

MARCELA BORGES

**FITOTOXICIDADE CAUSADA POR DERIVA SIMULADA DOS
HERBICIDAS CHLORIMURON ETHYL E TEMBOTRIONE NA CULTURA
DA BATATA**

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

Orientador

Prof. Dr. José Magno Queiroz Luz

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

MARCELA BORGES

**FITOTOXICIDADE CAUSADA POR DERIVA SIMULADA DOS HERBICIDAS
CHLORIMURON ETHYL E TEMBOTRIONE NA CULTURA DA BATATA**

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

APROVADA em 28 de março de 2014.

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

UFU

Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel

UFU

Prof. Dr. Dagoberto Martins

UNESP

Prof. Dr. José Magno Queiroz Luz
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

*Aos meus pais,
Simone e Heitor
que sempre me apoaram
e acompanharam toda minha trajetória!
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por sempre iluminar meu caminho e por permitir que mais esta conquista se realizasse.

Aos meus pais, Heitor Paiva Borges e Simone Abadia Carvalho Borges, por dedicarem suas vidas a me ensinar valores como respeito e gratidão e por me acompanharem e apoiarem em todas as minhas decisões, agradeço imensamente .

Agradeço também ao meu irmão, Guilherme Carvalho Borges, pela amizade e pelo companheirismo.

Àquele que sempre esteve presente nesta trajetória, meu noivo e companheiro, Henrique Tomás Marçal, pelo amor, carinho, amizade e por jamais me deixar abater diante das dificuldades.

Ao meu orientador José Magno Queiroz Luz, pelos ensinamentos, pelo exemplo de pessoa e profissional, e por me orientar com seriedade, compromisso, confiança e amizade ao longo dos anos que trabalhamos juntos.

À Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade e ao CNPq, pelo apoio financeiro no período dedicado às pesquisas.

Ao Grupo Rocheto e seus colaboradores pelo apoio concedido e por cederem seus espaços e parte dos recursos para a condução dos ensaios.

Aos amigos do Laboratório de Mecanização Agrícola, Guilherme Alves e Mariana Rodrigues Bueno, pelo auxílio na preparação para os ensaios. E aos colegas da Olericultura que ajudaram na condução dos mesmos.

Em especial, agradeço ao amigo Wender Rezende que esteve sempre presente, auxiliando e contribuindo com os estudos da pesquisa.

Agradeço a todos do Instituto de Ciências Agrárias e do programa de Pós-graduação em Agronomia: coordenadores, funcionários, professores e colegas. Aos professores, João Paulo A. R. da Cunha, Denise Garcia Santana e Marli Ranal por me auxiliarem no planejamento e análises da pesquisa.

Aos membros da Banca, por disponibilizarem seu tempo para contribuir com seus conhecimentos neste trabalho.

Enfim, a minha gratidão a todos: família e amigos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse projeto.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

B732f Borges, Marcela, 1986-

2014 Fitotoxicidade causada por deriva simulada dos herbicidas *chlorimuron ethyl* e *tembotrione* na cultura da batata / Marcela Borges. -- 2014.
80 p. : il.

Orientador: José Magno Queiroz Luz.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Batata - Cultura - Teses. 3. Herbicidas - Teses. I. Luz, José Magno Queiroz, 1967-. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
CAPÍTULO I	01
1 INTRODUÇÃO GERAL	01
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	04
CAPÍTULO II: Fitotoxicidade de subdoses de chlorimuron ethyl em simulação de deriva na cultura da batata	06
RESUMO.....	07
ABSTRACT	08
1 INTRODUÇÃO	09
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
3.1 Fitotoxicidade.....	20
3.2 Comprimento médio de hastes.....	25
3.3 Alterações fisiológicas na cultura da batata.....	27
3.4 Produtividade e classificação de tubérculos.....	30
3.5 Teor de sólidos solúveis.....	39
4 CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
CAPÍTULO III: Fitotoxicidade de subdoses de tembotrione em simulação de deriva na cultura da batata	46
RESUMO.....	47
ABSTRACT	48
1 INTRODUÇÃO	49
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	50
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
3.1 Fitotoxicidade.....	57

