantes que contêm esse ânion podem, teoricamente, ser mais suscetíveis a perdas por lixiviação. No entanto, em solos em condições aeróbicas e altas temperaturas – típicas de períodos em que as culturas são adubadas, o N amoniacal é oxidado a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em um intervalo de tempo relativamente curto, 15 a 30 dias. Desse modo, em curto prazo, mesmo solos adubados com N amoniacal, tendem a ter o N predominantemente na forma NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Portanto, em muitas situações, a vantagem

com relação à lixiviação de fertilizantes com N amoniacal em relação àqueles que têm N na forma nítrica, pode ser muito pequena e transitória (CANTARELLA, 2007).

Com o crescente aumento das produtividades nas lavouras de milho no Brasil, e o manejo do solo sob SPD, tem-se buscado realizar adubações bem dimensionadas e equilibradas com os nutrientes requeridos pelo milho. A fertilidade do solo não pode ser limitante quando se trabalha com investimentos pesados nos demais fatores de produção. Tem se tornado frequente o relato de produtividades de grãos acima de 12 t ha<sup>-1</sup>, obtidas nas principais regiões agrícolas do país nas safras de verão, com recomendações de adubação nitrogenada de até 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, em ambiente com fertilidade construída no SPD (RESENDE et al., 2012).

Para um manejo adequado do fertilizante nitrogenado é importante observar as exigências desse nutriente durante o desenvolvimento da cultura do milho. Na semeadura do milho, aplica-se cerca de um terço do requerimento total e, posteriormente, o restante em cobertura (CANTARELLA, 2007). A maior necessidade relativa de nitrogênio compreende o período entre a emissão da 4<sup>a</sup> e da 8<sup>a</sup> folha, e a maior necessidade absoluta de nitrogênio compreende o período entre a emissão da 8<sup>a</sup> e da 12<sup>a</sup> folha (COELHO, 2007). Outros autores relatam a necessidade da realização da adubação nitrogenada de cobertura, quando as plantas de milho apresentam de três a cinco folhas completamente expandidas (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2000).

Entretanto, experimentos conduzidos no Brasil evidenciaram que a aplicação parcelada de nitrogênio em duas, três ou mais vezes para a cultura do milho, com doses variando de 60 a 120 kg ha<sup>-1</sup>, em solos de textura média e argilosa, não refletiram em maiores produtividades em relação a uma única aplicação na fase inicial de maior exigência da cultura, ou seja, 30 a 35 dias após a semeadura. É importante salientar que as informações apresentadas anteriormente foram obtidas em solos de textura média argilosa. Para as condições do Brasil, de acordo com as informações disponíveis, em geral deve-se usar maior número de parcelamento sob as seguintes condições: a) altas doses de nitrogênio (120 a 200 kg ha<sup>-1</sup>); b) solos de textura arenosa; c) áreas sujeitas a chuvas de alta intensidade (COELHO, 2007).

Dessa forma, as doses mais elevadas de nitrogênio utilizadas recentemente podem requerer um período de carência mais prolongado entre a aplicação dos herbicidas e a adubação nitrogenada, situação atual nas principais regiões produtoras de milho no verão, caracterizadas pelas elevadas produtividades e altos investimentos (PEIXOTO; RAMOS, 2002).

## 2.9 Interações fitotóxicas entre os herbicidas e as épocas de adubação nitrogenada

A metabolização dos herbicidas pelas plantas de milho, podem ser agravadas sob condições de estresse térmico e de umidade, exigindo um maior período de carência entre as aplicações dos herbicidas e as adubações. De acordo com Peixoto e Ramos (2002), em regiões frias, a metabolização do herbicida pelo milho é mais lenta, devendo se atentar mais para os fatores e prazos para os manejos de nitrogênio e controle de plantas daninhas. Bónis et al. (2006), estudaram a tolerância de 20 híbridos de milho ao nicosulfuron aplicado em pós-emergência, no período seco e no frio úmido. No período frio houve redução no processo de detoxificação, levando ao acúmulo do herbicida nas plantas de milho. Desapareceram todos os sintomas após um longo período vegetativo, sem afetar significativamente a produtividade de grãos da cultura.

Outro fator importante é a falta de chuvas logo após a aplicação do fertilizante nitrogenado, isso porque, em decorrência de déficit hídrico, ocorre a paralização quase que completa das funções metabólicas nas plantas de milho. Assim, deve-se considerar o período de carência a partir da retomada das condições fisiológicas da lavoura (PEIXOTO; RAMOS, 2002).

Já foram observadas interações significativas entre a taxa de fertilização com N e a eficiência de herbicidas sobre plantas daninhas (CATHCART; CHANDLER; SWANTON, 2004; SØNDERSKOV; SWANTON; KUDSK, 2012). Contudo, poucos trabalhos foram conduzidos de modo a relacionar a aplicação de N em cobertura com a seletividade de herbicidas às culturas.

Cavenaghi et al. (2008) testaram duas diferentes formulações do herbicida nicosulfuron (Accent<sup>®</sup> e Sanson<sup>®</sup>, 30 g ha<sup>-1</sup> i.a.) com atrazina (Siptran<sup>®</sup>, 1500 g ha<sup>-1</sup> i.a.), em pós-emergência na cultura do milho (estádios V<sub>4</sub> a V<sub>5</sub>) e, duas formas de aplicação do nitrogênio (a lanço e incorporada, com 112,5 kg ha<sup>-1</sup> de N), em diferentes intervalos de aplicação em relação aos herbicidas (7 e 3 dias antes; 0; 3 e 7 dias após a aplicação). Observaram que os híbridos Pioneer 3021 e 30F80 não apresentaram redução na produtividade de grãos de milho, quando se realizou a adubação nitrogenada em cobertura no mesmo dia da aplicação dos tratamentos com nicosulfuron (Accent<sup>®</sup> ou Sanson<sup>®</sup>). Os autores relataram uma tendência de maiores notas de fitotoxicidade nos tratamentos em que houve atraso na adubação nitrogenada em cobertura,

sendo prejudicial a produtividade de grãos de milho, independente da aplicação dos tratamentos herbicidas.

Outros autores ressaltam que também não detectaram interação significativa entre aplicação dos herbicidas e as épocas de adubações nitrogenadas utilizadas (NICOLAI et al., 2006; RODRIGUES et al., 2012), embora tenham verificado fitotoxicidade inicial nas plantas de milho, quando a adubação de cobertura foi realizada no mesmo dia, ou próximo da aplicação dos herbicidas. Por outro lado, não houveram diferenças estatísticas entre os tratamentos na altura de planta, massa de 1.000 grãos produtividade de grãos (NICOLAI et al., 2006).

Em casa-de-vegetação, os híbridos de milho 2B-710 e 30K73 apresentaram seletividade variável quanto a aplicação de nicosulfuron, sendo que os maiores efeitos e sintomas da fitotoxicidade ocorreram quando a adubação nitrogenada ( $67,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) foi realizada em cobertura no mesmo dia da aplicação do herbicida Sanson® no estágio fenológico V<sub>3</sub>, e aos três dias da aplicação de Accent® para o estágio V<sub>6</sub>, ambas de mesma dosagem ( $18,8 \text{ g ha}^{-1}$  i.a.) (GUERRA et al., 2010). Entretanto, experimentos de seletividade conduzidos em casa de vegetação nem sempre apresentam os mesmos resultados de um experimento conduzido em campo, sendo necessário a etapa de campo para verificar se os tratamentos herbicidas têm influência sobre a produtividade de grãos (CAVALIERI et al., 2008).

Embora existam poucas informações acerca da interação entre o herbicida nicosulfuron e as épocas de aplicação dos adubos nitrogenados na cultura do milho, deve-se denotar a importância das doses de nitrogênio em cobertura e dos herbicidas empregadas nesses estudos (TABELA 1). Os estudos foram conduzidos em uma única época de plantio (2ª safra) e com doses de N muito inferiores às atualmente utilizadas nas lavouras de milho de 1ª e 2ª safra.

Tabela 2 – Estudos relacionando os efeitos das épocas de adubação de nitrogênio, doses de N e do herbicida nicosulfuron na seletividade do milho, obtidos na literatura.

Autores	Ano	Adubação de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Dose de Nicosulfuron ( $\text{g ha}^{-1}$ )	Épocas de adubação <sup>1</sup>
NICOLAI et al.	2006	63,0 67,5	20,0	7, 3, 0 DAA 7 DDA
CAVENAGHI et al.	2008	112,5	30,0	7, 3, 0 DAA 3, 7 DDA
GUERRA et al.	2010	67,5	18,8	0 DAA 3, 6, 9 DDA
RODRIGUES et al.	2012	70,0	80,0	6, 4, 2, 0 DAA 2, 4, 6 DDA

<sup>1</sup> DAA – dias antes da aplicação do(s) herbicida(s); DDA – dias depois da aplicação do(s) herbicida(s).

Atualmente, para altas produtividades das culturas de verão, têm sido utilizados híbridos modernos, com alto potencial produtivo, não havendo nenhum estudo para esses híbridos. Além disso, para as altas produtividades de milho obtidas atualmente (acima de 12 t ha<sup>-1</sup>) tem sido recomendado doses de N de até 240 kg ha<sup>-1</sup> (RESENDE et al., 2012), muito acima das doses de N testadas nos estudos citados (TABELA 1).

Associações de atrazina e tembotrione têm sido muito recomendadas no campo, no manejo de plantas daninhas, normalmente, realizadas no mesmo dia da adubação nitrogenada. O problema é que são poucas as informações referentes sobre as épocas de adubação nitrogenada, em relação aos herbicidas nicosulfuron e tembotrione associados a atrazina, sobre a seletividade desses híbridos altamente produtivos, com as atuais doses de N recomendadas. Tais fatos, evidenciam a importância desse trabalho.

## **2.10 Sorgo**

O sorgo é o quinto cereal mais cultivado no mundo, perdendo apenas para o trigo, arroz, milho e cevada. Agronomicamente, são classificados em cinco grupos comerciais: sorgo granífero, sorgo forrageiro para silagem, sorgo de corte e pastejo, sorgo sacarino e sorgo biomassa. Dessa forma, possui uma ampla variedade de uso, além da alimentação animal e humana. Pesquisas feitas nos Estados Unidos, Argentina e no Brasil despertam grande interesse da indústria alcooleira pela planta de sorgo, o qual poderá em um futuro próximo, participar da composição de matriz energética de países, como o Brasil (RIBAS, 2014).

As principais áreas de cultivo são localizadas normalmente em regiões e/ou situações ambientais muito secas e/ou muito quentes, onde a produtividade de outros cereais é antieconômica. No Brasil, cerca de 90% do sorgo granífero é cultivado na safrinha. Segundo a estimativa da CONAB, até abril de 2018, a área plantada é de aproximadamente 632,8 mil hectares. Estima-se que a produção anual seja de aproximadamente 1,79 milhões de toneladas. Os principais estados produtores são Goiás, Minas Gerais e Bahia (CONAB, 2018).

Em Minas Gerais, estima-se o cultivo de sorgo granífero na safra 2017/18 em 190 mil hectares, superior em 3,8%, comparada à safra anterior. A produtividade média esperada é de 3.363 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018). Além disso, embora não haja informações muito precisas sobre a área de cultivo no Brasil, a área cultivada com sorgo forrageiro é bastante significativa, principalmente nos estados da federação com pecuária leiteira forte, como Minas Gerais.

## **2.11 Matocompetição na cultura do sorgo**

Como em qualquer cultura, a matocompetição pode interferir negativamente na produtividade final do sorgo. As plantas daninhas, além de competirem por água, luz e nutrientes, liberam substâncias alelopáticas, interferem na colheita e são hospedeiras de diversos insetos-pragas, nematóides e agentes patogênicos causadores de doenças (SILVA et al., 2007).

Para implantação de programas de manejo integrado de plantas daninhas é necessário ter conhecimento do impacto das mesmas sobre a cultura do sorgo, sabendo os períodos de interferência das mesmas sobre a cultura (CIUBERKIS et al., 2007).

Nos estádios iniciais de desenvolvimento, as plantas de sorgo são relativamente pequenas, frágeis e de crescimento lento (KRAMER; ROSS; WALL 1975). Rodrigues et al. (2010), indicam que a cultura do sorgo granífero deve permanecer livre da comunidade infestante até os 26 DAS (dias após a semeadura), e não havendo o controle das plantas daninhas no mesmo período, pode ocorrer uma redução da produção de grãos de 35% a 70%.

## **2.12 Controle químico de plantas daninhas na cultura do sorgo**

O controle químico de plantas daninhas na cultura do sorgo é limitado pela pequena quantidade de herbicidas registrados para a cultura. Estudos sobre os efeitos e eficácia dos herbicidas na cultura do sorgo são fundamentais para aumento de alternativas, visando o controle das plantas daninhas (MACHADO et al., 2016).

Um dos principais entraves do uso de herbicidas na cultura do sorgo é a escassez de produtos registrados, sendo apenas Atrazina, Simazina e 2,4-D, autorizados para uso (BRASIL, 2016). Esse fato desperta a necessidade de estudos sobre seletividade de herbicidas para a cultura do sorgo e, por meio desses, estimular as empresas de agroquímicos a obter o registro junto aos órgãos competentes. A atrazina é indicada principalmente no controle de folhas largas, apresentando baixo espectro de controle sobre gramíneas. Devido ao baixo espectro de controle sobre gramíneas, é comum encontrar lavouras de sorgo completamente infestadas por esse grupo de plantas, mesmo após a aplicação do herbicida em pré ou pós-emergência.

O sorgo, tradicionalmente, apresenta maior suscetibilidade a herbicidas quando comparado ao milho, tanto que, comumente, é utilizado como planta indicadora de herbicidas,

principalmente de graminicidas. Esse comportamento limita o número de herbicidas que poderiam ser utilizados no controle químico de plantas daninhas na cultura (MILLER; REGEHR 2002). Alguns produtos como metolachlor e alachlor, pertencentes ao grupo da cloroacetamidas, que são recomendados para o milho, estão sendo utilizados em sorgo pelos produtores, devido à afinidade entre ambas as culturas, e também testados em trabalhos de pesquisas para a cultura (TAKANO et al., 2016). No entanto, sabe-se que esses produtos são altamente fitotóxicos às principais cultivares de sorgo utilizadas pelos produtores no Brasil. Dessa forma, esses herbicidas precisam ser estudados nos novos híbridos de sorgo lançados no Brasil.

Na Argentina, o sorgo é um dos cultivos mais importantes, mas a produção é limitada pelo controle deficiente de plantas daninhas. Foi lançado uma cultivar tolerante a herbicidas que controlam gramíneas em pós-emergência. A tecnologia, que traz tolerância a herbicidas da família das imidazolinonas, que podem permitir controlar plantas daninhas de folhas largas e gramíneas (GOTTEMS, 2017).

### **2.13 S-metolachlor**

O S-metolachlor é um herbicida pré-emergente indicado no controle de plantas infestantes nas culturas de soja, milho, feijão, algodão e cana-de-açúcar (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Pertencente ao grupo químico das cloroacetamidas e pode ser um herbicida com potencial de utilização na cultura do sorgo. As acetamidas não controlam plantas que já tenham emergido. O sítio primário de ação desses herbicidas, nas espécies de folhas largas, são as raízes, enquanto o sítio primário de absorção e ação em gramíneas é a parte aérea emergente. As acetamidas não são prontamente translocadas na planta, logo, o local de aplicação do herbicida e sua disponibilidade são pontos importantes. Esses herbicidas afetam vários processos bioquímicos na planta e interferem no desenvolvimento celular (PETERSON et al., 2015). O modo de ação desses herbicidas acontece pela inibição da síntese de proteínas nos meristemas apicais da parte aérea e das raízes em espécies suscetíveis. Essa inibição resulta na paralisação da divisão celular, aumento do tamanho das células, causando a inibição do crescimento da raiz e da parte aérea (OLIVEIRA JR., 2011).

Nos últimos anos, um dos grandes entraves à expansão da cultura do sorgo tem sido a dificuldade no manejo de plantas daninhas, em razão da sensibilidade dessa cultura aos

herbicidas graminicidas comercializados no Brasil. Como não existem protetores registrados no Brasil para as cloroacetamidas, o controle de plantas daninhas para o sorgo com os herbicidas desse grupo, é dificultado pela pouca tolerância da cultura, com aplicações em pré-emergência (RADOSEVICH et al., 1997), pois, podem causar severa redução do estande de plantas.

Tem sido observado, que plantas tolerantes, incluindo milho e soja, são capazes de metabolizar as cloroacetamidas em quantidades suficientes para impedir acúmulos e persistência em níveis fitotóxicos (LIEBL, 1995). A absorção diferencial e a translocação parecem contribuir para a tolerância das plantas às cloroacetamidas.

O uso de *safeners* (protetores) tem sido desenvolvido para uso de alachlor e S-metolachlor em sorgo granífero, com o intuito de aumentar a tolerância das espécies cultivadas, sem afetar a sensibilidade das plantas daninhas (ALTERMAN; JONES, 2003). Por meio do uso de um protetor químico, uma espécie outrora suscetível pode se tornar tolerante a um determinado herbicida, sem que a ação tóxica do produto em relação às plantas daninhas seja prejudicada. Os protetores químicos são normalmente aplicados nas culturas na forma de tratamento de sementes (OLIVEIRA JR.; INOUE, 2011). No entanto, esses produtos ainda não estão disponíveis no mercado brasileiro.

## REFERÊNCIAS

ALTERMAN, M. K.; JONES, A. P. **Herbicidas**: Fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile, 2003.

BALBINOT JR., A.; TREZZI, M. Ecofisiologia e manejo de plantas daninhas na cultura de milho. In: WORDELL FILHO, J.; ELIAS, H. **A cultura do milho em Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 2010. p. 7-46.

BÓNIS, P. et al. Herbicide tolerance of martonvásár maize genotypes. **Acta Agronomica Hungarica**, v. 54, n. 4, p. 517-520, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (MAPA). **Agrofit**: sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: < [http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons\\_>](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons_>). Acesso em: 03 ago. 2016.

\_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (MAPA). **Agrofit**: sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: < [http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons\\_>](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons_>). Acesso em: 12 abr. 2018.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.

CARVALHO, F. T.; MORETTI, T. B.; SOUZA, P. A. Eficácia e seletividade de associações de herbicidas utilizados em pós-emergência na cultura do milho. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 9, n. 2, p. 35-41, 2010.

CATHCART, R. J.; CHANDLER, K.; SWANTON, C. J. Fertilizer nitrogen rate and the response of weeds to herbicides. **Weed Science**, v. 52, n. 2, p. 291–296, 2004.

CAVALIERI, S. D. et al. Tolerance of Corn Hybrids to Nicosulfuron. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 203-214, 2008.

\_\_\_\_\_. Contrasts among origins of corn hybrids in relation to their susceptibility to nicosulfuron and isoxaflutole herbicides. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 811-822, 2010.

CAVENAGHI, A. L. et al. Avaliação da fitotoxicidade de duas diferentes formulações de nicosulfuron na cultura do milho associada à adubação nitrogenada em cobertura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 26., 2008, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2008. p. 1–13, 2008.

CIUBERKIS, S. et al. Effect of weed emergence time and intervals of weed and crop competition on potato yield. **Weed Technology**, Lawrence, v. 21, n. 1, p. 213-218, 2007.

COELHO, A. M. Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, v. 96, 2007. (Circular Técnica). 11 p.

CONAB. Companhia Nacional de **Abastecimento. Série Histórica das Safras.** Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>>. Acesso em: 11 maio 2018.

CONSTANTIN, J. et al. Seletividade e eficácia agrônômica do novo herbicida tembotrione para a cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 25., Brasília, 2006. **Anais...** Brasília: SBCPD, 2006. (CD-ROM).

CRUZ, J. C. et al. Caracterização do cultivo de milho safrinha de alta produtividade em 2008 e 2009. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 2, p. 177-188, 2010.

DUARTE, J. de O. et al. Economia da Produção. In: CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho.** 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 1).

FANCELLI, A. L.; OVEJERO LOPÉS, R. F.; DOURADO NETO, D.; VOCURCA, H. L. Influência do uso de herbicidas no rendimento e nos componentes de produção de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 22., 1998, Recife. **Resumos...** Recife, 1998. p. 245.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 360.

FREITAS, I. L. et al. Seletividade e eficiência de herbicidas pós-emergentes no controle de plantas daninhas, na cultura do milho (*Zea mays*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIENCIA DAS PLANTAS DANINHAS, Ouro Preto, 2008. **Resumos...**Ouro Preto: SBCPD, 2008. (CD-ROM).

FREITAS, S. P. et al. Fitotoxicidade de herbicidas a diferentes cultivares de milho-pipoca. **Planta daninha**, v. 27, p. 1095-1103, 2009.

GALON, L. et al. Períodos de interferência de brachiaria plantaginea na cultura do milho na região sul do rio grande do sul. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 779–788, 2008.

GLOWACKA, A. Dominant weeds in maize (*Zea mays* L.) cultivation and their competitiveness under conditions of various methods of weed control. **Acta Agrobotanica**, v. 64, n. 2, p. 119–126, 2011.

GONÇALVES, R.M. et al. *Digitaria horizontalis* and *D. insularis* as alternative hosts for *Pantoea ananatis* in Brazilian maize fields. **Journal of Plant Pathology**, v. 97, n. 1, p. 177-181, 2015.

GOTTEMS, L. Argentinos lançam 1º sorgo tolerante a herbicida. **Agrolink**, 15 de novembro de 2017. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/noticias/argentinos-lancam-1--sorgo-tolerante-a-herbicida\\_400372.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/argentinos-lancam-1--sorgo-tolerante-a-herbicida_400372.html)>. Acesso em: 02 abr. 2018.

GUERRA, N. et al. Seletividade de formulações de nicosulfuron para híbridos de milho em função da época da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 9, n. 3, p. 89-99, 2010.

HUPPE, H. C.; TURPIN, D. H. Integration of Carbon and Nitrogen Metabolism in Plant and Algal Cells. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 45, n. 1, p. 577-607, 1994.

IDZIAK, R.; WOZNICA, Z. Effect of nitrogen fertilizers and oil adjuvants on nicosulfuron efficacy. **Turkish Journal of Field Crops**, v. 18, n. 2, p. 174-178, 2013.

JAKELAITIS, A. et al. Efeitos de herbicidas no controle de plantas daninhas, crescimento e produção de milho e *Brachiaria brizantha* em consórcio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 53-60, 2006.

KARAM, D.; OLIVEIRA, M.F. **Seletividade de herbicidas na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Circular técnica, 98). 8 p.

KARAM, D.; SILVA, J. A. A. Controle químico de plantas daninhas na cultura do milho. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 10., 2009, Rio Verde. **Anais...** Rio Verde, p.141-153, 2009.

KARAM, D. et al. **Características do herbicida tembotrione na cultura do milho**. Embrapa Milho e Sorgo (Circular Técnica, 129), p. 6, 2009.

KOZLOWSKI, L. A. Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do milho baseado na fenologia da cultura. **Planta Daninha**, v. 20, n. 3, p. 365-372, 2002.

KOZLOWSKI, L. A.; KOEHLER, H. S.; PITELLI, R. A. Épocas e extensões do período de convivência das plantas daninhas interferindo na produtividade da cultura do milho (*Zea mays*). **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 481-490, 2009.

KRAMER, N. W.; ROSS, W. M.; WALL, J. S. Cultivo de sorgo granífero en Estados Unidos. WALL, J. S (Comp.) **Producción y usos del sorgo**. Buenos Aires: Hemisfério Sur, 1975. p. 93-111.

LIEBL, R. Cell growth inhibitors (cloroacetamides, cabomothioates, napropamide, bensulide). Herbicide action. West Lafayette. **Purdue University**, v. 1, p. 200-224, 1995.

LÓPEZ-OVEJERO, R. F. **Desempenho da cultura de milho (*Zea mays* L.) submetida a diferentes herbicidas na ausência de plantas daninhas**. 2000. 46 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2000.

LÓPEZ-OVEJERO, R.F. et al. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. In: FANCELLI, A. L.; DOURADONETO, D. (Eds.). **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2003. p. 47-79.

MACHADO, F. G. et al. Performance de herbicidas para o controle de plantas daninhas no sorgo. [S.l.]. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, p. 281-289, 2016.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1995. 27 p. (Circular Técnica, 20).

MARCACCI, S. et al. The possible role of hydroxylation in the detoxification of atrazine in mature vetiver (*Chrysopogon zizanioides* Nash) grown in hydroponics. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 60, n. 5-6, p. 427-434, 2005.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S; GUIMARÃES, T. G.; **Herbicidas: mecanismos de ação e usos**. Planaltina: EMBRAPA. 2008. 34 p.

MARCHESAN, E. D. **Eficiência agrônômica e comportamento de formulações de Atrazina com taxas distintas de liberação em Latossolo vermelho distroférrico**. 2011. 126 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, PR, 2011.

MATOS, A. K. A. et al. Dynamics of preemergent herbicides in production systems with straw. Dinâmica de herbicidas em pré-emergência em sistemas de produção com palha Association of Residual Herbicides. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 1, p. 97-106, 2016.

MILLER, J. N.; REGEHR, D. L. Grain sorghum tolerance to postemergence mesotrione applications. In: **Proc. N. Cent. Weed Sci.** p. 136, 2002.

MORAES, P. V. D. et al. Cover Crop Management and Weed Control in Corn. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 289-296, 2009.

NICOLAI, M. et al. Effects of cover nitrogen fertilization on herbicide selectivity in corn. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 279-286, 2006.

\_\_\_\_\_. Tolerância de híbridos de milho aos principais tratamentos herbicidas pós emergentes da cultura do milho. In: XXVI Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, Ouro Preto, 26. 2008. **Resumos...** Ouro Preto: SBCPD, 2008. (CD-ROM).

OERKE, E.C. Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, v. 144, n. 01, p. 31, 2006.

OLIVEIRA JR., R. S. Mecanismo de Ação de Herbicidas. In: OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. (Orgs.). **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p.141-191.

OLIVEIRA JR., R.S.; INOUE, M.H. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Orgs.). **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Omnipax: Curitiba, 2011. p. 243-262.

PEIXOTO, C. M.; RAMOS, A. A. **Milho: manejo de herbicida**. Caderno Técnico, Pelotas: Cultivar. 2002. 10 p. (Cultivar Grandes Culturas, 42).

PETERSON, D. E. et al. **Herbicide Mode of Action**. Kansas: Kansas State University, 2015. p. 1-28.

PITELLI, R. A.; DURIGAN, J. C. Terminologia para período de controle e de convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS. 15., Belo Horizonte, **Resumos...** Belo Horizonte. 1984. p. 37.

RADOSEVICH, S.; HOLT, J.; GHERSA, C. Herbicide use and application. In: RADOSEVICH, S.; HOLT, J.; GHERSA, C. **Weed ecology: implications for management**. New York: J. Wiley, 1997. p. 398-444.

RESENDE, A.V. et al. **Fertilidade do Solo e Manejo da Adubação NPK para Alta Produtividade de Milho no Brasil Central**. Embrapa Milho e Sorgo. 2012. (Circular Técnica, 181). p. 1-12.

RIBAS, P. M. Origem e Importância Econômica. In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELLA, R. (Org.). **Sorgo: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2014. cap. 1. p. 27-31.

RODRIGUES, A. C. P. et al. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do sorgo. **Planta Daninha**, p. 23-31, 2010.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. (Ed.). **Guia de herbicidas**. 6.ed. Londrina, 2011. 697 p.

RODRIGUES, M. J. et al. Épocas da adubação nitrogenada relacionada à aplicação de nicosulfuron na cultura do milho. **Global Science and Technology**, v. 5, n. 1, p. 70-77, 2012.

SENSEMAN, S. A. (Ed.), **Herbicide Handbook**. 9. ed. Lawrence, EUA: Weed Science Society of America, 2007. 458 p.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 58-117.

SILVA, C. A.; DO VALE, F. R. Disponibilidade de nitrato em solos Brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 12, p. 2461-2471, 2000.

SILVA, M. F. O.; COSTA, L. M. A indústria de defensivos agrícolas. **BNDES Setorial**, n. 35, p. 233-276, mar. 2012.

SIMINSZKY, B. Plant cytochrome P450 mediated herbicide metabolism. **Phytochemistry Reviews**, v. 5, n. 2, p. 445-458, 2006.

- SINGH, K. et al. Original Paper Open Access. The Critical period for weed control in spring maize in North-West India. **Maydica**, v. 61, n. 1, p. 7, 2016.
- SKÓRA NETO, F. Uso de caracteres fenológicos do milho como indicadores do início da interferência causada por plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 1, p. 81–87, 2003.
- SØNDERSKOV, M.; SWANTON, C. J.; KUDSK, P. Influence of nitrogen rate on the efficacy of herbicides with different modes of action. **Weed Research**, v. 52, n. 2, p. 169-177, 2012.
- SPADER, V; VIDAL, R. A. Seletividade e dose de injúria econômica de nicosulfuron aplicado em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do milho. **Ciência rural**, Santa Maria. v. 31, n. 6, p. 929-934, nov/dez. 2001.
- SPADER, V. et al. Seletividade de herbicidas pós emergentes em híbridos de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 26.; CONGRESSO DE LA ASOCIACION LATINOAMERICANA DE MALEZAS, 18., 2008, Ouro Preto. **Anais... Sete Lagoas: SBCPD**, 2008. (CD-ROM).
- SULEWSKA, H. et al. Efficacy of selected herbicides in weed control of maize. **Fragmenta Agronomica**, v. 29, n. 3, p. 144-151, 2012.
- TAKANO, H. K. et al. Potential use of herbicides in different sorghum hybrids. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 2277-2285, 2016.
- TIMOSSI, P. C.; FREITAS, T. T. Eficácia de nicosulfuron isolado e associado com atrazine no manejo de plantas daninhas em milho. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 3, p. 210-218, 2011.
- TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da ALS. In: VIDAL, R.A.; MEROTTO JR., A. (Ed.). **Herbicidologia**. Porto Alegre: Gaúcha, 2001. p. 25-36.
- USDA. United States Department of Agriculture. Grains: World Markets and trade Archives. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/data/grain-world-markets-and-trade>>. Acesso em: 14 ago. 2016.
- VARGAS, L.; PEIXOTO, C. M.; ROMAN, E. S. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. **Embrapa**, v. 61, n. 1, p. 1–5, 2006.
- VIDAL, R. A. et al. Nível de dano econômico de *Brachiaria plantaginea* na cultura de milho irrigado. **Planta Daninha**, v. 22, n. 1, p. 63-69, 2004.
- WILLIAMS, M. M. et al. Significance of atrazine as a tank-mix partner with tembotrione. **Weed Technology**, v. 25, n. 3, p. 299-302, 2011.
- ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. Controle de plantas daninhas e seletividade do herbicida tembotrione na cultura do milho. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 6, n. 2, p. 42-49, 2007.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS\***

## **ARTIGO 1 - Interações entre épocas de aplicação de herbicidas e adubação nitrogenada em híbridos de milho geneticamente modificados**

Guilherme Vieira Pimentel<sup>1</sup>, Silvino Guimarães Moreira<sup>1</sup>, Aline Vieira de Barros<sup>2</sup>, Antonio Henrique Fonseca de Carvalho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Setor de Grandes Culturas, Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, Lavras, MG, CEP 37200-000, e-mail: guilhermepimentel91@gmail.com

<sup>2</sup>Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME), Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, Lavras, MG, CEP 37200-000

### **RESUMO**

Híbridos de milho apresentam diferentes níveis de tolerância ao herbicida nicosulfuron, dependendo da dose, do ambiente, estágio fenológico da planta e época de adubação nitrogenada, podendo ocorrer efeitos fitotóxicos, quando não manejados adequadamente. Também há poucas informações sobre a seletividade dos híbridos geneticamente modificados atuais, quanto aos outros herbicidas recomendados para a cultura, como o tembotrione. O trabalho foi conduzido em duas etapas, sendo que na primeira objetivou-se estudar os efeitos dos herbicidas (tembotrione e nicosulfuron) associados às épocas de adubação nitrogenada na produtividade dos híbridos de milho. Na segunda etapa, avaliou-se a seletividade de oito híbridos de milho [ DKB 230 (PRO3); DKB 290 (PRO3); DKB 310 (PRO2); AG 8690 (PRO3) KWS 9606 (VIP3); KWS 9110 (PRO3); SUPREMO (VIP); e P30F53 (Leptra) ] a diferentes doses do herbicida nicosulfuron. Os experimentos foram realizados em campo, na estação experimental da Universidade Federal de Lavras-MG. Na primeira etapa, o delineamento experimental utilizado foi do tipo blocos casualizados, em esquema fatorial  $4 \times 2$ , com 4 repetições. Os tratamentos são constituídos de quatro níveis dos fatores modos de controle [capina; nicosulfuron + atrazina (20 e 32 + 1250 g ha<sup>-1</sup> i.a.); e tembotrione + atrazina (75,6 + 1250 g ha<sup>-1</sup>i.a.) ], e dois níveis do fator época de adubação nitrogenada (0 e 7 dias após o controle), sobre os híbridos de milho: P30F53Leptra, DKB 230PRO3 e KWS 9004PRO2 em duas épocas de cultivo (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> safra), ano agrícola 2016/2017. Avaliou-se as porcentagens de controle das plantas daninhas, fitotoxicidade aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA), altura de plantas, número de fileiras da espiga e produtividade na colheita. Na segunda etapa, o delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas,  $3 \times 8$ , adotando-se três repetições. A parcela principal correspondeu às doses de nicosulfuron (0, 20 e 60 g ha<sup>-1</sup> i.a.) e a subparcela, aos híbridos de milho, aplicados em dois experimentos de acordo com os estádios fenológicos V4 e V8. Avaliou-se as fitotoxicidades visuais aos 7, 14, 21 e 28 DAA, e a fitotoxicidade oculta, pela extração de espiguetas para análise em microscopia eletrônica de varredura. Todos os herbicidas foram mais eficazes no controle das plantas daninhas na 1<sup>a</sup> safra, devido as condições climáticas favoráveis. A

adubação nitrogenada pode ser realizada no mesmo dia da aplicação dos herbicidas nicosulfuron e tembotrione, não havendo redução da produtividade para os híbridos P30F53Lepra, DKB 230PRO3 e KWS 9004PRO2. Existe diferenças de tolerância entre os híbridos de milho em relação a dose do herbicida nicosulfuron e estágio fenológico de aplicação. A aplicação de nicosulfuron altera no arranjo das fileiras nas espiguetas do híbrido P30F53Lepra.

**Palavras-chave:** *Zea mays*. Sulfoniluréias. Seletividade. Espiguetas.

### ABSTRACT

Hybrids of corn present different levels of tolerance to the herbicide nicosulfuron, depending on the dose, the environment, phenological stage of the plant and time of nitrogen fertilization, and phytotoxic effects can occur, when not properly managed. There is also limited information on the selectivity of current genetically modified hybrids for other herbicides recommended for cultivation, such as tembotrione. The work was carried out in two stages, the first of which was to study the effects of herbicides (tembotrione and nicosulfuron) associated with nitrogen fertilization periods on maize hybrids productivity. In the second step, the selectivity of eight maize hybrids [DKB 230 (PRO3); DKB 290 (PRO3); DKB 310 (PRO2); AG 8690 (PRO3) KWS 9606 (VIP3); KWS 9110 (PRO3); SUPREME (VIP); and P30F53 (Lepra)] at different doses of the herbicide nicosulfuron. The experiments were carried out in the field at the experimental station of the Federal University of Lavras-MG. In the first step, the experimental design was a randomized block design, in a  $4 \times 2$  factorial scheme, with 4 replications. The treatments are constituted of four levels of the factors control modes [weeding; nicosulfuron + atrazine (20 and 32 + 1250 g ha<sup>-1</sup> a.i.); and tembotrione + atrazine (75.6 ± 1250 g ha<sup>-1</sup> a.i.)], and two levels of the nitrogen fertilization time factor (0 and 7 days after the control), on maize hybrids: P30F53Lepra, DKB 230PRO3 and KWS 9004PRO2 in two growing seasons (1st and 2nd crop), agricultural year 2016/2017. The percentages of weed control, phytotoxicity at 7, 14 and 21 days after application (DAA), plant height, number of ear rows and yield at harvest were evaluated. In the second stage, the experimental design was a randomized block design, in a subdivided plots scheme,  $3 \times 8$ , with three replications. The main plot corresponded to the doses of nicosulfuron (0, 20 and 60 g ha<sup>-1</sup> a.i.) and the subplot, to the maize hybrids, applied in two experiments according to the phenological stages V4 and V8. Visual phytotoxicities were evaluated at 7, 14, 21 and 28 DAA, and occult phytotoxicity was determined by spikelet extraction for scanning electron microscopy. All herbicides were more effective in weed control in the 1st crop due to favorable climatic conditions. Nitrogen fertilization can be carried out on the same day as the application of the herbicides nicosulfuron and tembotrione, with no reduction in productivity for the hybrids P30F53Lepra, DKB 230PRO3 and KWS 9004PRO2. There are tolerance differences between maize hybrids in relation to the dose of the herbicide nicosulfuron and phenological stage of application. The application of nicosulfuron alters the arrangement of the rows in the spikes of the hybrid P30F53Lepra.

**Key-words:** *Zea mays*. Sulfonilureas. Selectivity. Spikelet

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento do sistema de plantio direto (SPD) nos últimos anos, houve uma adoção ainda maior do controle químico das plantas daninhas, em pós-emergência. Dessa forma, a seletividade dos herbicidas à cultura do milho tornou-se fundamental. No entanto, poucas são as opções de herbicidas para aplicação em pós-emergência e que apresentam seletividade à cultura do milho. Dentre elas destacam-se o glifosato, tembotrione, mesotrione, atrazina e nicosulfuron. Os mais utilizados são nicosulfuron e o tembotrione, associados à atrazina, e glifosato, para híbridos resistentes ao glifosato.

A seletividade da cultura do milho ao herbicida nicosulfuron, ocorre devido ao seu metabolismo rápido, que também pode estar relacionada com a sua velocidade de absorção, mais lenta para a cultura de milho (SILVA et al., 2007), além de sofrer desativação metabólica por hidrólise, pela ação do citocromo P-450 monooxigenase (SIMINSZKY, 2006; OLIVEIRA JR.; INOUE, 2011).

Estudos recentes têm mostrado que alguns híbridos apresentam diferentes níveis de tolerância ao herbicida nicosulfuron, dependendo da dose, do ambiente e estágio fenológico da planta. Ao avaliar a produtividade de cinco híbridos de milho submetidos a taxas crescentes de nicosulfuron, Cavalieri et al. (2008) observaram uma redução de 17,4% na produtividade de grãos, para apenas um dos híbridos testados, com a maior dose do herbicida (60 g ha<sup>-1</sup>i.a.). Em outro estudo, Cavalieri et al. (2010) verificaram diferenças entre os híbridos para doses de nicosulfuron entre 30 e 60 g ha<sup>-1</sup>. Os híbridos Ballu e Coodetec foram mais sensíveis, quando comparados aos outros 33 híbridos de milho estudados.

Para a cultura do milho, recomenda-se um período de carência de 7 a 10 dias entre as aplicações de alguns herbicidas e a aplicação de fertilizantes nitrogenados (PEIXOTO; RAMOS, 2002; LÓPEZ-OVEJERO et al., 2003). Por outro lado, nem sempre essas recomendações são respeitadas no campo. Em algumas situações, a aplicação de herbicidas e a adubação de cobertura ocorrem no mesmo dia. Nesse caso, podem ocorrer sintomas de fitotoxicidade e perdas de produtividade.

Atualmente, para produtividades acima de 12 t ha<sup>-1</sup> de milho têm sido utilizados híbridos com alto potencial produtivo, adubados com doses de nitrogênio de até 240 kg ha<sup>-1</sup> (RESENDE et al., 2012). Tratam-se de doses de N muito acima das doses testadas em diversos estudos de interação herbicidas e época de adubação nitrogenada (NICOLAI et al., 2006; CAVENAGHI

et al., 2008; GUERRA et al., 2010; RODRIGUES et al., 2012; SOUZA JR., 2015). Já foram observadas interações significativas entre a taxa de fertilização com N e a eficiência de herbicidas sobre plantas daninhas (CATHCART; CHANDLER; SWANTON, 2004; SØNDERSKOV; SWANTON; KUDSK, 2012).

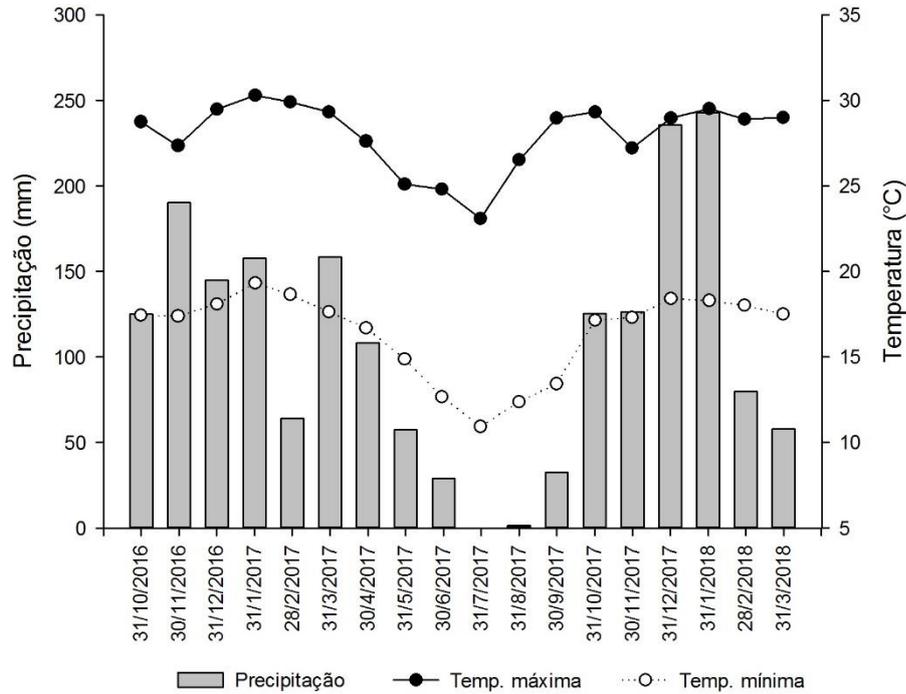
O trabalho foi conduzido em duas etapas, sendo que na primeira, objetivou-se avaliar os efeitos dos herbicidas (tembotrione e nicosulfuron), associados às épocas de adubação nitrogenada, na produtividade dos híbridos de milho. Na segunda, avaliou-se a seletividade de diferentes doses do herbicida nicosulfuron em oito híbridos de milho.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi conduzido em duas etapas, sendo todas conduzidas na Estação Experimental da Universidade Federal de Lavras (UFLA) - Fazenda Muquém (44° 58' longitude oeste e 21° 12' latitude sul; altitude = 951 m), localizada no município de Lavras, em Minas Gerais, Brasil. O município de Lavras apresenta clima do tipo Cwa (subtropical, com verão chuvoso e inverno seco), segundo a classificação de Köppen; com precipitação e temperatura média anual de 1529,7 mm e 19,5 °C, respectivamente.

As temperaturas máxima e mínima durante o período de realização das duas etapas dos experimentos (1ª e 2ª safra, ano agrícola 2016/2017; e 2ª safra, ano agrícola 2017/2018), bem como as precipitações pluviométricas médias, estão apresentadas na Figura 1. Em ambas as etapas, a cultura do milho foi conduzida no SPD sob Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, em áreas distintas. A caracterização química dos solos de cada área e safras, na profundidade de 0 a 20 cm se encontra na Tabela 1.