3.2	Comprimento médio de hastes.....	64
3.3	Alterações fisiológicas na cultura da batata.....	65
3.4	Produtividade e classificação de tubérculos.....	69
3.5	Teor de sólidos solúveis.....	75
4	CONCLUSÃO.....	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

TABELA 1: Descrição das subdoses do herbicida.....	13
TABELA 2: Escala de notas visuais para determinação de fitotoxicidade causada por subdoses do herbicida chlorimuron ethyl na cultura da batata.....	15
TABELA 3: Classificação de tubérculos de batata de acordo com o padrão do CEAGESP (Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo).....	18
TABELA 4: Notas de fitotoxicidade em diferentes dias de avaliações após a aplicação de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl simulando deriva em batata, cv. Asterix.....	21
TABELA 5: Comprimento médio de hastes de batata, cv. Asterix, 24 dias após aplicação de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl.....	25
TABELA 6: Índices de clorofila (ICF) de folhas de batata, cultivar Asterix, 17 dias após aplicação de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl.....	28
TABELA 7: Taxa de assimilação de CO ₂ (A), taxa de transpiração (E), conteúdo de CO ₂ interno (Ci) e condutância estomática (gs) de folhas de batata, cv. Asterix, 17 DAA de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl.....	29
TABELA 8: Eficiência instantânea no uso da água (EUA) e de carboxilação (EIC) de folhas de batata, cv. Asterix, 17 DAA de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl.....	29
TABELA 9: Produtividade Total de tubérculos de batata, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de chlorimuron ethyl em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio.....	31
TABELA 10: Produtividade classe Especial de tubérculos de batata, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de chlorimuron ethyl em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio.....	31
TABELA 11: Produtividade classe Primeira de tubérculos de batata, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de chlorimuron ethyl em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio.....	32
TABELA 12: Produtividade classe Segunda de tubérculos de batata, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de chlorimuron ethyl em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio.....	32
TABELA 13: Produtividade de tubérculos com sintomas de rachaduras, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de chlorimuron ethyl em duas épocas	

diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio.....	33
TABELA 14: Influência da época de exposição quanto ao estádio de desenvolvimento de plantas de batata ao herbicida chlorimuron ethyl na produtividade total de tubérculos, cultivar Asterix.....	34
TABELA 15: Influência da época de exposição quanto ao estádio de desenvolvimento de plantas de batata ao herbicida chlorimuron ethyl na produtividade da classe Especial de tubérculos, cultivar Asterix.....	35
TABELA 16: Influência da época de exposição quanto ao estádio de desenvolvimento de plantas de batata a subdoses do herbicida chlorimuron ethyl na formação de tubérculos com rachaduras, cultivar Asterix.....	38
TABELA 17: Teor de sólidos solúveis em tubérculos de batata, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de chlorimuron ethyl em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio.....	40
CAPÍTULO III	
TABELA 1: Descrição das subdoses do herbicida.....	51
TABELA 2: Escala de notas visuais para determinação de fitotoxicidade causada por subdoses do herbicida tembotrione na cultura da batata.....	54
TABELA 3: Classificação de tubérculos de batata de acordo com o padrão do CEAGESP (Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo).....	56
TABELA 4: Notas de fitotoxicidade em diferentes dias de avaliações após a aplicação de subdoses do herbicida tembotrione simulando deriva em batata, cv. Asterix.....	58
TABELA 5: Comprimento médio de hastes de batata, cv. Asterix, 24 dias após aplicação de subdoses do herbicida tembotrione	64
TABELA 6: Índices de clorofila (ICF) de folhas de batata, cultivar Asterix, 17 dias após aplicação de subdoses do herbicida tembotrione	66
TABELA 7: Taxa de assimilação de CO ₂ (A), taxa de transpiração (E), conteúdo de CO ₂ interno (Ci) e condutância estomática (gs) de folhas de batata, cv. Asterix, 17 DAA de subdoses do herbicida tembotrione	67
TABELA 8: Taxa de evaporação de folhas de batata, cv. Asterix, 17 DAA de subdoses do herbicida tembotrione.....	67
TABELA 9: Eficiência instantânea no uso da água (EUA) e de carboxilação (EIC) de folhas de batata, cv. Asterix, 17 DAA de subdoses do herbicida tembotrione.....	68