Figura 1- Temperaturas máxima e mínima e precipitações pluviométricas do período de realização das duas etapas dos experimentos (1ª e 2ª safra, ano agrícola 2016/2017; e 2ª safra, ano agrícola 2017/2018).



Fonte: INMET/BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, Estação de Lavras.

Tabela 1- Caracterização dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo típico (LVA), da camada de 0-20 cm.

Safra 16/17	pH	M.O	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB
	H <sub>2</sub> O	dag kg <sup>-1</sup>	-----	mgdm <sup>-3</sup>	-----	-----	-----	cmolcdm <sup>-3</sup>	-----	-----
1º Safra	5,8	3,1	24,1 <sup>1</sup>	11,6	48,6	3,7	0,6	0,1	4,5	4,4
2º Safra (safrinha)	5,7	-	4,3 <sup>2</sup>	-	78,2	4,5	0,8	0,1	9,8	5,5
<b>Safra 17/18</b>										
2º Safra (safrinha)	6,1	2,2	14,9 <sup>1</sup>	5,5	106,0	3,6	0,7	0,06	2,7	4,6

Safra 16/17	t	T	V	m	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B
	cmolc dm <sup>-3</sup>		-----	%	-----	mg L <sup>-1</sup>	-----	mgdm <sup>-3</sup>	-----	-----
1º Safra	4,5	8,9	50	2,2	29,6	2,5	65,8	13,5	0,7	0,17
2º Safra (safrinha)	5,6	15,3	36	1,3	-	-	-	-	-	-
<b>Safra 17/18</b>										
2º Safra (safrinha)	4,6	7,3	62,5	1,3	28,3	3,8	65,2	9,4	0,9	0,09

<sup>1</sup> P-Renina; <sup>2</sup> P-Mehlich-1.

Fonte: Do Autor (2018).

## 2.1 Primeira etapa

Na primeira etapa, avaliou-se os efeitos dos herbicidas associados à adubação nitrogenada sobre os híbridos de milho: P30F53 (Leptra<sup>®</sup>), DKB 230 (PRO3) e KWS 9004 (PRO2), em duas épocas de cultivo (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> safra, ano agrícola 2016/2017). Cada híbrido de milho correspondia a um experimento separadamente.

O delineamento experimental utilizado nas duas safras foi do tipo blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial  $4 \times 2$ , com 4 repetições. As unidades experimentais constaram de seis linhas da cultura, com 6 m de comprimento e espaçadas a 0,6 m, totalizando 21,6 m<sup>2</sup>. Foram consideradas úteis as duas linhas centrais, para efeito de coleta de dados e observações, excluindo-se, como bordadura, as linhas externas.

Os tratamentos utilizados nos experimentos foram a combinação fatorial entre quatro níveis dos fatores modos de controle: capina manual, atrazina + nicosulfuron (1250 + 20 g ha<sup>-1</sup> i.a.), atrazina + nicosulfuron (1250 + 32 g ha<sup>-1</sup> i.a.) e, atrazina + tembotrione (1250 + 75,6 g ha<sup>-1</sup> i.a.); e dois níveis do fator época de adubação nitrogenada: 0 (ao mesmo dia) e 7 dias após o controle (DAC) das plantas daninhas (TABELA 2), totalizando 32 parcelas por híbrido de milho.

Tabela 2 – Descrição dos tratamentos utilizados nos experimentos nas duas safras (ano agrícola 2016/2017).

<b>Herbicidas</b>		<b>Dose</b>	
Nome comum		Nome comercial	(g ha <sup>-1</sup> i.a.) <sup>1</sup>
1. Testemunha (controle capina)		-	-
2. Nicosulfuron + Atrazina		Sanson <sup>®</sup> + Gesaprim <sup>®</sup>	20 + 1250
3. Nicosulfuron + Atrazina		Sanson <sup>®</sup> + Gesaprim <sup>®</sup>	32 + 1250
4. Tembotrione + Atrazina <sup>2</sup>		Soberam <sup>®</sup> + Gesaprim <sup>®</sup>	75,6 + 1250
<b>Fertilizante</b>		<b>Dose 1<sup>a</sup> Safra</b>	<b>Dose 2<sup>a</sup> Safra</b>
Fonte nitrogenada	Forma de aplicação	(kg ha <sup>-1</sup> de N)	(kg ha <sup>-1</sup> de N)
1. Ureia - (0 DAC) <sup>3</sup>	a lanço	210	120
2. Ureia - (7 DAC) <sup>3</sup>	a lanço	210	120

<sup>1</sup> i.a. = ingrediente ativo; <sup>2</sup>adição de um adjuvante à base de éster metilado na calda de aplicação (Áureo), na dose de 1,0 litro ha<sup>-1</sup>; <sup>3</sup> DAC = dias após o controle.

Fonte: Do Autor (2018).

Na primeira semeadura (1ª safra: verão 2016/17), os híbridos foram semeados no dia 25 de outubro de 2016, com população final de 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>, e dia 16 de fevereiro de 2017 na segunda safra (safrinha), com 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

As adubações da cultura foram baseadas na análise de solo e nas recomendações para expectativas de produtividades de 14 e 9 t ha<sup>-1</sup>, para primeira e segunda safra, respectivamente, de acordo com Resende et al. (2012). Dessa forma, foram aplicados 435 e 320 kg ha<sup>-1</sup> do adubo formulado NPK 08-28-16 no sulco de semeadura; 70 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em pré-semeadura, aplicado a lanço em área total; e 175 e 95 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura (fonte ureia), no estágio V4 (quatro folhas completamente expandidas) das plantas de milho, em área total, respectivamente, para a primeira e segunda safra.

Os controles de pragas e doenças foram feitos durante a condução do experimento, segundo as recomendações técnicas para a cultura, utilizando-se os inseticidas Engeo Pleno<sup>®</sup> (250 mL ha<sup>-1</sup>) e Brillhante BR<sup>®</sup> (600 mL ha<sup>-1</sup>); e o fungicida Fox<sup>®</sup> (500 ml ha<sup>-1</sup>) + Aúreo<sup>®</sup> (0,25%). Quando a cultura se encontrava entre os estádios fenológicos V5-V6 foram aplicados, via foliar, micronutrientes da fórmula Kellus Inox<sup>®</sup> (400 g ha<sup>-1</sup>), com volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>.

Os tratamentos herbicidas (TABELA 2) foram aplicados com pulverizador costal, pressurizado com CO<sub>2</sub>, equipado com quatro pontas de jato “leque” TT110015, espaçados 0,5 m. O volume de aplicação utilizado foi de 200 L ha<sup>-1</sup>, com pressão de trabalho de 1,8 bar. As aplicações foram realizadas no período matinal, devido às temperaturas mais amenas, evitando-se a perda do produto por evaporação. Todos os tratamentos foram aplicados em pós-emergência, quando as plantas da cultura de milho se encontraram no estágio fenológico V4.

As avaliações de controle de plantas daninhas e identificação das espécies foram realizadas aos 0, 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA) dos tratamentos. Foram utilizados dois quadros com área de 0,25 m<sup>2</sup> em cada parcela, de forma aleatória, que serviram para definir a densidade de indivíduos na população presente, expressos em número de plantas por m<sup>2</sup>.

Para avaliar a porcentagem de controle dos tratamentos, aos 7, 14 e 21 DAA, empregou-se o método de comparação do número de plantas daninhas por m<sup>2</sup> com 0 DAA, em todas as parcelas.

Avaliou-se a fitotoxicidade, baseando na atribuição de notas de acordo com a intoxicação das plantas pela identificação visual dos danos na cultura do milho, realizadas aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas. As notas representaram a média de

quatro repetições e foram atribuídas com base na escala de notas da European (EWRC, 1964) Weed Research Council (EWRC), conforme adaptação por Melhorança (1984): 1: sem danos; 2: pequenas alterações (descoloração, deformação) visíveis em algumas plantas; 3: pequenas alterações (descoloração, deformação) visíveis em muitas plantas; 4: forte descoloração (amarelecimento) ou razoável deformação, sem contudo, ocorrer necrose (morte do tecido); 5: necrose (queima) de algumas folhas, em especial nas margens, acompanhadas de deformação em folhas; 6: mais de 50% das folhas apresentando necrose (deformação); 7: mais de 80% das folhas destruídas; 8: danos extremamente graves, sobrando apenas pequenas áreas verdes nas plantas; 9: morte da planta.

Determinou-se os possíveis efeitos da fitotoxicidade sobre o crescimento do milho por meio da medição da altura de plantas, realizada no estágio fenológico VT das plantas de milho. Para tal, tomou-se a altura do colo das plantas até a base da panícula em floração, em cinco plantas por parcela, tomadas ao acaso.

Na época da colheita, foram retiradas aleatoriamente cinco espigas de milho em cada parcela, para a avaliação do número de fileiras por espiga (NF). A produtividade foi estimada pela colheita das duas linhas centrais das parcelas, onde as espigas foram despalhadas e debulhadas mecanicamente, de forma a separar os grãos de cada parcela, os quais foram pesados. Nesse momento, cada amostra teve sua umidade mensurada, a qual serviu para correção da massa total de grãos por parcela para 13% de umidade.

## **2.2 Segunda etapa**

Na segunda etapa do trabalho, avaliou-se os efeitos das doses de nicosulfuron, aplicadas em V4 e V8, na seletividade dos híbridos de milho DKB 230 (PRO3); DKB 290 (PRO3); DKB 310 (PRO2); AG 8690 (PRO3) KWS 9606 (VIP3); KWS 9110 (PRO3); SUPREMO (VIP); e P30F53 (Leptra), respeitando-se o período de carência da aplicação dos herbicidas e da adubação nitrogenada de sete dias após aplicação (DAA). Esses híbridos foram escolhidos devido ao alto potencial produtivo, e por tecnologias modernas de resistência a pragas. Trata-se de híbridos amplamente utilizados pelos produtores, altamente tecnificados.

A semeadura ocorreu no dia 22 de fevereiro de 2018, na segunda safra (safrinha), com 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Primeiramente foi realizada a abertura mecanizada dos sulcos de plantio,

seguida da semeadura manual, em sistema de plantio direto. A adubação foi realizada conforme descrito no experimento anterior.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas,  $3 \times 8$ , adotando-se três repetições, sendo a parcela principal correspondente às doses do herbicida (TABELA 3) e a subparcela, aos oito híbridos de milho. Ressalta-se que foram montados dois experimentos, sendo um com doses de nicosulfuron aplicadas em V4 e outro com doses aplicadas em V8.

Tabela 3 - Relação dos tratamentos doses de nicosulfuron utilizados nos experimentos realizados em Lavras-MG.

<b>Herbicidas</b>		<b>Dose</b>	
Nome comum	Nome comercial	(g ha <sup>-1</sup> i.a.) <sup>1</sup>	(L ha <sup>-1</sup> p.c.) <sup>2</sup>
1. Testemunha (capina)	-	-	-
2. Nicosulfuron + Atrazina	Sanson 40 SC + Gesaprim 500	20 + 1250	0,5 + 2,5
3. Nicosulfuron + Atrazina	Sanson 40 SC + Gesaprim 500	60 + 1250	1,5 + 2,5

<sup>1</sup> i.a. = ingrediente ativo; <sup>2</sup> p.c. = produto comercial.

Fonte: Do Autor (2018).

A dimensão da parcela experimental foi de 5 m de comprimento por 2,4 m de largura (quatro linhas de milho) totalizando-se 12 m<sup>2</sup>, sendo a área útil utilizada nas avaliações de 4,8 m<sup>2</sup> (duas linhas centrais de milho). Considerou-se como bordadura 0,5m em cada extremidade das linhas centrais.

Os herbicidas foram aplicados com pulverizador costal, pressurizado com CO<sub>2</sub>, conforme descrito para primeira etapa. Em um dos experimentos realizou-se a aplicação quando as plantas da cultura se encontraram no estágio fenológico V4 e no outro em V8. Todas as parcelas do experimento foram mantidas livres da competição de plantas daninhas por meio de capinas manuais, durante o ciclo da cultura, objetivando-se evitar a interferência das plantas daninhas.

As variáveis avaliadas foram: fitotoxicidade aos 7, 14, 21 e 28 DAA, avaliada por meio de uma escala visual com base na proposta descrita pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995), onde: 0% ausência de danos e 100% morte das plantas (ANEXO A).

A fim de avaliar a fitotoxicidade oculta, escolheu-se o híbrido DKB 310 para extração das espiguetas, devido as suas maiores porcentagens de fitotoxicidade ao herbicida nicosulfuron, quando aplicado no estágio fenológico V4, verificado no presente estudo.

Todavia, não houve desenvolvimento das espiguetas no híbrido, quando se encontrava no estágio V10, com a dose de 60 g ha<sup>-1</sup> i.a., devido ao elevado sintoma de fitotoxicidade. Portanto, optou-se pelo P30F53, segundo híbrido com maior porcentagem de fitotoxicidade. Assim, uma planta de cada tratamento foi coletada e levada ao Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME) da UFLA, localizado no Departamento de Fitopatologia da UFLA, para análise em microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Dessa forma, plantas do híbrido P30F53, no estágio fenológico V10 foram dissecadas, onde coletou-se cinco espiguetas de cada tratamento. Depois de coletadas, foram imersas em solução fixativa Karnovsky's modificado (glutaraldeído (2,5%) e paraformaldeído (2,5%) em tampão cacodilato 0,05 M, pH 7,2 e CaCl<sub>2</sub> 0,001 M, pH 7,2 por um período de 24 h. Em seguida foram lavadas em tampão cacodilato (três vezes de 10 min), pós-fixadas em solução de tetróxido de ósmio 1% em água por 1 hora e, subsequentemente, lavadas 3 vezes em água destilada, seguida da desidratação em uma série de acetona (25, 50, 75, 90 uma vez cada e 100% por três vezes). Depois as amostras foram levadas para o aparelho de ponto crítico (Balzers CPD 030) para completar a secagem. Os espécimes obtidos foram montados em suportes de alumínio *stubs*, com fita de carbono dupla face, colocada sobre uma película de papel alumínio, cobertos com ouro em evaporador (BALZERS SCD 050) e observados em microscópio eletrônico de varredura LEO EVO 40XVP. Em seguida, foram geradas e registradas digitalmente, a aumentos variáveis, diversas imagens para cada amostra, nas condições de trabalho de 20 Kv e distância de trabalho de 10 mm (BERMUDEZ-CARDONA; CRUZ; RODRIGUES, 2016; FREITAS et al., 2017).

### **2.3 Análise estatística**

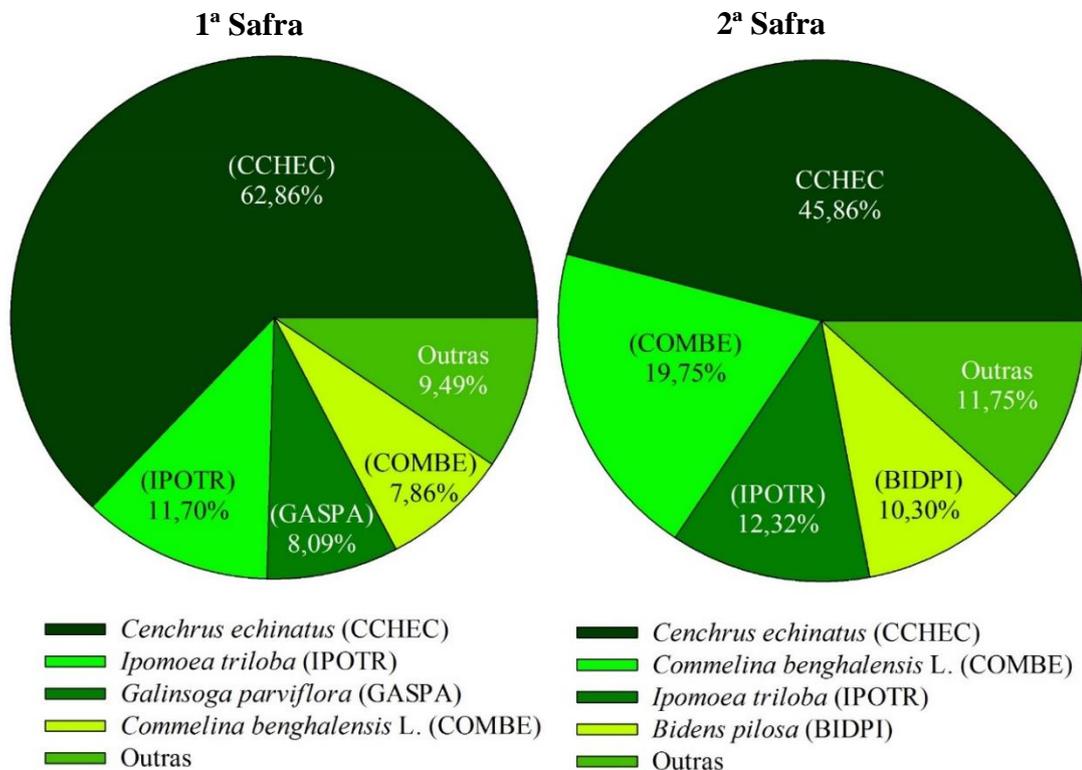
Inicialmente, realizou-se as análises de variância individuais pelo teste F para os experimentos das duas etapas. Posteriormente, para os experimentos da 1<sup>a</sup> etapa realizou-se a análise conjunta envolvendo as duas safras agrícolas para cada híbrido. Em seguida, as médias de ambas as etapas dos experimentos foram submetidas ao teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, por meio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Primeira etapa

A comunidade infestante natural na cultura do milho, na 1ª e 2ª safras (ano agrícola 2016/17), foram compostas pelas espécies: timbête (*Cenchrus echinatus*), corda-de-viola (*Ipomoea triloba*), trapoeraba (*Commelina benghalensis*), picão-preto (*Bidens pilosa*), botão-de-ouro (*Galinsoga parviflora*) e outras (diversas espécies com menos de 5% do total cada). Das espécies predominantes, duas são monocotiledôneas, sendo elas timbête e trapoeraba; e três são eudicotiledôneas, corda-de-viola, picão-preto, botão-de-ouro. Na área experimental de ambas safras, houve um domínio da espécie *C. echinatus*, seguido pelas espécies *C. benghalensis* e *I. triloba* aos 0 DAA, com mais de 77% da área total (FIGURA 2).

Figura 2 – Porcentagem de plantas daninhas na área total ao 0 dia após a aplicação dos modos de controle, 1ª e 2ª safras. UFLA, Lavras-MG, 2018.



Fonte: Do Autor (2018).

De acordo com os dados da análise de variância (APÊNDICE A), sobre controle de plantas daninhas na área experimental de ambas as safras, houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos, aos 14 e 21 dias após a aplicação (DAA) dos modos de controle, não havendo diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) aos 7 DAA (TABELA 4).

Tabela 4 - Porcentagem de controle e número de plantas daninhas (m<sup>2</sup>), sob efeito dos modos de controle. UFLA, Lavras-MG, 2018.

Modo de Controle	7 DAA <sup>4</sup>		14 DAA		21 DAA	
	1ª safra	2ª safra	1ª safra	2ª safra	1ª safra	2ª safra
	----- (%) Controle -----					
<b>Controle - capina</b>	100,0 a	100,0 a	100,0 Aa <sup>5</sup>	100,0 Aa	100,0 Aa	100,0 Aa
<b>Nicosulfuron (20)<sup>1</sup> + Atrazina<sup>2</sup></b>	41,5 a	29,3 a	76,1 Ab	15,6 Bc	72,2 Ac	0,0 Bb
<b>Nicosulfuron (32)<sup>1</sup> + Atrazina<sup>2</sup></b>	47,0 a	33,7 a	85,9 Ab	31,2 Bb	88,9 Ab	2,8 Bb
<b>Tembotrione<sup>3</sup> + Atrazina<sup>2</sup></b>	75,6 a	60,2 a	90,5 Aa	27,3 Bb	88,2 Ab	4,8 Bb
<b>Ambiente</b>	66,0 A	55,8 B	88,1 A	43,5 B	87,3 A	26,9 B
<b>CV (%)</b>	43,1		33,4		29,1	

<sup>1</sup> 20 e 32 g ha<sup>-1</sup> i.a. de nicosulfuron, equivalente a 500 e 800 mL ha<sup>-1</sup> de produto comercial; <sup>2</sup> 1250 g ha<sup>-1</sup> i.a. de atrazina; <sup>3</sup> 75,6 g ha<sup>-1</sup> i.a. de tembotrione; <sup>4</sup> DAA – dias após a aplicação. <sup>5</sup> médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Fonte: Do Autor (2018).

Ao avaliar a porcentagem de controle das plantas daninhas, observa-se que o controle foi mais eficiente na 1ª safra do que na 2ª safra, em todas as avaliações (TABELA 4). Essa maior eficiência dos herbicidas ocorrida na 1ª safra foi devido às condições hídricas adequadas nessa época de semeadura, onde o acúmulo das precipitações da semeadura até a aplicação dos herbicidas foi de 161,3 mm para 1ª safra e 59,8 mm na 2ª safra. Em condições hídricas favoráveis (1ª safra), os herbicidas são mais facilmente absorvidos e translocados nas plantas. Por outro lado, em condições estressantes ou de seca (2ª safra), as plantas daninhas podem sofrer mudanças morfológicas, como desidratação da cutícula das folhas, e isso reduz potencialmente a absorção de herbicidas, bem como a fitotoxicidade e a eficácia do produto no controle das plantas daninhas (PEREGOY et al., 1990). Segundo Kramer (1987), em plantas cultivadas sob condições de déficit hídrico, a translocação de água e outras substâncias também ficam comprometidas, já que há redução da transpiração e, conseqüentemente, do fluxo de massa, o que dificulta o movimento do herbicida até seu sítio de ação na célula vegetal.

Possivelmente as condições ambientais desfavoráveis da 2ª safra reduziram o crescimento e fechamento do dossel da cultura do milho, permitindo a entrada de luz e maior competição da comunidade infestante, reduzindo a eficácia no controle das plantas daninhas. Com isso, o número médio de plantas daninhas por m<sup>2</sup> aumentou de 72,8 para 171,2 da semeadura até 21 DAA, na 2ª safra (TABELA 5), um aumento de 235%, evidenciando a importância das condições hídricas para manejar as plantas daninhas e favorecer o fechamento do dossel pela cultura do milho.

Tabela 5 - Número de plantas daninhas (m<sup>2</sup>), sob efeito dos modos de controle. UFLA, Lavras-MG, 2018.

Modo de Controle	0 DAA <sup>4</sup>		21 DAA	
	1 <sup>a</sup> safra	2 <sup>a</sup> safra	1 <sup>a</sup> safra	2 <sup>a</sup> safra
	----- N <sup>o</sup> PD. (m <sup>2</sup> ) <sup>5</sup> -----			
<b>Controle - capina</b>			0,0 Aa <sup>6</sup>	0,0 Aa
<b>Nicosulfuron (20)<sup>1</sup> + Atrazina<sup>2</sup></b>	110,7	72,8	29,7 Ab	301,2 Bc
<b>Nicosulfuron (32)<sup>1</sup> + Atrazina<sup>2</sup></b>			9,8 Ab	210,2 Bb
<b>Tembotrione<sup>3</sup> + Atrazina<sup>2</sup></b>			8,3 Ab	173,3 Bb
<b>Ambiente</b>			12,0 B	171,2 A
<b>CV (%)</b>			54,5	

<sup>1</sup> 20 e 32 g ha<sup>-1</sup> i.a. de nicosulfuron, equivalente a 500 e 800 mL ha<sup>-1</sup> de produto comercial; <sup>2</sup> 1250 g ha<sup>-1</sup> i.a. de atrazina; <sup>3</sup> 75,6 g ha<sup>-1</sup> i.a. de tembotrione; <sup>4</sup> DAA – dias após a aplicação; <sup>5</sup> N<sup>o</sup> PD. (m<sup>2</sup>) – número de plantas daninhas em 1 metro quadrado. <sup>6</sup> médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Fonte: Do Autor (2018).

Para os modos de controle, na 1<sup>a</sup> safra, aos 14 DAA, o tratamento com tembotrione + atrazina (75,6 + 1250 g ha<sup>-1</sup> i.a.) não diferiu no controle (capina) com porcentagem de controle de 90,5% (TABELA 4). Aos 21 DAA, os herbicidas nicosulfuron + atrazina (32 g ha<sup>-1</sup> + 1250 g ha<sup>-1</sup> i.a.) e tembotrione + atrazina (75,6 + 1250 g ha<sup>-1</sup> i.a.) foram eficazes no controle da comunidade infestante com mais de 88%. Para a 2<sup>a</sup> safra, a eficácia dos herbicidas foi insuficiente, com baixas porcentagens de controle, devido as condições ambientais adversas citadas acima.

Analisando-se as porcentagens de controle com as épocas de adubação nitrogenada (TABELA 6), houveram diferenças significativas (p < 0,05) nas avaliações aos 7 e 14 DAA. Todavia, ao final da avaliação aos 21 DAA, independentemente da época de adubação nitrogenada (0 ou 7 DAC) as porcentagens e o número de plantas daninhas (m<sup>2</sup>) não diferiram estatisticamente.

Tabela 6 - Porcentagem de controle aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA), em relação às épocas de adubação nitrogenadas no 0 dia após a aplicação (0 DAC) e aos 7 dias (7 DAC). UFLA, Lavras-MG, 2018.

Época N <sup>1</sup>	7 DAA <sup>2</sup>	14 DAA	21 DAA	21 DAA
	----- (%) Controle -----			N <sup>o</sup> PD. (m <sup>2</sup> ) <sup>4</sup>
<b>0 DAC<sup>3</sup></b>	64,8 a <sup>5</sup>	61,7 b	55,6 a	100,3 a
<b>7 DAC</b>	57,0 b	69,9 a	58,6 a	82,8 a
<b>CV (%)</b>	43,1	33,4	29,1	54,5

<sup>1</sup> Época N – época de adubação de cobertura nitrogenada. <sup>2</sup> DAA – dias após a aplicação. <sup>3</sup> DAC – dias após o controle. <sup>4</sup> N<sup>o</sup> PD. (m<sup>2</sup>) – número de plantas daninhas em 1 metro quadrado. <sup>5</sup> médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Fonte: Do Autor (2018).

Os resultados obtidos nesse estudo indicam que as épocas de adubação nitrogenada não interferem no controle das plantas daninhas ao final da avaliação, independentemente do modo de controle utilizado e as safras (TABELA 6). Portanto, para o controle de plantas daninhas em lavouras de milho, com os híbridos 30F53, DKB 230 e KWS 9004, a aplicação dos herbicidas nicosulfuron, até a dose de 32 g ha<sup>-1</sup> i.a. ou de tembotrione (75,6 g ha<sup>-1</sup> i.a.), associados à atrazina, pode ser realizada no mesmo dia da adubação nitrogenada.

Muitas pesquisas sobre o efeito da adubação nitrogenada na diversidade de espécies infestantes foram feitas com doses variáveis de N (CATHCART; CHANDLER; SWANTON, 2004; KIM et al., 2006; ZANATTA et al., 2007; BROSNAN et al., 2010; SØNDERSKOV; SWANTON; KUDSK, 2012). Por exemplo, Zanatta et al. (2007), trabalharam com nicosulfuron + atrazina (32 + 1200 g ha<sup>-1</sup> i.a.), sobre a influência das doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) e época de controle das plantas daninhas na cultura do milho (V2, V3, V4 e V5). Observaram que altas doses de nitrogênio, em conjunto aos controles realizados em épocas tardias, minimizam o efeito negativo da interferência das plantas daninhas na cultura. Resultados semelhantes foram observados por Cathcart et al. (2004), onde a disponibilidade de nitrogênio às plantas interferiu no controle de algumas espécies de plantas daninhas, na qual, plantas com maior disponibilidade de N foram controladas mais facilmente pelos herbicidas.

No presente estudo, as doses de N aplicadas ao solo foram elevadas em ambas as safras (200 kg N ha<sup>-1</sup> na 1<sup>a</sup> safra; e 120 kg N ha<sup>-1</sup> na 2<sup>a</sup> safra). Dessa forma, supõe-se que independentemente da época de aplicação de N, as doses elevadas contribuíram para maior atividade metabólica nas plantas daninhas, aumentando a eficácia da ação dos herbicidas (MEDAUAR et al., 2018). Contudo, ainda não estão bem esclarecidos os mecanismos

responsáveis pela maior eficácia de herbicidas aplicados sobre as plantas em relação a maior disponibilidade de nitrogênio. No caso do nicosulfuron, a ação do herbicida se dá em pós-emergência, com rápida absorção e translocação para as regiões meristemáticas e de tecidos em desenvolvimento, onde a enzima ALS é mais ativa (PETERSON et al., 2015; JAKELAITIS et al., 2006). Sendo assim, supõe-se que condições que favorecem o crescimento e desenvolvimento das plantas daninhas também auxiliam a translocação do nicosulfuron, contribuindo para a maior eficácia do produto.

De acordo com dados na análise de variância, observou-se diferenças significativas nas análises conjuntas para os caracteres altura de plantas, número de fileiras por espiga e produtividade dos híbridos (APÊNDICES B-D). No caso da altura de plantas, houve diferenças significativas entre ambientes, ou seja, os híbridos de milho apresentaram maiores alturas na 1ª safra do que na 2ª safra (dados não apresentados), o que era esperado, devido as melhores condições edafoclimáticas da 1ª safra.

No caso do número de fileiras por espiga, apenas para o híbrido P30F53 foi afetado pelos modos de controle de plantas daninhas ( $p < 0,05$ ) (Tabela 7). Contudo, trata-se de diferenças tão pequenas, com pouquíssimo impacto prático.

Tabela 7 - Efeito do modo de controle de plantas daninhas, no número de fileiras por espigas, para os híbridos KWS 9004, P30F53 e DKB 230.UFLA, Lavras-MG, 2018.

Modo de controle	Número de fileiras		
	KWS 9004	P30F53	DKB 230
<b>Controle - capina</b>	16,2 a <sup>4</sup>	16,0 b	15,5 a
<b>Nicosulfuron (20)<sup>1</sup>+ Atrazina<sup>2</sup></b>	16,0 a	15,6 a	15,6 a
<b>Nicosulfuron (32)<sup>1</sup> + Atrazina<sup>2</sup></b>	16,4 a	16,2 b	15,2 a
<b>Tembotrione<sup>3</sup> + Atrazina<sup>2</sup></b>	17,9 a	15,9 b	15,5 a
<b>Média Geral</b>	16,6	15,4	15,4
<b>CV (%)</b>	15,8	3,9	3,9

<sup>1</sup> 20 e 32 g ha<sup>-1</sup> i.a. de nicosulfuron, equivalente a 500 e 800 mL ha<sup>-1</sup> de produto comercial; <sup>2</sup> 1250 g ha<sup>-1</sup> i.a. de atrazina; <sup>3</sup> 75,6 g ha<sup>-1</sup> i.a. de tembotrione; <sup>4</sup> médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Fonte: Do Autor (2018).

Nos estudos de López-Ovejero et al. (2003), o número de fileiras por espigas não foi afetado pela aplicação do herbicida nicosulfuron (doses de 20 e 40 g ha<sup>-1</sup> i.a.), aplicado no milho P3027 com quatro folhas expandidas (V4). Por outro lado, quando o herbicida foi aplicado no milho com oito folhas, utilizando-se doses de 40 e 52 g ha<sup>-1</sup> i.a., houve reduções no número de

fileiras. Resultados semelhantes foram encontrados por Fancelli et al. (1998), aos quais explicam que, nos estádios fenológicos V4-V6 o meristema apical finaliza a fase vegetativa e ocorre sua diferenciação dos primórdios da inflorescência masculina (pendão). Posteriormente, em V7-V9, começa o processo de diferenciação floral da gema (espigueta); logo após essa diferenciação, rapidamente, a planta determina o número de fileiras por espiga e o número de grãos por fileira que comporão a futura espiga (ANDRADE et al., 1996).

Na média de todos os modos de controle, todos os híbridos apresentaram maiores produtividades na primeira safra (TABELA 8), o que já era esperado, devido as melhores condições climáticas da primeira safra (FIGURA 1), bem como às maiores doses de fertilizantes utilizados. As produtividades dos híbridos KWS 9004 e DKB 230 nas duas safras, e do 30F53, na primeira safra, não foram afetadas estatisticamente pelos modos de aplicação de herbicidas

Tabela 8 - Médias de produtividade dos híbridos KWS 9004, P30F53 e DKB230, nas duas safras de 2016/17. UFLA, Lavras-MG, 2018.

Modo de Controle	KWS 9004		P30F53		DKB 230	
	1ª Safra	2ª Safra	1ª Safra	2ª Safra	1ª Safra	2ª Safra
<b>Controle - capina</b>	13290,2 Aa	8746,0 Ba	13713,6 Aa <sup>4</sup>	9926,8 Ba	13906,7 Aa	8200,2 Ba
<b>Nicosulfuron (20)<sup>1</sup> + Atrazina<sup>2</sup></b>	13169,8 Aa	8602,2 Ba	14597,6 Aa	8994,9 Bb	13024,9 Aa	7885,3 Ba
<b>Nicosulfuron (32)<sup>1</sup> + Atrazina<sup>2</sup></b>	13327,9 Aa	7919,8 Ba	14192,4 Aa	10150,2 Ba	13943,4 Aa	6993,1 Ba
<b>Tembotrione<sup>3</sup> + Atrazina<sup>2</sup></b>	14129,5 Aa	7935,8 Ba	14496,8 Aa	8744,2 Bb	13473,8 Aa	6989,7 Ba
<b>Ambiente</b>	13477,1 A	8300,9 B	14250,1 A	9454,1 B	13587,2 A	7517,1 B
<b>Média Geral</b>	10889,0		11852,1		10552,1	
<b>CV (%)</b>	15,3		8,8		9,3	

<sup>1</sup> 20 e 32 g ha<sup>-1</sup> i.a. de nicosulfuron, equivalente a 500 e 800 mL ha<sup>-1</sup> de produto comercial; <sup>2</sup> 1250 g ha<sup>-1</sup> i.a. de atrazina; <sup>3</sup> 75,6 g ha<sup>-1</sup> i.a. de tembotrione; <sup>4</sup> médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Fonte: Do Autor (2018).

Na 2ª safra, a aplicação de nicosulfuron (20 g ha<sup>-1</sup> i.a) ou a aplicação de tembotrione (75,6 g ha<sup>-1</sup> i.a.), associados à atrazina (1250 g ha<sup>-1</sup> i.a) reduziram as produtividades do P30F53, comparado ao tratamento controle e à aplicação de nicosulfuron na maior dose (32 g ha<sup>-1</sup> i.a.) + atrazina (Tabela 8). Tais diferenças poderiam suscitar restrições na recomendação desses herbicidas para o híbrido P30F53. Todavia, não foi observado nenhum efeito fitotóxico para os híbridos testados (APÊNDICE E). Dessa forma, a hipótese é que outros fatores abióticos podem ter causado essa interferência, uma vez que a maior dose de nicosulfuron (32 g ha<sup>-1</sup> i.a) não causou redução da produtividade do híbrido.

No caso do tratamento com tembotrione + atrazina (75,6 + 1250 g ha<sup>-1</sup> i.a.) também não se esperava efeito do mesmo na redução da produtividade (TABELA 8). Karam et al. (2009), verificaram efeito fitotóxico do tembotrione (80 e 100 g ha<sup>-1</sup> i.a.) nos híbridos BRS 1030, DKB 393A, DOW 2A525, P30F53 e SPEED, mas nenhuma diferença significativa na produtividade de grãos foi observada. Resultados de seletividade ao tembotrione também foram obtidos por Spader et al. (2008), em diversos híbridos de milho, entre eles o P30F53.

Para o híbrido P30F53, constatou-se interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre os modos de controle de plantas daninhas e as épocas de adubação nitrogenada (TABELA 9). No entanto, essa diferenciação foi observada somente quando a capina foi realizada manualmente. Para os tratamentos com herbicidas não houve diferenças em relação a época de adubação nitrogenada ao 0 ou aos 7 DAC. A prática da capina pode ter acelerado a decomposição dos restos culturais e a utilização do N presente no solo pelos microrganismos. Como o nitrogênio de cobertura foi aplicado somente 7 dias depois da capina, possivelmente houve uma competição temporária pelo N do solo entre os microrganismos decompositores e as plantas de milho.

Tabela 9 - Médias de produtividade do híbrido P30F53, em função dos modos de controle de plantas daninhas e as épocas de adubação nitrogenada. UFLA, Lavras-MG, 2018.

Modo de Controle	P30F53	
	0 DAC <sup>4</sup>	7 DAC
Controle - capina	12707,5 Aa <sup>5</sup>	10933,0 Ba
Nicosulfuron (20) <sup>1</sup> + Atrazina <sup>2</sup>	11831,3 Aa	11761,2 Aa
Nicosulfuron (32) <sup>1</sup> + Atrazina <sup>2</sup>	12045,2 Aa	12297,4 Aa
Tembotrione <sup>3</sup> + Atrazina <sup>2</sup>	11296,1 Aa	11944,9 Aa
Média Geral	11852,1	
CV (%)	8,8	

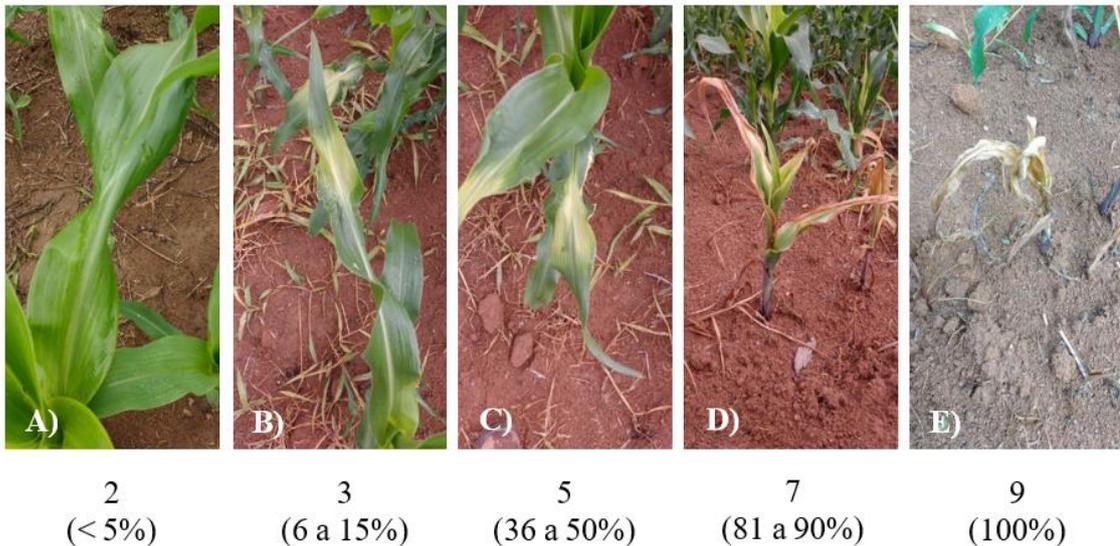
<sup>1</sup> 20 e 32 g ha<sup>-1</sup> i.a. de nicosulfuron, equivalente a 500 e 800 mL ha<sup>-1</sup> de produto comercial; <sup>2</sup> 1250 g ha<sup>-1</sup> i.a. de atrazina; <sup>3</sup> 75,6 g ha<sup>-1</sup> i.a. de tembotrione; <sup>4</sup> DAC – dias após o controle; <sup>5</sup> médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Fonte: Do Autor (2018).

### 3.2 Segunda etapa

Nas avaliações de fitotoxicidade, houve diferenças significativas entre os tratamentos nos experimentos em V4 e V8 ( $p < 0,05$ ) (APÊNDICES F-H), onde foram observados sintomas visuais como representado na Figura 3.

Figura 3 – Sintomas visuais de fitotoxicidade na cultura do milho sob a aplicação de nicosulfuron ( $60 \text{ g ha}^{-1}$  i.a.). Escala adaptada de EWRC (1 a 9), com respectivas porcentagens de dano; (A) sintomas iniciais leves, “estrangulação” na região mediana do limbo foliar; (B-C) clorose nas folhas e necrose nos tecidos; (D) mais de 80% das folhas necrosadas; (E) morte da planta (100%). UFLA, Lavras-MG, 2018.

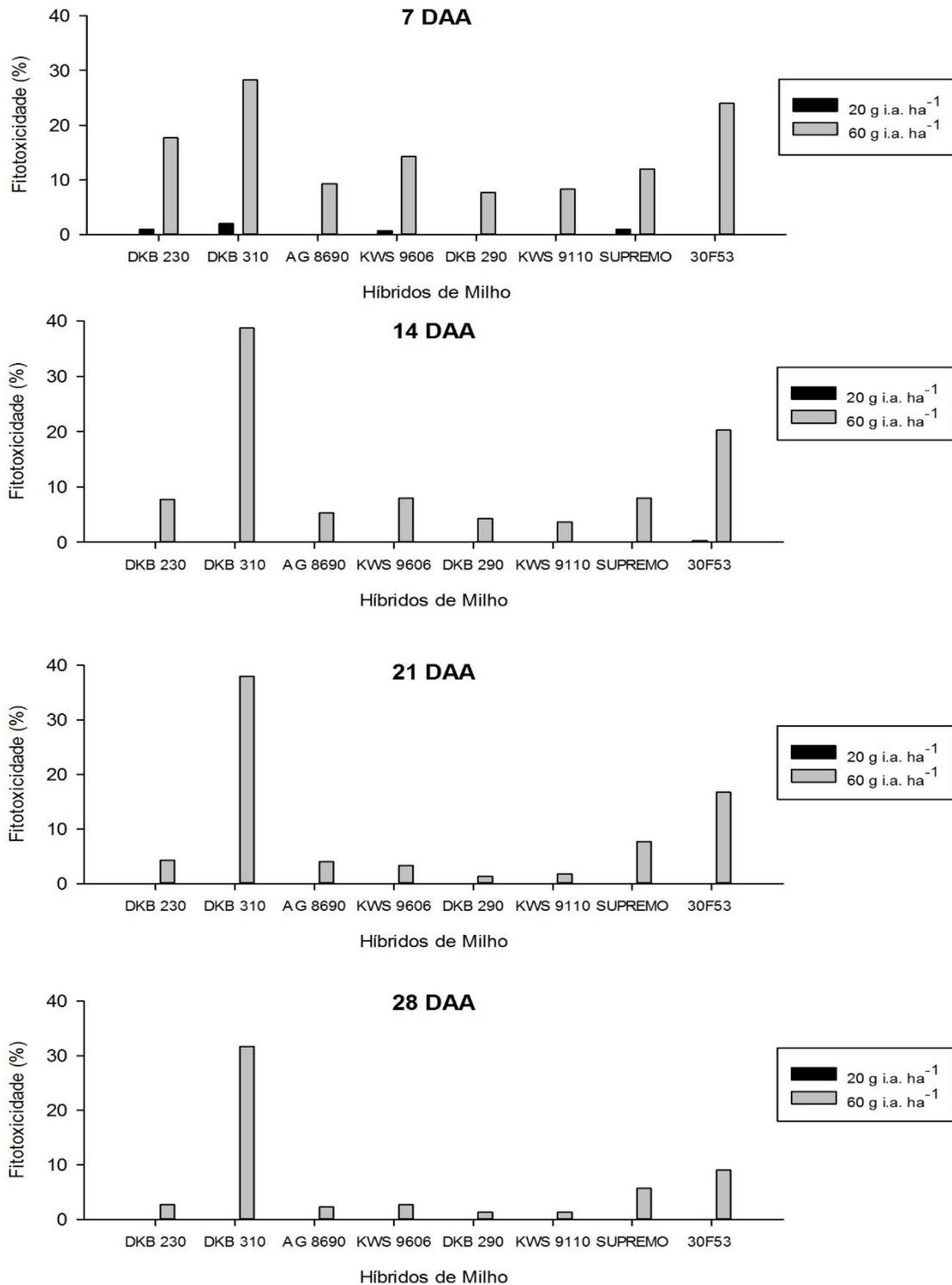


Fonte: Do Autor (2018).