TABELA 10: Produtividade Total de tubérculos de batata, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de tembotrione em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio.....	70
TABELA 11: Influência da época de exposição quanto ao estádio de desenvolvimento de plantas de batata ao herbicida tembotrione na produtividade total de tubérculos, cultivar Asterix.....	70
TABELA 12: Produtividade classe Especial de tubérculos de batata, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de tembotrione em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio.....	71
TABELA 13: Influência da época de exposição quanto ao estádio de desenvolvimento de plantas de batata ao herbicida tembotrione na produtividade de tubérculos classe Especial, cultivar Asterix.....	72
TABELA 14: Produtividade classe Primeira de tubérculos de batata, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de tembotrione em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio.....	72
TABELA 15: Influência da época de exposição quanto ao estádio de desenvolvimento de plantas de batata ao herbicida tembotrione na produtividade de tubérculos classe Primeira, cultivar Asterix.....	73

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

FIGURA 1: Croqui da área experimental. Perdizes, 2013.....	14
FIGURA 2: A) ClorofiLOG CFL1030 (Falker, Brasil); B)Determinação do ICF-índice de clorofila Falker, folíolo terminal da folha inferior. Perdizes, 2013.....	16
FIGURA 3: A) Infra-Red Gas Analyser – IRGA, (modelo LCpro-SD da ADC, Inglaterra). B) Determinação das medidas. C) Antena que capta o CO ₂ do ar atmosférico acoplada a uma mangueira que direciona o gás ao equipamento. D) Detalhe da câmara foliar. Perdizes, 2013.....	17
FIGURA 4: Distúrbios fisiológicos em tubérculos de batata. A) Tubérculos com embonecamento (crescimento secundário). B) Tubérculos com rachaduras. Perdizes, 2013.....	18
FIGURA 5: Balança densimétrica para determinação do teor de sólidos solúveis. A) Peso inicial da amostra. B) Determinação do peso da amostra imersa em água. Perdizes, 2013.....	19
FIGURA 6: Sintomas de fitotoxicidade de subdoses de chlorimuron ethyl 3 dias após aplicação, cultivar Asterix. A) Testemunha, sem aplicação. B) Folha com sintomas após a aplicação de 2,5% da dose recomendada. C) Folha com sintomas após a aplicação de 5% da dose recomendada. D) Folha com sintomas após a aplicação de 10% da dose recomendada. E) Folha com sintomas após a aplicação de 100% da dose recomendada. Perdizes, 2013.....	22
FIGURA 7: Evolução de sintomas de fitotoxicidade de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl à cultura da batata, cultivar Asterix. Perdizes, 2013.....	23
FIGURA 8: Fitotoxicidade de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl à cultura da batata, cultivar Asterix, comparando as subdoses em cada dia de avaliação. Perdizes, 2013.....	23
FIGURA 9: Diferença de vigor entre as parcelas tratadas com subdoses do herbicida chlorimuron ethyl. De cima para baixo: 2,5%, 5,0%, 10,0%, 100,0% da dose recomendada e a testemunha sem aplicação. Perdizes, 2013.....	28
FIGURA 10: Tubérculos de batata, cultivar Asterix, com distúrbio fisiológico de rachaduras quando expostos à 100% da dose recomendada de chlorimuron ethyl em diferentes estádios de desenvolvimento. A) Tubérculos normais produzidos na testemunha sem aplicação. B) Tubérculos com rachaduras e deformações em decorrência da exposição ao herbicida aos 37 DAP, fase de tuberização. C) Tubérculos com rachaduras em decorrência da exposição ao herbicida aos 60 DAP, fase de enchimento de tubérculos.....	33

FIGURA 11: Produtividade total de tubérculos de batata, cultivar Asterix, em função de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl aplicadas aos 37DAP e aos 60 DAP.....	35
FIGURA 12: Produtividade de tubérculos de batata, classe Especial, expostas à subdoses do herbicida chlorimuron ethyl aos 37 dias após o plantio.....	36
FIGURA 13: Produtividade de tubérculos de batata, classe Primeira, sob aplicação de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl em diferentes estádios de desenvolvimento, 37 DAP e 60 DAP.....	37
CAPÍTULO III	
FIGURA 1: Croqui da área experimental. Perdizes, 2013.....	53
FIGURA 2: Sintomas de fitotoxicidade do herbicida tembotrione aos 3 DAA em folhas de batata, cultivar Asterix. Perdizes, 2013. A) Amarelecimento na base dos folíolos de batata com 2,5% da dose recomendada ($2,5 \text{ g ia ha}^{-1}$); B) Amarelecimento na base dos folíolos de batata com 5,0% da dose recomendada ($5,0 \text{ g ia ha}^{-1}$); C) Amarelecimento na base dos folíolos de batata com 10,0% da dose recomendada ($10,0 \text{ g ia ha}^{-1}$); D) Amarelecimento na base dos folíolos de batata com 100% da dose recomendada ($100,8 \text{ g ia ha}^{-1}$); E) Folhas de batata sem sintomas de fitotoxicidade no tratamento sem aplicação do tembotrione (testemunha).....	59
FIGURA 3: Sintomas de fitotoxicidade do herbicida tembotrione aos 17 DAA em folhas de batata, cultivar Asterix. Perdizes, 2013. A) Clorose e necrose na base dos folíolos de batata com 2,5% da dose recomendada ($2,5 \text{ g ia ha}^{-1}$); B) Clorose e necrose na base dos folíolos de batata com 5,0% da dose recomendada ($5,0 \text{ g ia ha}^{-1}$); C) Clorose e necrose na base dos folíolos de batata com 10,0% da dose recomendada ($10,0 \text{ g ia ha}^{-1}$); D) Clorose generalizada dos folíolos das folhas superiores de batata com 100% da dose recomendada ($100,8 \text{ g ia ha}^{-1}$); E) Folhas de batata sem sintomas de fitotoxicidade no tratamento sem aplicação do tembotrione (testemunha).....	61
FIGURA 4: Evolução de sintomas de fitotoxicidade de subdoses do herbicida tembotrione à cultura da batata ao longo dos dias avaliados, cultivar Asterix.....	62
FIGURA 5: Fitotoxicidade de subdoses do herbicida tembotrione à cultura da batata, cultivar Asterix, comparando as subdoses em cada dia de avaliação.....	63
FIGURA 6: Produtividade de tubérculos de batata, classe Primeira, cultivar Asterix sob a aplicação de subdoses do herbicida tembotrione em diferentes estádios de desenvolvimento, 37 e 60 DAP.....	73

RESUMO

BORGES, MARCELA. Fitotoxicidade causada por deriva simulada dos herbicidas chlorimuron ethyl e tembotrione na cultura da batata. 2014. 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

Como toda cultura agrícola, a batata (*Solanum tuberosum* subs. *tuberosum*) está sujeita a uma série de fatores, bióticos e abióticos, que influenciam seu crescimento, desenvolvimento e produtividade. Tendo em vista que muitas áreas de produção de batata estão localizadas nas proximidades de grandes lavouras, como milho e soja, a utilização de herbicidas nessas culturas pode afetar a cultura da batata por ocasião da deriva. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar sintomas de fitotoxicidade e quantificar perdas em produtividade e qualidade de tubérculos de batata em resposta a subdoses dos herbicidas chlorimuron ethyl e tembotrione, em simulação de deriva. O plantio foi realizado em 15 de abril de 2013 com a cultivar Asterix, no município de Perdizes-MG. Experimentos independentes para cada herbicida, chlorimuron ethyl e tembotrione, foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram três subdoses do herbicida em teste (2,5%, 5%, 10% da dose máxima recomendada), um tratamento controle, o qual considerou-se 100% dessa dose, e uma testemunha sem aplicação de herbicida, aplicados em duas épocas distintas, aos 37 e 60 dias após o plantio. Em cada experimento, pulverizou-se diretamente as soluções com os herbicidas chlorimuron ethyl e tembotrione, respectivamente. A fitotoxicidade na parte aérea foi avaliada aos 3, 13, 17 e 24 DAA (dias após a aplicação) segundo o vigor das plantas, com caracterização de sintomas e por meio de escala de notas de 0 a 10 (nota 0 = plantas vigorosas e com ausência de sintomas e Nota 10 = a morte das plantas). O comprimento médio de hastes foi determinado aos 24 DAA. Aos 17 DAA, determinou-se o teor de clorofila, a taxa de assimilação de CO₂, condutância estomática, taxa de transpiração e carbono interno da planta. A colheita foi realizada no dia 9 de agosto de 2013, na qual foi determinada a produtividade, o teor de sólidos solúveis e os tubérculos classificados em diâmetro e quanto a possíveis defeitos e distúrbios fisiológicos. No experimento com o herbicida chlorimuron ethyl, as subdoses do produto provocaram sintomas visuais de fitotoxicidade. Observou-se ainda redução no crescimento das plantas, diferindo da testemunha em comprimento médio de hastes. As características fisiológicas não foram afetadas. O herbicida afetou a produtividade e provocou rachaduras nos tubérculos em concentrações mais altas e aplicadas na fase inicial de desenvolvimento. Quando aplicado o herbicida tembotrione, as plantas também apresentaram sintomas visuais de fitotoxicidade, diferindo da testemunha. O tratamento controle proporcionou menor comprimento de hastes comparado à testemunha e à subdose 2,5%. As taxas de assimilação de CO₂ e de transpiração foram maiores para a testemunha e as subdoses quando comparadas ao controle, enquanto o teor de carbono interno foi maior no controle. A produtividade foi afetada pelas doses de 10% e 100% da dose recomendada. Os herbicidas foram fitotóxicos quanto ao desenvolvimento vegetativo e produtividade de tubérculos em concentrações mais altas.