Ao avaliar os níveis de tolerância entre os híbridos de milho em relação às doses de nicosulfuron, quando aplicados em V4 (FIGURA 4), observou-se que aos 7, 14, 21 e 28 DAA, somente o híbrido DKB 310 apresentou índices de fitotoxicidade elevado, os quais variaram entre 28% a 39% (injúrias moderadas), com aplicação de  $60 \text{ g ha}^{-1}$  i.a. Esse híbrido foi o único que mostrou avanço na fitotoxicidade aos 14 DAA, e pequenas reduções na porcentagem nas avaliações seguintes.

Para o híbrido P30F53, houve pequena recuperação aos 14 e 21 DAA, em relação aos 7 DAA, com índices entre 20% a 24% de fitotoxicidade. Todavia, houve recuperação aos 28 DAA, estabilizando com 9% de fitotoxicidade para a dose de  $60 \text{ g ha}^{-1}$  i.a. No que se refere aos híbridos DKB 230, AG 8990, KWS 9606, DKB 290, KWS 9110 e SUPREMO, na mesma dose, apresentaram recuperações ao decorrer das avaliações, observando índices de fitotoxicidade inferiores a 6% aos 28 DAA (FIGURA 4).

Figura 4 – Porcentagem de fitotoxicidade, segundo a escala visual descrita pela SBCPD, de híbridos de milho submetidos à aplicação do herbicida nicosulfuron no estágio fenológico V4, em condições de campo. UFLA, Lavras-MG, 2018.

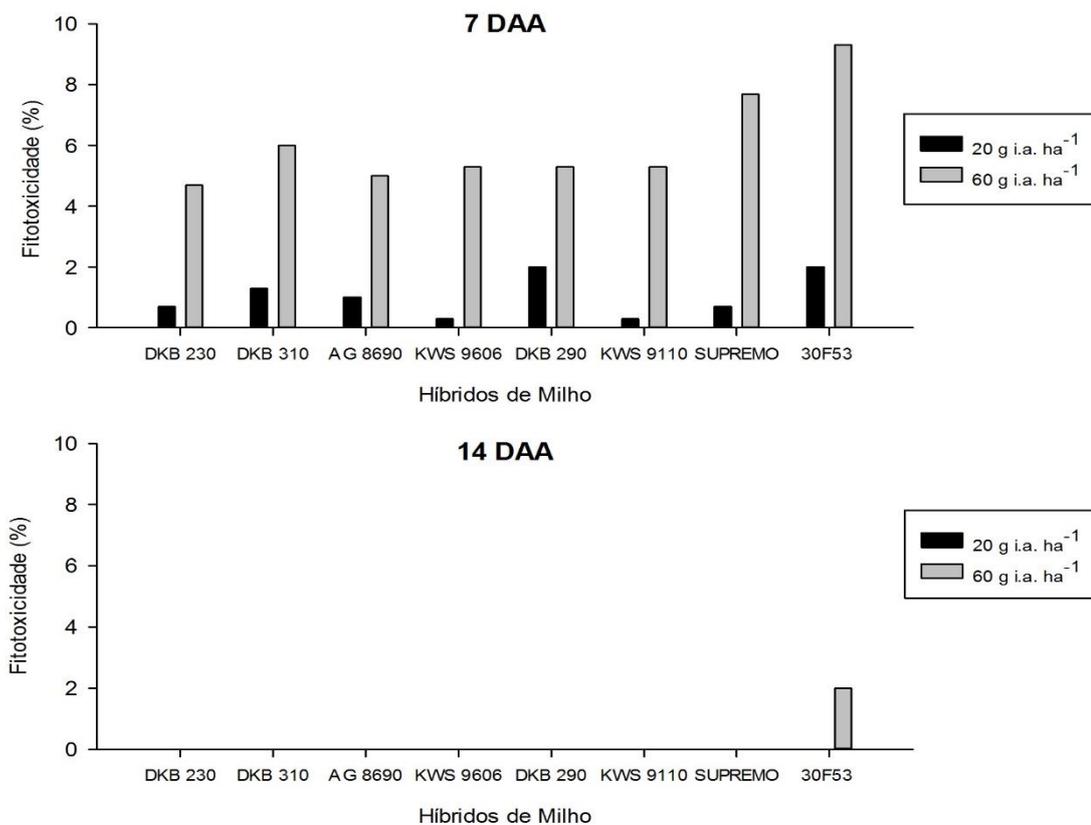


Fonte: Do Autor (2018).

Analisando-se os sintomas de fitotoxicidade no decorrer das avaliações na dose de 20 g ha<sup>-1</sup> i.a., aplicada em V4, apenas os híbridos DKB 230, DKB 310, KWS 9606 e SUPREMO apresentaram índices de fitotoxicidade aos 7 DAA, os quais foram baixos (inferiores a 2%), havendo total recuperação aos 14 DAA. Para os híbridos AG 8990, DKB 290, KWS 9110 e P30F53, os sintomas foram nulos em todas as avaliações (FIGURA 4).

Ao comparar os híbridos comerciais de milho submetidos à aplicação de nicosulfuron no estágio fenológico V8 (FIGURA 5), observa-se aos 7 DAA, que as porcentagens de fitotoxicidades ficaram abaixo de 2% e 10% (injúrias leves) nas doses de 20 e 60 g ha<sup>-1</sup> i.a., respectivamente. Aos 14 DAA os híbridos apresentaram recuperação total dos sintomas para ambas doses de nicosulfuron, com exceção na dose de 60 g ha<sup>-1</sup> i.a. para o híbrido P30F53 (2% fitotoxicidade). Todavia, nas avaliações seguintes houve completa recuperação dos efeitos fitotóxicos pelo híbrido de milho.

Figura 5 - Porcentagem de fitotoxicidade, segundo a escala visual descrita pela SBCPD, de híbridos de milho submetidos à aplicação do herbicida nicosulfuron no estágio fenológico V8, em condições de campo. UFLA, Lavras-MG, 2018.



Fonte: Do Autor (2018).

Na maioria dos híbridos, a tolerância é mais acentuada nos primeiros estádios fenológicos (MCMULLAN; BLACKSHAW, 1995; FAHL; CARELLI, 1997; SPADER; VIDAL, 2001). Por exemplo, Spader e Vidal (2001), observaram que a seletividade do nicosulfuron para a cultura do milho diminui a partir do estágio fenológico V6 (seis folhas expandidas) e, com o incremento da dose maior ou igual a 60 g ha<sup>-1</sup> i.a. Em contrapartida, nossos resultados indicam aumento da tolerância do nicosulfuron no estágio fenológico mais avançado (V8), para a dose de 60 g ha<sup>-1</sup> i.a. e; seletividade dos híbridos de milho para a menor dose (20 g ha<sup>-1</sup> i.a.), com índices fitotóxicos abaixo de 2%, em os ambos estádios fenológicos.

Neste contexto, supõe-se que os genótipos possam se comportar de maneiras diversas frente às condições edafoclimáticas a que são submetidos e, isto pode ter influência na sensibilidade aos herbicidas. As baixas porcentagens das injúrias visuais nas plantas de milho, no estágio fenológico V8, podem ser resultado das precipitações que ocorreram nos 15 dias subsequentes à aplicação, totalizando 2,8 mm, denotando um longo período de estiagem, ao contrário da aplicação em V4 com 30,6 mm, para o mesmo período. Segundo Silva et al. (2007), a seletividade do herbicida nicosulfuron à cultura do milho ocorre devido ao seu metabolismo rápido, que também pode estar relacionada com a sua velocidade de absorção, mais lento para a cultura de milho. Dessa forma, supõe-se que as condições de estresse hídrico após a aplicação do herbicida, reduziram a sua velocidade de absorção pelas plantas de milho no estágio fenológico V8, possibilitando maior tolerância dos híbridos nessa época de aplicação.

Diversas alterações metabólicas e fisiológicas como: redução da taxa fotossintética (TAIZ; ZEIGER, 1991), espessamento da cutícula, menor permeabilidade das membranas e alterações na osmorregulação (HESS, 1994), que se desenvolvem nas plantas sob condições de estresse hídrico, influenciam diretamente a absorção e translocação de água e outras substâncias (KRAMER, 1987), afetando, conseqüentemente, a atividade de herbicidas aplicados em pós-emergência (VELINI; TRINDADE, 1992).

Segundo Nicolai et al. (2006), a rápida recuperação das plantas de milho pode ser atribuída às características genéticas dos híbridos, associadas às adequadas condições edafoclimáticas para o bom desenvolvimento das plantas, com conseqüente metabolização dos herbicidas aplicados. Todavia, resultados do presente estudo indicam o contrário, supondo que as condições hídricas adequadas, no estágio fenológico V4, favoreceram a rápida absorção do nicosulfuron e aumento da fitotoxicidade, devido a intensa atividade fotossintética nestas

condições, que contribui para a elevada translocação do herbicida das folhas aos meristemas, onde a enzima ALS é mais ativa (PETERSON et al., 2015; JAKELAITIS et al., 2006).

A competição dos compostos exógenos pelos mesmos sítios de detoxicação pelas plantas é outro fator que pode ter contribuído para a maior fitotoxicidade, no estágio fenológico V4, quando aplicado a maior dose de nicosulfuron + atrazina ( $60 + 1250 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$ ). Os complexos enzimáticos GST (Glutathione S-Transferase), o citocromo P-450, esterases e UDP-glicosiltransferases, são responsáveis pela detoxicação da maioria dos herbicidas (FERREIRA; CATANEO, 2001), na maior parte das plantas e de outros compostos xenobióticos, eles produzem conjugados solúveis de menor toxicidade. Diferentes tipos das enzimas podem ser identificados em diferentes tecidos com diferentes idades. Isso indicaria que as respostas de detoxificação nas plantas não se expressam em todo ciclo (HESS; WELLER, 2000). Supondo-se assim, que a produção dos complexos enzimáticos em quantidade suficiente para a detoxicação dos herbicidas, possam ser reduzidos nos estádios iniciais das plantas, havendo um aumento com o desenvolvimento dessas.

Nesse sentido, resultados semelhantes foram observados por López-Ovejero et al. (2003), que aplicaram atrazina + óleo vegetal + nicosulfuron ( $800 + 600 + 52 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$ ) no híbrido de milho P3027 no estágio fenológico V8; esses autores também encontraram sintomas iniciais leves de fitotoxicidade (nota 2 na escala de EWRC), logo após a aplicação dos herbicidas, porém, as plantas recuperaram-se integralmente. Corroborando com Espanhol (2009), onde avaliou 30 híbridos de milho sob aplicação de nicosulfuron isolado ( $0, 50 \text{ e } 60 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$ ) e associados com atrazina ( $20 + 1500 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$ ;  $40 + 3000 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$ ), no estágio fenológico V5-V8; observou sintomas visuais de fitotoxicidade aos 7 DAA mais evidentes na aplicação isolada de nicosulfuron ( $50 \text{ e } 60 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$ ), para 12 híbridos, com recuperação aos 15 DAA, mostrando a capacidade genética dos híbridos de milho em detoxificar as moléculas.

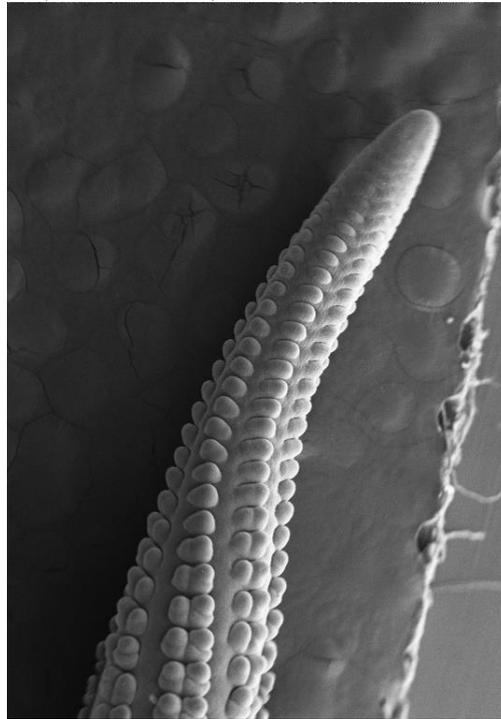
De forma geral, os resultados obtidos indicam que os híbridos DKB 310 e P30F53 apresentam comportamentos distintos quanto à seletividade nos estádios fenológicos para as diferentes doses do herbicida nicosulfuron. Segundo Morton e Harvey (1992), a tolerância dos híbridos de milho à herbicidas do grupo das sulfoniluréias é variável, podendo ser reduzida para alguns híbridos e elevada para outros. Híbridos comerciais considerados tolerantes a esses herbicidas podem apresentar fitotoxicidade, dependendo do estágio fenológico, do ambiente e da dose utilizada. Outras explicações sugerem a absorção e translocação diferencial do

herbicida para o sítio de ação na planta, com maior ou menor capacidade de metabolização e detoxicação (EZRA; GRASSEL, 1982).

Esses resultados indicam que o desaparecimento ou permanência dos sintomas visuais de fitotoxicidade dos híbridos comerciais podem estar relacionados ao maior ou menor grau de sensibilidade desses quando submetidos às distintas doses, em diferentes estádios fenológicos. Contudo, poderá ocorrer fitotoxicidade oculta, quando as plantas não mostram sintomas visíveis, mas apresentam redução no número de fileiras, comprometendo o potencial produtivo (LÓPEZ-OVEJERO et al., 2003).

No desenvolvimento das espiguetas no milho, a transição da fase vegetativa para reprodutiva, envolve a inibição do crescimento foliar, acompanhado pelo incremento das taxas de divisão celular, seguido de mudanças morfológicas restruturadas pelo ápice meristemático das inflorescências axilares. A inflorescência do milho produz três tipos de meristemas axilares. Cada meristema de ramo produz dois meristemas de espiguetas. Os dois meristemas de espiguetas se ramificam para formar dois meristemas florais. Assim, quatro meristemas florais surgem de um único meristema de ramo axilar (MCSTEEN; LAUDENCIA-CHINGCUANCO; COLASANTI, 2000). Esta divisão explica por que uma espiga de milho sempre tem um número par de linhas de núcleo ao redor dela. A Figura 6 mostra uma imagem de uma espiguetas de milho em desenvolvimento, quando extraída em V10 e analisada no MEV.

Figura 6 – Desenvolvimento da espiguetta de milho, retirada no estágio fenológico V10 (P30F53). UFLA, Lavras-MG, 2018.



Fonte: Do Autor (2018).

O ápice meristemático está presente na ponta da espiguetta, indicando que a mesma ainda está em desenvolvimento, produzindo novas fileiras de óvulos ao longo do comprimento dessa (FIGURA 6). Os dois terços superiores da espiguetta mostram uma série de linhas únicas de óvulos em desenvolvimento (meristema do ramo axilar). Esses óvulos eventualmente se dividem para produzir um par de fileiras de óvulos. A formação emparelhada é visível perto da base da espiguetta.

O estabelecimento do número de fileiras ao redor das espiga é um evento crítico no ciclo de vida de uma planta de milho, que normalmente ocorre entre os estádios V8 a V12 (FANCELLI; DOURADO-NETO; 1997). Normalmente, as espigas apresentam número par de fileiras (MAGALHÃES et al., 2002). Todavia, reduções no número de fileiras poderá ocorrer, devido a algum tipo de estresse presente no estágio crítico ou imediatamente antes.

Ao avaliar a fitotoxicidade oculta para o híbrido P30F53, quando submetido a diferentes doses de nicosulfuron aplicadas no estágio fenológico V4 (FIGURA 7), observou-se pequenas alterações na conformação regular das fileiras nas espiguetas nas doses de 20 g ha<sup>-1</sup> i.a. (FIGURA 7 G) e 60 g ha<sup>-1</sup> i.a. (FIGURAS 7 I-J), com destaque para a maior dose, constatando

maiores influências. Para o tratamento controle (FIGURAS 7 A-D) não foram identificadas anomalias na configuração das fileiras em formação ao redor das espiguetas.

A produtividade da cultura do milho pode ser influenciada pela dose do herbicida nicosulfuron e pelo momento da aplicação em relação ao estágio fenológico que a cultura se encontra. Corroborando com López-Ovejero et al. (2003), que observaram reduções de produtividade do híbrido P3027, quando aplicado o herbicida nicosulfuron ( $52 \text{ g ha}^{-1}$  i.a.) no estágio fenológico de quatro e oito folhas definitivas (V4 e V8), sendo essa redução maior quando aplicados em V8, devido à alteração do número de fileiras por espiga. Segundo Fancelli e Dourado-Neto (1997), eventos ocorridos entre a emissão da quarta e décima folha definitiva da planta de milho influenciam o número de grãos por fileira que se constitui num dos mais importantes componentes da produtividade.

No presente estudo, alterações no número de fileiras foram observadas quando o herbicida foi aplicado no estágio fenológico V4, com maiores incidências para a maior dose do nicosulfuron ( $60 \text{ g ha}^{-1}$  i.a.). Em contrapartida, Pereira Filho et al. (2000) não verificaram reduções na produtividade para os híbridos BRS 3060, BRS 3101, BRS 2114 e BRS 2110, sendo tolerantes às doses de 50, 60 e  $70 \text{ g ha}^{-1}$  i.a. de nicosulfuron. Resultados semelhantes foram observados por Buzatti (2000) e Souza Jr (2015), em que o nicosulfuron não afetou o desenvolvimento e a produção do milho.

As sulfoniluréias são seletivas por sofrerem desativação metabólica por hidrólise pela ação do citocromo P-450 monooxigenase, ou seja, é a conversão rápida a compostos inativos nas culturas tolerantes, ao passo que, pouco, ou nenhum metabolismo, pode ser medido em plantas sensíveis (SIMINSZKY, 2006; OLIVEIRA JR.; INOUE, 2011). Por outro lado, a atrazina apresenta a ação dos compostos de cisteína e glutatona no processo de conjugação desse composto hexogênico, bem como a hidroxilação causada pela hemeproteína citocromo P-450 (MARCACCI et al., 2005). Em relação à associação nicosulfuron + atrazina ( $60 + 1250 \text{ g ha}^{-1}$  i.a.), pode-se inferir que há um aumento no consumo de energia nos períodos de pico de maior atividade do herbicida nas plantas de milho, quando aplicados no estágio fenológico V4. Isso pode explicar o aumento dos efeitos fitotóxicos do nicosulfuron na maior dose, associado à atrazina.

Ainda não estão bem esclarecidos os mecanismos responsáveis pela redução do número de fileiras nas espigas, quando aplicados os herbicidas sobre as plantas de milho. De acordo com os resultados desse trabalho, pode-se supor que as elevadas doses de nicosulfuron ( $60 \text{ g}$

ha<sup>-1</sup> i.a.), somadas à competição pela desativação metabólica dos herbicidas (nicosulfuron + atrazina) pelo citocromo P-450, contribuíram para o maior acúmulo do mesmo, auxiliando na maior fitotoxicidade nas plantas de milho, devido sua rápida absorção e translocação para as regiões meristemáticas e de tecidos em desenvolvimento, onde a enzima ALS é mais ativa (PETERSON et al., 2015; JAKELAITIS et al., 2006), dessa forma, ocasionando redução do número de fileiras e, conseqüentemente, podendo contribuir para a redução da produtividade potencial da cultura.

Esses resultados evidenciam a necessidade de mais cuidados na aplicação do herbicida nicosulfuron, principalmente com relação à escolha do híbrido e do estágio fenológico da cultura no instante da aplicação e com as doses indicadas. Pois, como foi observado, cada híbrido pode apresentar variados graus de fitotoxicidade visual e de toxidez oculta ao nicosulfuron, podendo reduzir indiretamente a produtividade.

Figura 7 - Desenvolvimento das espiguetas de milho, extraídas em V10, quando aplicado o herbicida nicosulfuron em V4. (A) espiguetas normais (B-D) Microscopia eletrônica de varredura (MEV) no tratamento controle. (E-H) MEV na dose de 20 g ha<sup>-1</sup> i.a. (I-L) MEV na dose de 60 g ha<sup>-1</sup> i.a. O arranjo regular das fileiras é perturbado especialmente em G, I e J (setas). UFLA, Lavras-MG, 2018. (continua).