Palavras-chave: qualidade de tubérculos, deriva, *Solanum tuberosum* subs. *tuberosum*

¹ Orientador: José Magno Queiroz Luz – Universidade Federal de Uberlândia

ABSTRACT

BORGES, MARCELA. **Phytotoxicity caused by simulated drift from herbicides chlorimuron ethyl and tembotrione on potatoes.** 2014. 80 f. Dissertation (Masters Program in Agronomy/Crop Science) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia.²

Potato development (*Solanum tuberosum* subs. *tuberosum*) is affected by a large number of factors, both biotic and abiotic, that can influence its growth, development and productivity. Considering that many potato production areas are located close to other crops, such as maize and soybeans, the use of herbicides in these crops can affect potatoes through drift. Therefore, this study determined phytotoxicity symptoms and quantified losses in yield and quality of potato tubers in response to sub-doses of herbicides chlorimuron ethyl and tembotrione, simulating drift. Planting of cultivar Asterix was done on April 15, 2013, in the region of Perdizes-MG. Independent experiments were done for each herbicide, chlorimuron ethyl and tembotrione, in randomized blocks design with four replications. Treatments included three sub-doses of each herbicide under (2.5%, 5.0%, or 10.0% of the maximum recommended dose), a control treatment, which was considered 100% of this dose, applied in two different times at 37 and 60 days after planting, and an untreated treatment without herbicide. In each experiment, herbicide solution with chlorimuron ethyl or tembotrione was directly sprayed. Plant injury in shoots was evaluated at 3, 13, 17 and 24 DAA (days after application) according to plant vigor with symptoms and characterization through a rating scale of 0 to 10, where 0 was vigorous plant and absence of symptoms and 10 indicated plant death. The average stem length was determined at 24 DAA. At 17 DAA, chlorophyll content, rate of CO₂ assimilation, stomatal conductance, transpiration rate and internal carbon from the plant were determined. Harvest was done on August 9, 2013, when productivity, soluble solids content were determined and tubers ranked in diameter and for possible defects and physiological disorders. In the experiment with the herbicide chlorimuron ethyl, the sub-doses of the product caused visual symptoms of phytotoxicity. Also, reduced plant growth of the full spray control treatment was observed in comparison with the untreated treatment. The physiological characteristics were not affected. The herbicide affected productivity and caused cracks in tubers at greater dose when sprayed in early plant development. Spraying plants with the herbicide tembotrione also induced visual symptoms of phytotoxicity, which were different from the full spray control. The full spray control treatment resulted in shorter stems in comparison with the untreated control and 2.5% sub-dose. Rates of CO₂ assimilation and transpiration were greater for the untreated control and sub-doses when compared to the full spray control treatment, while internal carbon content was greater in the full spray control. Productivity was affected by doses of 10% and 100% of the recommended dose. The herbicides were toxic on the vegetative growth and tuber yield at greater concentrations.

KEYWORDS: tuber quality, drift, *Solanum tuberosum* subs. *tuberosum*.