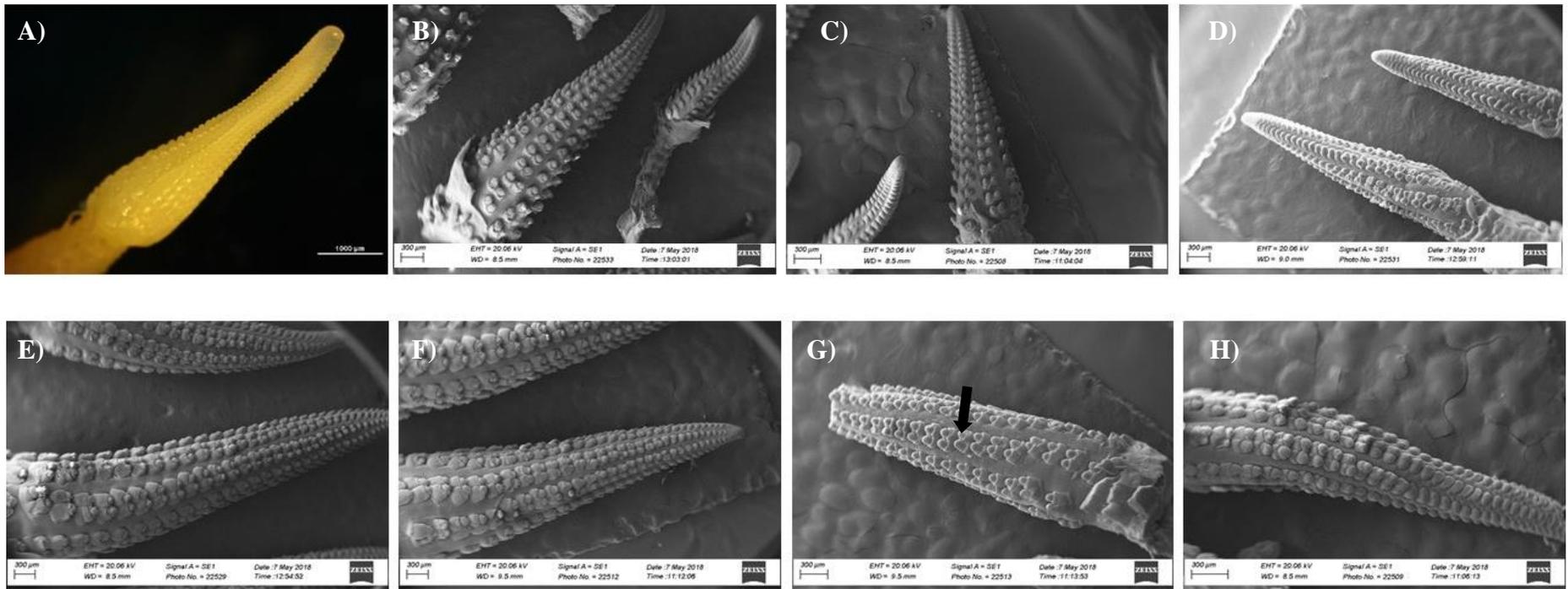
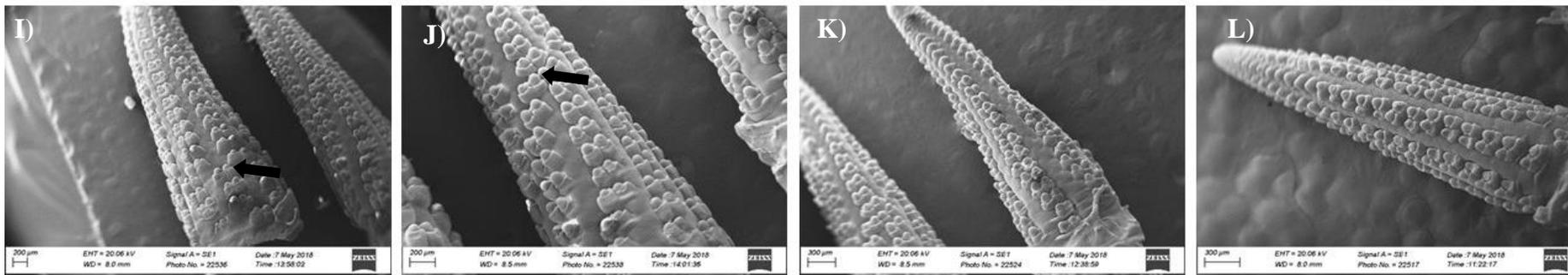


Figura 7 - Desenvolvimento das espiguetas de milho, extraídas em V10, quando aplicado o herbicida nicosulfuron em V4. (A) espiguetas normais (B-D) Microscopia eletrônica de varredura (MEV) no tratamento controle. (E-H) MEV na dose de 20 g ha<sup>-1</sup> i.a. (I-L) MEV na dose de 60 g ha<sup>-1</sup> i.a. O arranjo regular das fileiras é perturbado especialmente em G, I e J (setas). UFLA, Lavras-MG, 2018. (conclusão).



Fonte: Do Autor (2018).

## 4 CONCLUSÕES

Todos os herbicidas são mais eficazes no controle das plantas daninhas na 1ª safra do que na 2ª safra, devido as condições climáticas favoráveis.

A adubação nitrogenada pode ser realizada no mesmo dia da aplicação dos herbicidas nicosulfuron (até 32 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) e tembotrione (75 g ha<sup>-1</sup> de i.a.), não havendo redução da produtividade para os híbridos de milho KWS 9004, DKB 230 e P30F53.

Existe diferenças de tolerância entre os híbridos de milho em relação a dose do herbicida nicosulfuron e estágio fenológico de aplicação.

Aplicação de nicosulfuron (dose de 20 e 60 g ha<sup>-1</sup> de i.a) altera o arranjo das fileiras nas espiguetas do híbrido P30F53Lepra, quando aplicado no estágio fenológico V4.

**AGRADECIMENTOS:** À FAPEMIG, CNPq e CAPES pelo auxílio financeiro e concessão de bolsas de estudo.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. et al. Ecofisiologia del cultivo de maíz. **Balcarce**: La Barrosa, 1996. 292 p.
- BERMUDEZ-CARDONA, M. B.; CRUZ, M. F. A.; RODRIGUES, F. A. Microscopic study of the *Stenocarpella macrospora* infection process on maize leaves. **Tropical Plant Pathology**, v. 41, n. 2, p. 115-122, 2016.
- BROSNAN, J. T. et al. Efficacy of flazasulfuron for control of annual bluegrass (*Poa annua*) and perennial ryegrass (*Lolium perenne*) as influenced by nitrogen. **Weed science**, v. 58, n. 4, p. 449-456, 2010.
- BUZATTI, W. J. S. Seletividade dos híbridos de milho aos herbicidas. **Inf. Fundação ABC**, 2, n. 8, 2000. p. 8-10.
- CATHCART, R. J.; CHANDLER, K.; SWANTON, C. J. Fertilizer nitrogen rate and the response of weeds to herbicides. **Weed Science**, v. 52, n. 2, p. 291-296, 2004.
- CAVALIERI, S. D. et al. Contrasts among origins of corn hybrids in relation to their susceptibility to nicosulfuron and isoxaflutole herbicides. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 811–822, 2010.
- \_\_\_\_\_. Tolerance of Corn Hybrids to Nicosulfuron. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 203-214, 2008.
- CAVENAGHI, A. L. et al. Avaliação da fitotoxicidade de duas diferentes formulações de nicosulfuron na cultura do milho associada à adubação nitrogenada em cobertura CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 26., 2008, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2008. p. 1-13.
- ESPANHOL, M. **Seletividade de nicosulfuron isolado e em mistura com atrazine para trinta híbridos comerciais de milho**. 2009. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009.
- EWRC. European Weed Research Council. **Committee of Methods in Weed Research**. Oxford: 1964. v. 4, p. 88. (Report of the 3 and 4 Meetings).
- EZRA, G.; GRESSEL, J. Rapid effects of a thiocarbamate herbicide and its dichloroacetamide protectant on a macromolecular synthesis and glutathione levels in maize cell cultures. **Pesticide Biochemistry Physiology**, Duluth, v. 17, n. 1, p. 48-58, 1982.
- FAHL, J. L.; CARELLI, M.L. Eficiência do nicosulfuron no controle de capim massambará na cultura do milho. **Planta Daninha**, Londrina, v. 15, n. 1, p. 46-52, 1997.

FANCELLI, A. L.; OVEJERO LOPÉS, R. F.; DOURADO NETO, D.; VOCURCA, H. L. Influência do uso de herbicidas no rendimento e nos componentes de produção de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 22., 1998, Recife. **Resumos...** Recife, 1998. p. 245.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. Milho: ecofisiologia e rendimento. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. (Coords.). **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: Publique, 1997. p. 157-170.

\_\_\_\_\_. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 360.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, L. C.; CATANEO, A. C. Aspectos bioquímicos da ação “de safeners”. **Boletim Informativo da SBCPD**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 5-6, 2001.

FREITAS, A. S. et al. Infection process of *Pseudocercospora musae* on banana leaf. **Phytoparasitica**, v. 45, n. 3, p. 317-324, 2017.

GUERRA, N. et al. Seletividade de formulações de nicosulfuron para híbridos de milho em função da época da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 9, n. 3, p. 89-99, 2010.

HESS, F. D. Absorption. In: **HERBICIDE action**. Intensive course on the activity selectivity, behavior and fate of herbicides in Plants and Soils. West Lafayette: Purdue University, 1994. p.13-31.

HESS, F. D.; WELLER, S. C. Principles of selective weed control with herbicides. In: **Herbicide Action**: an intensive course of the activity, selective, behavior, and fate of herbicides in plants and soils. West Lafayette: Purdue University, 2000. p. 112-134.

IDZIAK, R.; WOZNICA, Z. Effect of nitrogen fertilizers and oil adjuvants on nicosulfuron efficacy. **Turkish Journal of Field Crops**, v. 18, n. 2, p. 174–178, 2013.

JAKELAITIS, A. et al. Efeitos de herbicidas no controle de plantas daninhas, crescimento e produção de milho e *Brachiaria brizantha* em consórcio. **Pesquisa Agropecuária Tropical** v. 36, n. 1, p. 53-60, 2006.

KARAM, D. et al. **Características do herbicida tembotrione na cultura do milho**. Embrapa Milho e Sorgo (Circular Técnica, 129), 2009, p. 6.

KARAM, D.; SILVA, J. A. A. Controle químico de plantas daninhas na cultura do milho. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 10., Rio Verde, 2009. **Anais...** Rio Verde, 2009. p.141-153.

- KIM, D.S.; MARSHALL, E.J.P.; CASELEY, J.C.; BRAIN, P. Modelling interactions between herbicide and nitrogen fertilizer in terms of weed response. **Weed Research**, Oxon, v. 46, n. 6, p. 480-491, 2006.
- KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. London: Academic Press, 1987. 489 p.
- LÓPEZ-OVEJERO, R. F. et al. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. In: FANCELLI, A. L.; DOURADONETO, D. (Eds.). **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2003. p. 47-79.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, P. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do Milho**. (Circular Técnica, 22). EMBRAPA, Sete Lagoas, dez., 2002.
- MARCACCI, S. et al. The possible role of hydroxylation in the detoxification of atrazine in mature vetiver (*Chrysopogon zizanioides* Nash) grown in hydroponics. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 60, n. 5-6, p. 427-434, 2005.
- McMULLAN, P. M.; BLACKSHAW, R. E. Post emergence green foxtail (*Setaria viridis*) control in corn (*Zea mays*) in Western Canada. **Weed Technology**, Champaign, v. 9, n. 1, p. 37-43, 1995.
- MCSTEEN, P.; LAUDENCIA-CHINGCUANCO, D.; COLASANTI, J. A floret by any other name: control of meristem identity in maize. **Trends in plant science**, v. 5, n. 2, p. 61-66, 2000.
- MEDAUAR, C. C. et al. Monitoring of eucalyptus sprouts control using digital images obtained by unmanned aerial vehicle. **Journal of Sustainable Forestry**, p. 1-14, 2018.
- MELHORANÇA, A.L. Efeito dos herbicidas pós-emergentes no desenvolvimento e na produção de grãos de soja. Londrina: (Embrapa-CNPSo. Documentos, 7), 1984. 1078 p.
- MORTON, C. A.; HARVEY, R. G. Sweet corn (*Zea mays*) hybrid tolerance to nicosulfuron. **Weed Technol.**, v. 6, n. 1, p. 91-96, 1992.
- NICOLAI, M. et al. Effects of cover nitrogen fertilization on herbicide selectivity in corn. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 279-286, 2006.
- OLIVEIRA JR., R. S.; INOUE, M. H. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Orgs.). **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Omnipax: Curitiba - PR, 2011. p.243-262.
- PEIXOTO, C. M.; RAMOS, A. A. **Milho: manejo de herbicida; caderno técnico**. Pelotas: Cultivar, 2002. (Cultivar Grandes Culturas, 42). 10 p.
- PEREGOY, R. et al. Moisture stress effects on the absorption, translocation, and metabolism of haloxyfop in johnsongrass (*Sorghum halepense*) and large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*). **Weed Science**, v. 38, n. 4-5, p. 331-337, 1990.

PEREIRA FILHO, I. A.; OLIVEIRA, M. F.; PIRES, N. M. Tolerância de híbridos de milho ao herbicida nicosulfuron. **Planta Daninha**, v. 18, n. 3, p. 479-482, 2000.

PETERSON, D.E. et al. **Herbicide Mode of Action**. Kansas: Kansas State University, 2015. p. 1-28.

RESENDE, A.V. et al. **Fertilidade do Solo e Manejo da Adubação NPK para Alta Produtividade de Milho no Brasil Central**. Embrapa Milho e Sorgo. 2012. (Circular Técnica, 181). p. 1-12.

RODRIGUES, M. J. et al. Épocas da adubação nitrogenada relacionada à aplicação de nicosulfuron na cultura do milho. **Global Science And Technology**, v. 5, n. 1, p. 70-77, 2012.

SBCPD. Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, jul. 1995.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 58-117.

SIMINSZKY, B. Plant cytochrome P450 mediated herbicide metabolism. **Phytochemistry Reviews**, v. 5, n. 2, p. 445-458, 2006.

SØNDERSKOV, M.; SWANTON, C. J.; KUDSK, P. Influence of nitrogen rate on the efficacy of herbicides with different modes of action. **Weed Research**, v. 52, n. 2, p. 169-177, 2012.

SOUZA JR, J. A. **Interação da adubação nitrogenada e herbicidas no controle de plantas daninhas e seletividade na cultura do milho**. 2015. 56 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2015.

SPADER, V. et al. Seletividade de herbicidas pós emergentes em híbridos de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 26.; CONGRESSO DE LA ASOCIACION LATINOAMERICANA DE MALEZAS, 18., 2008, Ouro Preto. **Anais...** Sete Lagoas: SBCPD: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. (1 CD-ROM).

SPADER, V.; VIDAL, R.A. Seletividade e dose de injúria econômica de nicosulfuron aplicado em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do milho. **Ciência Rural**, v. 31, n. 6, p. 929-934, 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. California: The Benjamin/Cummings, 1991. p. 537.

VELINI, E. D.; TRINDADE, M. L. B. Comportamento de herbicidas na planta. Época de aplicação de herbicidas. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE MANEJO INTEGRADO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS, 1992, Botucatu, **Anais...** Botucatu: UNESP, FEPAF, 1992. p.65-86.

ZANATTA, F. S. et al. Influência de doses de nitrogênio na época de controle de plantas daninhas na cultura do milho (*Zea mays*). **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 529-536, 2007.

## APÊNDICES

Apêndice A – Resumo da análise de variância conjunta envolvendo as duas safras (2016/17), para as avaliações de controle de plantas daninhas. UFLA, Lavras-MG, 2018.

FV	GL	QM		
		7 DAA	14 DAA	21 DAA
<b>Ambiente</b>	1	5006,1 **	95510,4 **	175356,3 **
<b>Bloco (Ambiente)</b>	6	4781,8 **	1678,6 **	210,2 ns
<b>Modos de Controle (M)</b>	3	42414,5 **	26708,3 **	40301,0 **
<b>Época N (E)</b>	1	2954,2 *	3195,2 *	435,3 ns
<b>M × E</b>	3	1309,4 ns	824,5 ns	193,9 ns
<b>M × Ambiente</b>	3	576,8 ns	10757,9 **	19915,4 **
<b>E × Ambiente</b>	1	528,3 ns	1151,3 ns	197,4 ns
<b>M × E × Ambiente</b>	3	216,8 ns	382,2 ns	600,5 ns
<b>erro</b>	170	688,0	483,5	276,8
<b>Média Geral</b>		60,9	65,8	57,1
<b>CV (%)</b>		43,1	33,4	29,1

\*\*  $p \leq 0,01$ ; \*  $p \leq 0,05$ ; ns – não significativo ( $p \geq 0,05$ ), pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Do Autor (2018).

Apêndice B – Resumo da análise de variância conjunta envolvendo as duas safras (2016/17), para os caracteres número de fileiras (N° Fileiras), alturas de plantas (ALT\_P) e produtividade do híbrido KWS 9004. UFLA, Lavras-MG, 2018.

FV	GL	QM		
		N° Fileiras	ALT_P	Produtividade
<b>Ambiente</b>	1	2,4 ns	0,73 **	428679425,9 **
<b>Bloco (Ambiente)</b>	6	8,6 ns	0,01 ns	4951273,1 ns
<b>Modos de Controle (M)</b>	3	13,0 ns	0,02 ns	574077,0 ns
<b>Época N (E)</b>	1	6,9 ns	0,03 ns	1390795,6 ns
<b>M × E</b>	3	6,4 ns	0,01 ns	648364,8 ns
<b>M × Ambiente</b>	3	7,0 ns	0,01 ns	2493263,1 ns
<b>E × Ambiente</b>	1	1,1 ns	0,02 ns	33244,2 ns
<b>M × E × Ambiente</b>	3	13,9 ns	0,03 ns	5580208,6 ns
<b>erro</b>	42	6,9	0,02	2775032,5
<b>Média Geral</b>		16,6	2,4	10889
<b>CV (%)</b>		15,8	6,5	15,3

\*\*  $p \leq 0,01$ ; \*  $p \leq 0,05$ ; ns – não significativo ( $p \geq 0,05$ ), pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Do Autor (2018).

Apêndice C – Resumo da análise de variância conjunta envolvendo as duas safras (2016/17), para os caracteres número de fileiras (N° Fileiras), alturas de plantas (ALT\_P) e produtividade do híbrido P30F53.UFLA, Lavras-MG, 2018.

FV	GL	QM		
		N° Fileiras	ALT_P	Produtividade
<b>Ambiente</b>	1	0,01 ns	1,18 **	368033577,6 **
<b>Bloco (Ambiente)</b>	6	0,45 ns	0,08 **	12508973,2 ns
<b>Modos de Controle (M)</b>	3	0,96 *	0,01 ns	2554396,0 ns
<b>Época N (E)</b>	1	0,45 ns	0,001 ns	890392,7 ns
<b>M × E</b>	3	0,29 ns	0,006 ns	13662921,0 *
<b>M × Ambiente</b>	3	0,34 ns	0,009 ns	12610633,4 *
<b>E × Ambiente</b>	1	0,86 ns	0,007 ns	7,6 ns
<b>M × E × Ambiente</b>	3	0,65 ns	0,02 ns	970229,1 ns
<b>erro</b>	42	0,27	0,006	45385673,9
<b>Média Geral</b>		15,9	2,45	11852,1
<b>CV (%)</b>		3,3	3,4	8,8

\*\*  $p \leq 0,01$ ; \*  $p \leq 0,05$ ; ns – não significativo ( $p \geq 0,05$ ), pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Do Autor (2018).

Apêndice D – Resumo da análise de variância conjunta envolvendo as duas safras (2016/17), para os caracteres número de fileiras (N° Fileiras), alturas de plantas (ALT\_P) e produtividade do híbrido DKB 230.UFLA, Lavras-MG, 2018.

FV	GL	QM		
		N° Fileiras	ALT_P	Produtividade
<b>Ambiente</b>	1	0,42 ns	2,08 **	589544379,8 **
<b>Bloco (Ambiente)</b>	6	0,37 ns	0,02 **	1343302,4 ns
<b>Modos de Controle (M)</b>	3	0,35 ns	0,003 ns	1971044,0 ns
<b>Época N (E)</b>	1	0,72 ns	0,002 ns	8764,7 ns
<b>M × E</b>	3	1,99 ns	0,007 ns	2004718,8 ns
<b>M × Ambiente</b>	3	1,91 ns	0,002 ns	2596137,7 ns
<b>E × Ambiente</b>	1	0,56 ns	0,013 ns	8391,9 ns
<b>M × E × Ambiente</b>	3	0,89 ns	0,006 ns	1307818,4 ns
<b>erro</b>	42	15,35	0,005	970449,2
<b>Média Geral</b>		15,4	2,47	10552,1
<b>CV (%)</b>		3,9	2,9	9,3

\*\*  $p \leq 0,01$ ; \*  $p \leq 0,05$ ; ns – não significativo ( $p \geq 0,05$ ), pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Do Autor (2018).

Apêndice E – Resumo da análise de variância conjunta envolvendo as duas safras (2016/17), para o caractere fitotoxicidade aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA), para os híbridos KWS 9004, DKB 230 e P30F53.UFLA, Lavras-MG, 2018.

FV	GL	KWS 9004			DKB 230			P30F53		
		7 DAA	14 DAA	21 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA
<b>Ambiente</b>	1	1,26 **	0,0E+0	0,0E+0	0,76 **	0,06 ns	0,0E+0	1,56 **	0,0E+0	0,0E+0
<b>Bloco (Ambiente)</b>	6	0,08 ns	0,0E+0	0,0E+0	0,14 ns	0,02 ns	0,0E+0	0,10 ns	0,0E+0	0,0E+0
<b>Modos de Controle (M)</b>	3	0,22 ns	0,0E+0	0,0E+0	0,18 ns	0,06 ns	0,0E+0	0,19 ns	0,0E+0	0,0E+0
<b>Época N (E)</b>	1	0,02 ns	0,0E+0	0,0E+0	0,01 ns	0,06 ns	0,0E+0	0,25 ns	0,0E+0	0,0E+0
<b>M × E</b>	3	0,10 ns	0,0E+0	0,0E+0	0,09 ns	0,06 ns	0,0E+0	0,12 ns	0,0E+0	0,0E+0
<b>M × Ambiente</b>	3	0,26 ns	0,0E+0	0,0E+0	0,10 ns	0,06 ns	0,0E+0	0,19 ns	0,0E+0	0,0E+0
<b>E × Ambiente</b>	1	0,01 ns	0,0E+0	0,0E+0	0,01 ns	0,06 ns	0,0E+0	0,25 ns	0,0E+0	0,0E+0
<b>M × E × Ambiente</b>	3	0,26 ns	0,0E+0	0,0E+0	0,18 ns	0,06 ns	0,0E+0	0,12 ns	0,0E+0	0,0E+0
<b>erro</b>	42	0,11	0,0E+0	0,0E+0	0,10	1,38	0,0E+0	0,09	0,0E+0	0,0E+0
<b>Média Geral</b>		1,2	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0
<b>CV (%)</b>		28,8	0,0	0,0	28,4	17,6	0,0	26,27	0,0	0,0

\*\*  $p \leq 0,01$ ; \*  $p \leq 0,05$ ; ns – não significativo ( $p \geq 0,05$ ), pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Do Autor (2018).

Apêndice F - Resumo das análises de variâncias envolvendo os híbridos de milho e doses do nicosulfuron aplicado no estádio fenológico V4, para o caractere fitotoxicidade, aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA).

Fator	GL	QM			
		7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
<b>Bloco</b>	2	1,402424ns	1,699885ns	0,700677ns	0,573780ns
<b>Dose</b>	2	59,515772**	37,858824**	23,636811**	14,485616**
<b>erro 1</b>	4	1,962681	1,620484	0,700677	0,573780
<b>Híbridos</b>	7	1,204729**	1,718379*	2,238077**	1,670895*
<b>Dose*Híbridos</b>	14	0,671625*	1,647512**	2,238077**	1,670895**
<b>erro 2</b>	42	0,273881	0,568670	0,628069	0,557661
<b>Média Geral</b>		5,3	4,0	3,2	2,4

\*\*  $p \leq 0,01$ ; \*  $p \leq 0,05$ ; ns – não significativo ( $p \geq 0,05$ ), pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Do Autor (2018).

Apêndice G - Porcentagem de fitotoxicidade, obtida por diferentes híbridos de milho em função das doses de nicosulfuron, avaliados em quatro épocas. Experimento correspondente a aplicação dos herbicidas no estágio fenológico V4.

DOSE <sup>1</sup> (g ha <sup>-1</sup> i.a.)	HÍBRIDOS DE MILHO							
	DKB 230	DKB 310	AG 8690	KWS 9606	DKB 290	KWS 9110	SUPREMO	P30F53
----- % -----								
<b>7 DAA<sup>2</sup></b>								
<b>0</b>	0,0 Aa <sup>3</sup>	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa
<b>20</b>	1,0 Aa	2,0 Aa	0,0 Aa	0,7 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	1,0 Aa	0,0 Aa
<b>60</b>	17,7 Bb	28,3 Cb	9,3 Ab	14,3 Ab	7,7 Ab	8,3 Ab	12,0 Ab	24,0 Cb
<b>14 DAA</b>								
<b>0</b>	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa
<b>20</b>	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,3 Aa
<b>60</b>	7,7 Ab	38,7 Cb	5,3 Ab	8,0 Ab	4,3 Aa	3,7 Aa	8,0 Ab	20,3 Bb
<b>21 DAA</b>								
<b>0</b>	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa
<b>20</b>	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa
<b>60</b>	4,3 Aa	38,0 Cb	4,0 Aa	3,3 Aa	1,3 Aa	1,7 Aa	7,7 Ab	16,7 Cb
<b>28 DAA</b>								
<b>0</b>	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa
<b>20</b>	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa
<b>60</b>	2,7 Aa	31,7 Bb	2,3 Aa	2,7 Aa	1,3 Aa	1,3 Aa	5,7 Ab	9,0 Ab

<sup>1</sup> doses de nicosulfuron; <sup>2</sup> DAA – dias após a aplicação; <sup>3</sup> médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do Autor (2018).

Apêndice H - Porcentagem de fitotoxicidade, obtida por diferentes híbridos de milho, e doses de nicosulfuron. Experimento correspondente a aplicação dos herbicidas no estágio fenológico V8.

<b>HÍBRIDOS (H)</b>	<b>Fitotoxicidade (%)</b>		
	<b>7 DAA<sup>2</sup></b>	<b>14 DAA</b>	
DKB 230	1,8 a	0,0 a	
DKB 310	2,4 a	0,0 a	
AG 8690	2,0 a	0,0 a	
KWS 9606	1,9 a	0,0 a	
DKB 290	2,4 a	0,0 a	
KWS 9110	1,9 a	0,0 a	
SUPREMO	2,8 a	0,0 a	
P30F53	3,8 a	0,7 a	
<b>DOSE (g ha<sup>-1</sup> i.a.)<sup>1</sup></b>			
0	0,0 a	0,0 a	
20	1,0 a	0,0 a	
60	6,1 b	0,3 a	
<b>Fator</b>	<b>Parâmetros estatísticos</b>		
	<b>GL</b>	<b>QM</b>	
Bloco	2	1,0956ns	0,0471ns
Dose	2	20,1199**	0,0471ns
erro 1	4	0,5988	0,0471ns
Híbridos	7	0,2198ns	0,0471ns
Dose*Híbridos	14	0,1196ns	0,0471ns
erro 2	42	0,2281	0,0471ns
Média Geral		2,4	0,1

\*\*  $p \leq 0,01$ ; \*  $p \leq 0,05$ ; ns – não significativo ( $p \geq 0,05$ ), pelo teste F, respectivamente. <sup>1</sup> doses de nicosulfuron; <sup>2</sup> DAA – dias após a aplicação; <sup>3</sup> médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do Autor (2018).

## ANEXO

Anexo A - Descrição dos valores conceituais aplicados para avaliações visuais de sintomas de fitotoxicidade.

<b>Descrição conceitual</b>
< 5% Sem injúria. Sem efeito sobre a cultura.
Até 20% Injúrias leves e ou redução de crescimento com rápida recuperação. Efeitos insuficientes para promover reduções de produtividade
21 a 40% Injúrias moderadas e ou reduções de crescimento com lenta recuperação ou definitiva. Efeitos intensos o suficiente para promover pequenas reduções de produtividade.
41 a 75% Injúrias severas e ou reduções de crescimento não recuperáveis e ou reduções de estande. Efeitos intensos o suficiente para promover drásticas reduções de produtividade
76 a 100% destruição completa da cultura ou somente algumas plantas vivas.

Fonte: SBCPD (1995).

**ARTIGO 2****SELECTIVITY AND EFFECTIVENESS OF HERBICIDES IN THE GRAIN  
SORGHUM CROP****SELETIVIDADE E EFICÁCIA DE HERBICIDAS NA CULTURA DO SORGO  
GRANÍFERO**

Guilherme Vieira Pimentel<sup>1</sup>, Dante Ferreira Guimarães<sup>1</sup>, Silvino Guimarães Moreira<sup>1</sup>, Mateus Olímpyo Tavares de Ávila<sup>1</sup>, Inara Alves Martins<sup>1</sup> e Adriano Teodoro Bruzi<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Setor de Grandes Culturas, Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, Lavras, MG, CEP 37200-000, e-mail: guilhermepimentel91@gmail.com

Preparado Segundo a Norma da “Revista PLANTA DANINHA” – artigo aceito para publicação em 20/03/2018 (Anexo).

## RESUMO

Com o decorrer dos anos, as áreas cultivadas de sorgo no Brasil expandiram de forma considerável. O controle químico de plantas daninhas se tornou um entrave devido à escassez de herbicidas registrados para a cultura. Objetivou-se com esse trabalho avaliar a eficiência no controle de plantas daninhas e seletividade de herbicidas aplicados em pré e pós-emergência na cultura. Foram conduzidos dois experimentos. Em um deles utilizou-se o híbrido BRS 310 e, no outro, DKB 550. Os experimentos foram realizados a campo no delineamento em blocos casualizados, avaliando-se sete tratamentos com quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram: 1. Capina manual, 2. S-metolachlor (1440 g i.a. ha<sup>-1</sup>), 3. S-metolachlor (1440 g i.a. ha<sup>-1</sup>) + atrazine (2000 g i.a. ha<sup>-1</sup>), 4. atrazine (2000 g i.a. ha<sup>-1</sup>), 5. atrazine (3000 g i.a. ha<sup>-1</sup>), 6. atrazine (2000 g i.a. ha<sup>-1</sup>) + óleo mineral (0,25%) e 7. atrazine (2000 g i.a. ha<sup>-1</sup>) + óleo mineral (0,5%). Verificou-se que a atrazine em pós-emergência foi eficiente no controle de plantas daninhas e seletiva à cultura do sorgo, não afetando a produtividade, exceto em mistura com óleo mineral (0,5%). O S-metolachlor não apresentou seletividade em pré-emergência para os cultivares testados, pelo fato de não ser seletivo, promovendo a redução no número de plantas e produtividade.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*, fitotoxicidade, controle químico, manejo de plantas daninhas, produtividade.

## ABSTRACT

Over the years, cultivated areas of sorghum have expanded considerably in Brazil. Chemical weed control has become an obstacle due to the scarcity of herbicides registered for the crop. The aim of this study was to evaluate the efficiency of weed control and selectivity of herbicides applied in pre and post emergence in the crop. Two experiments were conducted. In one of them, the hybrid BRS 310 was used while DKB 550 was used in the other. The experiments were performed in the field in randomized block design, evaluating seven treatments with four replications. The used treatments were: 1. Hand weeding, 2. S-metolachlor (1440 g a.i. ha<sup>-1</sup>), 3. S-metolachlor (1440 g a.i. ha<sup>-1</sup>) + atrazine (2000 g a.i. ha<sup>-1</sup>), 4. atrazine (2000 g a.i. ha<sup>-1</sup>), 5. atrazine (3000 g a.i. ha<sup>-1</sup>), 6. atrazine (2000 g a.i. ha<sup>-1</sup>) + mineral oil (0.25%), and 7. atrazine (2000 g a.i. ha<sup>-1</sup>) + mineral oil (0.5%). It was verified that post-emergence atrazine was efficient for weed control and selective to the sorghum crop, not affecting productivity, except in mixture with mineral oil (0.5%). S-metolachlor presented no selectivity in pre-emergence for the tested cultivars because it is not selective, reducing the number of plants and yield.

**Keywords:** *Sorghum bicolor*, phytotoxicity, chemical control, weed management, productivity.

## INTRODUCTION

Sorghum (*Sorghum bicolor*) is one of the most versatile and efficient species, both from a photosynthetic point of view and by its rusticity, making it an option for growing under adverse climatic conditions to the maize cultivation (Dan et al., 2010). Its recognized versatility extends from the use of its grains as human food and feed, ration production and even the numerous applications of its forage in ruminant nutrition, being more used in Brazil (Ribas, 2009; Menezes et al., 2014).

In the early development stages, sorghum plants are relatively small, fragile and have slow growth (Silva et al., 2014). Competition with weed at this stage is quite critical, and if control measures are not taken in the first few weeks after the emergence of sorghum plants, grain yield can be reduced by around 35-70% (SILVA; PASSINI; VIANA, 1986).

The chemical control of weeds in the crop is limited by the low amount of registered herbicides, being only atrazine, simazine and 2,4-D (Correia and Gomes, 2015; AGROFIT, 2017). Studies on the effects and efficacy of herbicides on sorghum are fundamental to increase alternatives for weed control (Machado et al., 2016).

Atrazine is designated mainly for the control of dicotyledon, showing low control spectrum on grasses. Due to the low control spectrum on grasses, it is common to find sorghum crops completely infested by this group of plants, even after the application of the herbicide in pre- or post-emergence. The addition of vegetable or mineral oil to the herbicide improves the efficiency when applied in the initial post-emergence, before the tillering of grasses. However, the herbicide package insert should be checked if there is such a recommendation, if it does not exist, it is not indicated, since it may potentiate the herbicide effect, intoxicating the crop (Silva et al., 2007).

The main problems associated with the use of herbicides are the emergence of resistant species and consequently there is a growing demand for new compounds that have action mechanisms different from the herbicides in use. Some products, such as metolachlor and alachlor, belonging to the group of acetanilide, which are recommended for maize, are being used in sorghum by producers due to the affinity between both crops, and being tested in research study for the crop (Takano et al., 2016).

Herbicides belonging to this chemical group are paired in pre-emergence to control annual grasses (Peterson et al., 2015). The herbicide S-metolachlor is widely used in pre-planting in the corn crop, with graminicide, mainly to control of *Commelia benghalensis* L.

One of the major obstacles to the expansion of sorghum cultivation has been the difficulty in weed management, due to the sensitivity of this crop to graminicide herbicides marketed in Brazil. The use of *safeners* has been developed for use of alachlor and S-metolachlor in grain sorghum. In order to increase the tolerance of the cultivated species, without affecting the sensitivity of weeds (Alterman & Jones, 2003). However, when these experiments were carried out, these products were not being marketed in Brazil. Thus, it is important to conduct research to find new selective herbicide solutions for the crop. Another factor to consider is the degree of tolerance of each hybrid of sorghum to herbicides and also the dose of product, which presents selectivity to the sorghum, as well as being sufficient to control weeds.

Based on the above, the aim was to evaluate the efficiency of different herbicides in weed control and their selectivity, when applied in pre- and post-emergence in the grain sorghum crop.

## MATERIAL AND METHODS

Two experiments were conducted at the Experimental Station of the Federal University of Lavras (UFLA) – Muquém Farm (44° 58`W longitude and 21° 12`S latitude, 951 m altitude), located in Lavras, Minas Gerais State, Brazil. The hybrid DKB 550 was used in one of the experiments and the hybrid BRS 310 was used in the other, they were chosen due to the high productive potential and the resistance to the main diseases (resistance to cercosporiosis and moderate resistance to anthracnose, helminthosporiosis and rust).

The soil was a Red-Yellow Latosol of clayey texture (Santos et al., 2006), showing the following chemical analysis: pH (CaCl<sub>2</sub>) 5.8; O.M. 2.62 dag.kg<sup>-1</sup>; P 9.93 mg.dm<sup>-3</sup>; K 80.62 mg.dm<sup>-3</sup>; S 18.89 mg.dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> 2.46 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> 0.45 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> 0.5 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; H + Al 3.31 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; SB 3.12 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; T 6.43 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>. Before sowing, three tons per hectare of limestone was applied in the area in order to correct toxic aluminum and increase soil saturation, as recommended for the crop (Sousa and Lobato, 2004).

The sowing of hybrids occurred in November 28, 2016, with a final population of 233,000 plants ha<sup>-1</sup> (DKB 550) and 200,000 plants ha<sup>-1</sup> (BRS 310). The fertilization was based on the soil analysis and recommendations for soils of the Cerrado, with 350 kg ha<sup>-1</sup> of formulated fertilizer NPK 08-28-16 (Sousa and Lobato, 2004). Were applied 100 kg ha<sup>-1</sup> of N was applied in the total area. The daily averages of temperature and relative humidity, as well as the occurrence of rainfall, were recorded by the bioclimatology sector of the Federal University of Lavras (UFLA). Table 1 shows the measures and monthly totals.

The used experimental design was the randomized complete block design with four replications. The experimental plot consisted of five rows of crop, 5 m length and spaced 0.6 m between rows, totaling 15 m<sup>2</sup>. The two central lines were evaluated, corresponding to 6.0 m<sup>2</sup> of useful area.

The herbicides were applied with a backpack sprayer pressurized with CO<sub>2</sub> equipped with four tongue-type nozzles TT110015, spaced 0.5 m apart. The used application volume was 200 L ha<sup>-1</sup>, working compression of 200 kPa. The treatments applied in pre-emergence occurred on the day of sowing and the treatments applied in the post-emergence occurred when the sorghum plants were in phenological stage 1 (visible on the third ligule). The detailed description of treatments, as well as the used commercial products are listed in Table 2.

The evaluated characters were: weed control (WC), phytotoxicity (PTO), plant height at flowering (HGT), final stand (STD), 100 grain weight (GW), and productivity (PRO).

Weed control evaluations and species identification were performed at 0, 7 and 21 days after application (DAA) of treatments. For these evaluations, two squares with an area of 0.25 m<sup>2</sup> in each plot were used randomly. Thus, the density of individuals in the present population, number of plants per m<sup>2</sup> and evaluation of weed development stages, were measures taken before to the application of treatments.

In order to obtain control percentages at 7 and 21 DAA, we compared the number of weeds per m<sup>2</sup> with 0 DAA for all plots.

Phytotoxicity evaluations were based on the assignment of grades according to plant intoxication by visual identification of sorghum crop damage performed at 7 and 21 DAA of herbicides application. The grades represented the average of four replicates and were assigned based on the grading scale of the European Weed Research Council (EWRC), according to Melhorança (1984): 1: no damage; 2: small changes (discoloration, deformation) visible in some plants; 3: small changes (discoloration, deformation) visible in several plants; 4: strong

discoloration (yellowing) or reasonable deformation, without, however, occurring necrosis (tissue death); 5: necrosis (burning) of some leaves, especially in the margins, accompanied by deformation in leaves; 6: more than 50% of leaves showing necrosis (deformation); 7: more than 80% of leaves destroyed; 8: extremely serious damage, leaving only small green areas on the plants; 9: plant death.

Moreover, the possible effects of plant intoxication sorghum growth were determined by measuring plant height, which occurred 115 days after emergence (physiological maturation). For this purpose, the height in the base of the stem was taken until the insertion of the flag leaf in five plants per plot, taken at random.

Productivity was achieved by harvesting the two central lines of the plots, where the panicles were threshed by hand in order to separate the seeds from each plot, which were weighed. At that moment, each sample had its moisture measured in order to correct the total grain mass per plot to 13% moisture. From each plot, a 100 grain sample was taken at random from the harvested volume, weighed and had its moisture corrected to 13%.

At the end of the crop cycle, the plant stand was evaluated, counting the number of plants in the four central lines from each plot.

For statistical analysis, the counting data and percentage were transformed into square root ( $x + 0.5$ ) to meet ANOVA premises. The data were analyzed statistically by applying the F test on the ANOVA, followed by the Scott-Knott test for comparison of the variables. The 5% significance level was adopted. The constant averages in the Tables are from the original data, without transformation.

## RESULTS AND DISCUSSION

Among the present weeds in the area, a clear dominance of *Richardia brasiliensis*, *Cenchrus echinatus* and *Ipomoea triloba* was observed in both experiments, and the other weeds found in the total area are presented in Table 3. These results were similar to those performed by Karam et al. (2014), which found high frequency of these three species *R. brasiliensis*, *C. echinatus* and *Ipomoea* spp., for the maize and soybean producing regions in the states of Minas Gerais and Goiás, Brazil.

Weed control data are shown in Table 4. In the experimental area of the hybrid BRS 310, at seven days after application, there were significant differences ( $p < 0.05$ ) between the

treatments. However, the difference was not detected by means test. In turn, at 21 days after application, there were significant differences between treatments ( $p < 0.05$ ). Herbicides with atrazine, whether or not mixed with oil, showed the same control efficiency as the control treatment (weeding).

In the experimental area of the hybrid DKB 550, at seven days after application, there were no significant differences ( $p < 0.05$ ) between treatments, there were only significant differences at 21 DAA ( $p < 0.05$ ). All treatments with herbicides differed statistically from the control treatment (weeding), presenting low percentages of weed control at 21 days after application (Table 4).

According to Rodrigues and Almeida (2011), atrazine is effective mainly in the weed control of broad leaves and some grasses. Corroborating with the present study, where 51 to 64% of experimental areas showed high infestation by weeds of broad leaves (Table 3), with a higher effect of this herbicide, evidencing the higher percentages of control. In the BRS 310 experiment, there was a greater infestation of eudicotyledones weed which showed the highest control rates due to the use of atrazine. However, for the DKB 550 experiment there was greater infestation of monocotyledons weed, resulting in less control by atrazine (Table 3 and 4).

Several grass species are tolerant to atrazine, according to Silva et al. (2007), one of the plausible explanations for this increase in grass tolerance is related to the lower absorption through leaf tissues or to the existence of compounds, such as benzoxazinones, capable of providing reactions like hydroxylation, dealkylation and even conjugation, reducing the herbicide activity. In contrast, the application of S-metolachlor in pre-emergence shows satisfactory control for *C. echinatus* and *C. benghalensis* (Rodrigues and Almeida, 2011; Lopes Ovejero et al., 2013). Corroborating with Brighenti et al. (1998), where they observed high control levels of *C. benghalensis* in the use of 2400 g ha<sup>-1</sup> a.i. of S-metolachlor in maize. However, in the present study, the lower doses of S-metolachlor (1440 g ha<sup>-1</sup> a.i.) and the greater infestation by broad leaves in the areas (Table 3) evidenced the low level of weed control (Table 4).

There were significant differences among treatments for plant stand ( $p < 0.05$ ) in both experiments, however, there were no significant differences for plant height (Table 5).

The observation of the plant stand shows that all the treatments with atrazine did not influence this characteristic, being equal to the control treatment (weeding). Nevertheless, the treatments with S-metolochlor influenced in the crop survival, with 45% reduction in the stand

for treatment with S-metolachlor ( $1440 \text{ g ha}^{-1} \text{ a.i.}$ ) and 69% for the treatment with S-metolachlor + atrazine ( $1440 \text{ g} + 2000 \text{ g ha}^{-1} \text{ a.i.}$ ) for hybrid BRS 310. For the hybrid DKB 550, the reductions were 35% and 28% for the respective treatments. These data corroborate with those showed by Martins et al. (2006), 63% and 83% reduction for the herbicides metolachlor + atrazine and metolachlor, respectively. As well as observed by Galon et al. (2016) in which the herbicide S-metolachlor ( $1440 \text{ g ha}^{-1} \text{ a.i.}$ ) when applied solely in pre-emergence or ready-mix with atrazine ( $1500 \text{ g ha}^{-1} \text{ a.i.}$ ) promoted morphological changes in sweet sorghum cultivars BRS 509, BRS 506 and BRS 511, causing tissue swelling and young stem curling, leading to reduced growth and failure in the final stand of the crop.

There were significant differences among the treatments for phytotoxicity at 7 ( $p < 0.05$ ) and 21 DAA ( $p < 0.05$ ) in both experiments (Figure 1).

When comparing the two commercial sorghum hybrids submitted to herbicide application (Figure 1), it was observed that, at 7 and 21 DAA, both hybrids BRS 310 and DKB 550 showed phytotoxicity indexes higher than 5 (severe) for the herbicide atrazine ( $2000 \text{ g ha}^{-1} \text{ a.i.}$ ) + 0.50% oil, indicating sensitivity of hybrids to the highest oil percentage. However, it did not affect the plant population, equally to the control treatment (Table 5). However, Martins et al. (2006) observed in their studies that the isolated application of atrazine was selective for the crop as well as the application with oil in the two tested formulations (0.25% and 0.5%). In turn, the same authors worked with sorghum cultivar A-6304, showing the importance of evaluations for current cultivars. In saccharin sorghum, low phytotoxicity levels were observed for cultivars BRS 509, BRS 506, BRS 511, when applied atrazine ( $1500 \text{ g ha}^{-1} \text{ a.i.}$ ) solely in pre-emergence (Galon et al., 2016).

By analyzing phytotoxification symptoms during evaluations, for the herbicides atrazine ( $2000 \text{ g ha}^{-1} \text{ a.i.}$ ), atrazine ( $3000 \text{ g ha}^{-1} \text{ a.i.}$ ), and atrazine ( $2000 \text{ g ha}^{-1} \text{ a.i.}$ ) + 0.25% oil, phytotoxification indexes lower than 3 (medium) were observed for hybrid DKB 550. In relation to the hybrid BRS 310 regarding only the herbicide atrazine ( $2000 \text{ g ha}^{-1} \text{ a.i.}$ ) + 0.25% oil, the symptoms observed in the evaluation performed at 21 DAA were almost the same as in the first evaluation, with rates higher than 3 (medium).

For the herbicides S-metolachlor isolated or associated with atrazine, the effects were also accentuated at 7 DAA for hybrid BRS 310, showing recovery in the evaluations performed at 21 DAA, with indexes varying from 3 to 5 (medium to severe). However, for the hybrid DKB 550, there was an advance in the phytotoxification in the final evaluation, for the same

herbicides, where the difference was significant by the reduction of the plant stand in comparison to the other treatments, denoting the mortality effect of sorghum plants in both experiments, as observed by Martins et al. (2006).

These results indicate that the permanence or disappearance of phytotoxication symptoms of hybrids may be related to the greater or lesser sensitivity degree of these when submitted to the studied herbicides. Such differences may even affect grain yield.

There were significant differences among treatments of 100 grain weight ( $p < 0.05$ ) for the hybrid BRS 310 (Table 6), where the plants obtained the highest 100 grain weight in the plots with control atrazine + oil ( $2000 \text{ g ha}^{-1} \text{ a.i.} + 0.50\%$ ). Although the action mechanism of the herbicides atrazine, simazine, metolachlor and alachlor is by inhibition of photosynthesis (Rodrigues and Almeida, 2011), the phytotoxicity effect on the remaining plants was not intense enough to significantly affect the reserve accumulation of the formed seeds. There were no significant differences ( $p > 0.05$ ) among treatments in the experiment DKB 550 for the 100 grain weight (Table 6).

There were significant differences among treatments for productivity ( $p < 0.05$ ) in both experiments (Table 6). The grain yield of the hybrid BRS 310 was reduced by approximately 50% with the applications of S-metolachlor isolated or associated with atrazine when compared to the control treatment. In the case of the hybrid DKB 550, grain yield was also reduced by the application of these two treatments, and by the application of the higher atrazine dose ( $3000 \text{ g ha}^{-1} \text{ a.i.}$ ). However, the percentage reduction in productivity was lower, ranging from 21% (S-metolachlor) to 36% (S-metolachlor + atrazine). This shows that every hybrid has a different sensitivity for different herbicides. The other treatments did not affect productivity (Table 6). Corroborating with the results found by Martins et al. (2006), which observed a decrease of 43% and 77% of grain yield in treatments of atrazine + metolachlor and metolachlor, respectively.

Regarding atrazine, sorghum has a tolerance mechanism that hinders the absorption and translocation of this herbicide in the plant or by the high levels of benzoxazinones, an enzymatic complex responsible for the metabolization of atrazine in non-toxic compounds (Rodrigues and Almeida, 2011). The application of atrazine in isolation was selective for both hybrids at the lowest dose ( $2000 \text{ g ha}^{-1} \text{ a.i.}$ ), without affecting productivity. This result corroborates with those obtained by Galon et al. (2016), with sorghum cultivars in the application of atrazine ( $1500 \text{ g}$

ha<sup>-1</sup> a.i.). However, the higher atrazine dose (3000 g ha<sup>-1</sup> a.i.) caused reductions in productivity for the hybrid DKB 550 (Table 6).

Corroborating with the results obtained in the present study, high intoxication of sorghum plants was reported in the literature, with reduction in stand and consequently productivity by the application of S-metolachlor in the pre-emergence (Martins et al., 2006; Reis, 2014). S-metolachlor acts at the beginning of plant development, being absorbed in the coleoptile region of grasses and hypocotyl of dicotyledons (Silva et al., 2007). In these regions, the cells are underdeveloped and did not show wax in cuticle. It is observed that sorghum plants at the beginning of development, after emergence, become more tolerant to S-metolachlor due to its toxic action occurring during the emergence process of seedlings. However, even at lower concentrations (1440 g ha<sup>-1</sup> a.i.), S-metolachlor can be absorbed by the shoot of sorghum plants, causing intoxication and reducing growth and yield, as observed in this study and by Machado et al. (2016) at a dose of 768 g ha<sup>-1</sup> a.i. or also higher doses of the product (2520 g ha<sup>-1</sup> a.i.), as observed by Martins et al. (2006).

In the USA, the recommendation for S-metolachlor in the sorghum crop is performed with the use of *safener* in the seed treatment. The adoption of this practice is able to reduce crop intoxication, and no damages are observed for the final plant development (Geier et al., 2009; Thompson et al., 2016).

Thus, the application of atrazine in post-emergence at the dose of 2000 g ha<sup>-1</sup> a.i. did not affect sorghum yield, being selective to the crop. However, atrazine at the dose of 3000 g ha<sup>-1</sup> a.i. reduced the yield of sorghum DKB 550. The mixture of atrazine (2000 g ha<sup>-1</sup> a.i.) with oil caused phytotoxicity, but did not affect the yield of hybrids. However, the use of S-metolachlor in pre-emergence associated or not with atrazine reduces the stand, causes phytotoxicity and reduces yield of the tested cultivars.

## REFERENCES

- AGROFIT. **Consulta de ingredientes ativos**. 2018. [Acesso em: 16 de setembro de 2017]. Disponível em: [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons).
- Alterman, M. K; Jones, A. P. **Herbicidas: Fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción**. Ediciones Universidad Católica de Chile, 2003.
- Brighenti, A.M. et al. Controle químico de plantas daninhas em cultivos sucessivos de milho e feijão. **Planta Daninha**.1998;16:109-116.
- Correia N.M., Gomes L.J.P. Selectivity of saflufenacil for sweet sorghum and potential use of Na-bentazon as a safener. **Planta Daninha**. 2015;33:267-74.
- Dan, H.A. et al. Tolerância do sorgo granífero ao herbicida tembotrione. **Planta Daninha**. 2010;28:615-620.
- Galon L. et al. Selectivity and efficiency of herbicides in weed control on sweet sorghum. **Pesquisa Agropecuária**. 2016: 46: 123-131.
- Geier, P.W. et al. Preemergence herbicide efficacy and phytotoxicity in grain sorghum. **Weed Science Society of America**. 2009;23:197-201.
- Karam, D. et al. Levantamento de plantas daninhas em regiões produtoras de milho e soja nos Estados de Goiás e Minas Gerais. **Embrapa Milho e Sorgo-Documentos (INFOTECA-E)**, 2014.
- Lopes Ovejero, R. F. et al. Residual herbicides in weed management for glyphosate-resistant soybean in Brazil. **Planta Daninha**. 2013;31:947-959.
- Machado, F.G. et al. Performance de herbicidas para o controle de plantas daninhas no sorgo. [S.l.]: **Revista Brasileira de Herbicidas**. 2016;15:281-289.
- Martins, C.C. et al. Seletividade de Herbicidas sobre a Produtividade e a Qualidade de Sementes de Sorgo Granífero. **Agropecuária Técnica**. 2006;27:37-42.
- Melhorança, A.L. Efeito dos herbicidas pós-emergentes no desenvolvimento e na produção de grãos de soja. **Londrina: Embrapa-CNPSO**, 1984. 1078p. (Embrapa-CNPSO. Documentos, 7).
- Menezes, C.B. et al. Combining ability of grain sorghum lines selected for aluminum tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina. 2014;14:42-48.
- Peterson, D. E. et al. Herbicide Mode of Action. Topeka: Kansas State University, p. 1-28, 2015.
- Reis, R. M. **Produtividade e manejo de plantas daninhas no sorgo sacarino cultivado em diferentes arranjos de plantas**. [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2014.
- Ribas, P.M. Importância econômica: cultivo do sorgo. Sete Lagoas, MG: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2009. 73p.
- Rodrigues, B.N., Almeida, F.S. **Guia de herbicidas**. 6th ed. Londrina, PR: UEL, 2011. 697p.

Santos, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos: 2006. 306p.

Silva, A. A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: Silva, A.A.; Silva, J.F., editores. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 58-117.

Silva, J. R. V. D. et al. Fluxofenim used as a safener on sorghum seed for S-metolachlor herbicide. **Bioscience Journal**, 2014:158-167.

SILVA, J.B. da; PASSINI, T.; VIANA, A.C. Controle de plantas daninhas na cultura do sorgo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.144, p.43-45, 1986.

Sousa, D.M.G., Lobato, E., editores. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

Takano, H. K. et al. Potential use of herbicides in different sorghum hybrids. **African Journal of Agricultural Research**, 2016: 11: 2277-2285.

Thompson, C.R. et al. Chemical weed control for field crops, pastures, rangeland, and non cropland. Herbicides for grain sorghum. **Kansas State University Agricultural Experiment**. Report of progress, 2016:48-59.

**Table 1** - Monthly averages of temperature, relative humidity and rainfall.

Months	Total rainfall (mm)	TAVG <sup>1</sup> (°C)	RH AVG <sup>2</sup> (%)
November/16	190.2	27.4	75.7
December/16	145.0	29.5	71.9
January/17	157.9	30.3	72.8
February/17	64.1	29.9	69.6
March/17	158.6	29.4	70.0

<sup>1</sup>Monthly average air temperature; <sup>2</sup>Monthly air relative humidity.

**Table 2** - Characteristics of products used in the experiment.

Herbicides		Dose (g ha <sup>-1</sup> a.i.)
Common name	Trade name	
1. Control - hand weeding	-	-
2. S-metolachlor	Dual Gold®	1440
3. S-metolachlor + atrazine	Dual Gold® + Gesaprim®	1440 + 2000
4. atrazine	Gesaprim®	2000
5. atrazine	Gesaprim®	3000
6. atrazine + oil <sup>2</sup>	Gesaprim®+ Assist®	2000 + 4.8
7. atrazine + oil <sup>3</sup>	Gesaprim®+ Assist®	2000 + 9.6

<sup>1</sup>a.i. = active ingredient; <sup>2</sup>Mineral oil - Assist® (0.25% v.v); <sup>3</sup>Mineral oil - Assist® (0.50% v.v).

**Table 3** - Percentage of weeds in the total area at zero days after the control.

Weeds	Family	Bayer Code	BRS 310	DKB 550
			%	
<i>Commelia benghalensis</i> L.	Commelinaceae	(COMBE)	8.58	15.17
<i>Cenchrus echinatus</i>	Poaceae	(CCHC)	27.54	31.88
<i>Eleusine indica</i>	<i>Eleusine indica</i>	(ELEIN)	-	1.54
<b>Monocotyledons</b>			36.12	48.59
<i>Alternanthera tenella</i>	Amaranthaceae	(ALRTE)	1.58	3.09
<i>Melampodium perfoliatum</i>	Asteraceae	(MEMPE)	0.23	3.08
<i>Richardia brasiliensis</i>	Rubiaceae	(RCHBR)	39.50	22.88
<i>Galinsoga parviflora</i>	Asteraceae	(GASPA)	0.23	5.91
<i>Ipomoea triloba</i>	Convolvulaceae	(IPOTR)	14.45	5.14
<i>Bidens pilosa</i>	Asteraceae	(BIDPI)	7.90	11.31
<b>Eudicotyledons</b>			63.89	51.41
Total			100	100

**Table 4** - Weed control percentage in BRS 310 and DKB 550 grain sorghum, at 7 and 21 days after application of different treatments.

Treatments	Dose (g ha <sup>-1</sup> a.i.)	Weed Control (%)			
		BRS 310		DKB 550	
		7 DAA	21 DAA	7 DAA	21 DAA
S-metolachlor	1440	5.00 a	0.00 b	31.62 a	4.41 b
S-metolachlor + atrazine	1440 + 2000	41.25 a	41.25 a	26.67 a	29.58 b
atrazine	2000	64.75 a	58.41 a	34.22 a	20.29 b
atrazine	3000	73.17 a	53.88 a	41.12 a	42.74 b
atrazine + oil <sup>1</sup>	2000 + 4.8	61.60 a	69.46 a	32.84 a	28.17 b
atrazine + oil <sup>2</sup>	2000 + 9.6	68.10 a	62.41 a	32.99 a	18.55 b
Control - weeding	-	100.00 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a
<b>Overall average</b>		59.12	55.06	42.78	34.82
<b>CV (%)</b>		47.68	45.81	57.38	62.65
<b>p-value</b>		0.0380*	0.0094*	0.1955 <sup>ns</sup>	0.0267*

<sup>1</sup>Mineral oil - Assist® (0.25% v.v); <sup>2</sup>Mineral oil - Assist® (0.50% v.v); \*Significant at 5% probability; ns - Not significant. Averages followed by same letter in the column did not differ statistically among themselves by Scott-Knott test at 5% probability.

**Table 5** - Plant height (HGT) and final stand (STD) of the different treatments applied in BRS 310 and DKB 550 sorghum plants.

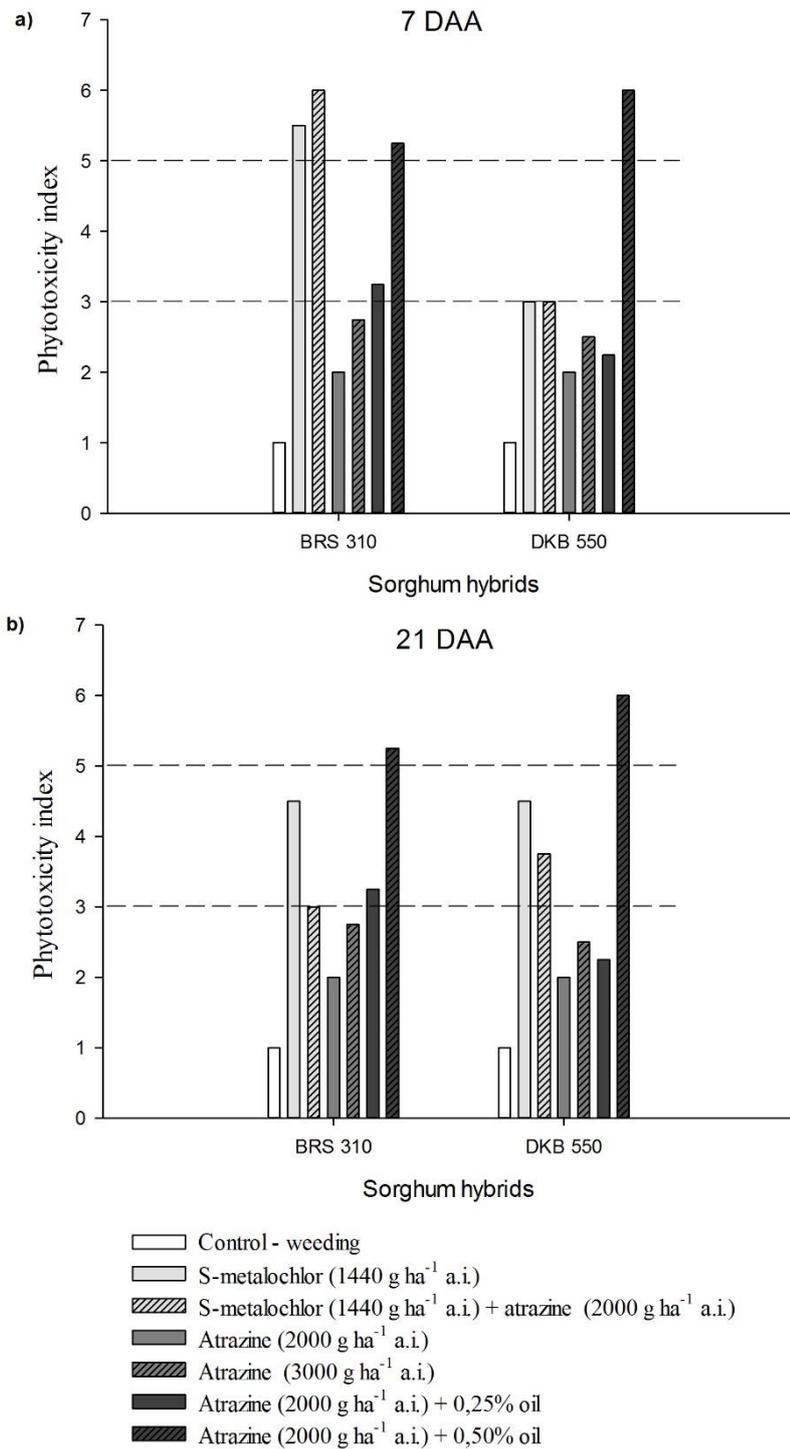
Treatments	Dose (g ha <sup>-1</sup> a.i.)	BRS 310		DKB 550	
		HGT (m)	STD	HGT (m)	STD
S-Metalochlor	1440	1.26 a	62501.3 b	1.33 a	71252.4 b
S-Metalochlor + Atrazine	1440 + 2000	1.29 a	34792.4 c	1.35 a	78543.2 b
Atrazine	2000	1.28 a	118752.4 a	1.37 a	122294.1 a
Atrazine	3000	1.25 a	114169.0 a	1.30 a	99377.0 a
Atrazine + oil <sup>1</sup>	2000 + 0.25%	1.35 a	125835.9 a	1.33 a	98543.6 a
Atrazine + oil <sup>2</sup>	2000 + 0.50%	1.30 a	117085.7 a	1.32 a	121877.4 a
Control - weeding	-	1.24 a	114585.7 a	1.36 a	109168.9 a
<b>Overall average</b>		1.28	98246.01	1.34	100150.81
<b>CV (%)</b>		12.30	10.93	6.52	12.63
<b>p-value</b>		0.3362 <sup>ns</sup>	< 0.0001*	0.3224 <sup>ns</sup>	0.0441*

<sup>1</sup>Mineral oil - Assist® (0.25% v.v); <sup>2</sup>Mineral oil - Assist® (0.50% v.v); \*Significant at 5% probability; ns - Not significant. Averages followed by same letter in the column did not differ statistically among themselves by Scott-Knott test at 5%.

**Table 6** - Productivity and 100 grain weight (GW) of BRS 310 and DKB 550 grain sorghum plants, depending on the different treatments.

Treatments	Dose (g ha <sup>-1</sup> a.i.)	BRS 310		DKB 550	
		GW <sup>3</sup> (g)	PRO <sup>4</sup> (kg/ha)	GW (g)	PRO (kg/ha)
S-metolachlor	1440	1.99 b	2657.6 b	2.19 a	4404.50 b
S-metolachlor + atrazine	1440 + 2000	2.12 b	2647.9 b	2.30 a	3542.00 b
atrazine	2000	2.11 b	5763.8 a	2.16 a	5158.88 a
atrazine	3000	2.11 b	5081.9 a	2.20 a	4183.55 b
atrazine + oil <sup>1</sup>	2000 + 0.25%	2.07 b	5564.4 a	2.24 a	6045.61 a
atrazine + oil <sup>2</sup>	2000 + 0.50%	2.39 a	5931.7 a	2.15 a	4473.35 a
Control - weeding	-	1.95 b	5418.7 a	2.14 a	5542.51 a
<b>Overall average</b>		2.11	4723.73	2.20	4764.34
<b>CV (%)</b>		6.56	19.08	5.03	20.26
<b>p-value</b>		0.0090*	0.0010*	0.4594 <sup>ns</sup>	0.0262*

<sup>1</sup>Mineral oil - Assist<sup>®</sup> (0.25% v.v); <sup>2</sup>Mineral oil - Assist<sup>®</sup> (0.50% v.v); <sup>3</sup>GW - 100 grain weight; <sup>4</sup>PRO - Productivity; \*Significant at 5% probability; ns - Not significant. Averages followed by same letter in the column did not differ statistically among themselves by Scott-Knott test at 5%.



**Figure 1** - Phytotoxicity index at: a) 7, and b) 21 days after application of the herbicides in different sorghum hybrids, BRS 310 and DKB 550.

## ANEXO



REVISTA PLANTA DANINHA  
Universidade Federal de Viçosa  
Departamento de Fitotecnia  
36570-900 - Viçosa-MG

RPD – 027/2018

Da: Comissão Editorial da Revista PLANTA DANINHA  
Para: Guilherme Vieira Pimentel e demais autores  
Assunto: **Declaração de Aceite**

Viçosa, 20 de março de 2018.

Prezados Senhores:

A Comissão Editorial da revista **PLANTA DANINHA** tem a satisfação de informar-lhe o aceite do artigo científico intitulado "**SELECTIVITY AND EFFECTIVENESS OF HERBICIDES IN THE CULTURE OF GRAIN SORGHUM**", que foi registrado no Sistema de Submissão e Acompanhamento de Artigos sob o número 187771, aceite a publicação em 20/03/2018.

Os autores deste artigo são:

Guilherme Vieira Pimentel, Dante Ferreira Guimarães, Silvino Guimarães Moreira, Mateus Olímpyo Tavares de Ávila, Inara Alves Martins e Adriano Teodoro Bruzi.

Atenciosamente,

Leonardo d'Antonino,  
Editor-chefe