² Advisor: José Magno Queiroz Luz – Federal University of Uberlândia

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

A batata (*Solanum tuberosum* subs. *tuberosum*) é o 3º alimento mais consumido no mundo, perdendo apenas para o arroz e trigo (FAOSTAT, 2013). Esse tubérculo, dentro do grupo das hortaliças, é o de maior importância quanto ao hábito alimentar e área cultivada no Brasil, sendo as regiões Sudeste e Sul as maiores produtoras nacionais. Segundo dados do IBGE (2013), em 2012 a área total cultivada no Brasil foi de 127.195 hectares com uma produtividade média de 26,5 t ha⁻¹. Os principais estados produtores são Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Goiás e Bahia. Enquanto nos estados de Minas Gerais e São Paulo o rendimento médio de tubérculos é de 25 t ha⁻¹ e na Bahia ultrapassa 30 t ha⁻¹, no Rio Grande do Sul é de 11 t ha⁻¹ (BORGES; LUZ, 2008).

A batata é uma planta dicotiledônea, pertencente ao gênero *Solanum*, da família *Solanaceae*, o qual contém mais de 2.000 espécies, embora somente cerca de 150 produzam tubérculos. A batata cultivada no Brasil pertence à espécie tetraploide *Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*. Uma planta normal de batata é composta de tantas hastes quantos forem os brotos que emergirem da batata-semente, de folhas compostas, flores, raízes, estolões e tubérculos.

A batateira é dividida em quatro estádios de desenvolvimento. A fase I tem início no plantio da batata-semente e vai até a emergência; a fase II compreende o intervalo entre a emergência e o início da tuberização; a fase III vai do início da tuberização até o enchimento dos tubérculos; e a fase IV compreende o período da maturação ou senescência. O ciclo completo – do plantio da batata-semente brotada até a secagem da planta – varia de 14 a 16 semanas dependendo da cultivar, bem como de outros fatores. Fatores bióticos e abióticos podem afetar o ciclo da batata, interferindo na formação e enchimento de tubérculos (FILGUEIRA, 2003).

A planta de batata é suscetível a um grande número de desordens fisiológicas de natureza abiótica que causam acentuadas e prejudiciais mudanças em sua forma, função e aparência. As desordens fisiológicas ocorrem tanto nas ramos em desenvolvimento quanto nos tubérculos, e são causadas por qualquer fator que provoque um desequilíbrio no comportamento normal da planta. Assim, problemas de natureza genética (plantas

gigantes, quimeras em folhas e em tubérculos); nutricional (deficiências ou toxicidade de elementos químicos); climáticos (efeitos diretos de temperaturas excessivamente altas ou baixas, danos causados por geadas, granizo, raios, incidência de ventos, encharcamento, entre outros); ou químicos (toxicidade induzida por herbicidas e outros defensivos ou estimulantes de brotação) devem ser considerados como distúrbios fisiológicos (MIRANDA FILHO et al, 2003; HILLER; THORHTON, 1995)

Danos consideráveis podem ser causados pela aplicação inadequada ou acidental de uma vasta gama de produtos químicos agrícolas. Os sintomas e a gravidade do dano dependem do tipo de substância química envolvida, dose, método de aplicação, fase fenológica da batateira, cultivar e fatores ambientais. Várias aberrações, distorções, clorose e necrose, deformações, atrofia de parte aérea e tubérculos podem ocorrer (HILLER; THORHTON, 1995).

Como toda cultura agrícola, a batata está sujeita a uma série de fatores, bióticos e abióticos, que influenciam seu crescimento, desenvolvimento e produtividade econômica. Tendo em vista que muitas das áreas de produção de batata estão localizadas nas proximidades de grandes lavouras, como milho e soja, a utilização de herbicidas nessas culturas pode afetar a cultura da batata por meio da deriva.

Existem 17 ingredientes ativos de herbicidas registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, no Brasil. Dentre esses ingredientes ativos, somente seis são seletivos à cultura da batata quando aplicados em pré-emergência da cultura, os demais são dessecantes ou específicos para controle de monocotiledôneas nessa cultura (AGROFIT, 2013).

Quando se aplica determinado herbicida, geralmente, busca-se colocar a quantidade certa de ingrediente ativo no alvo desejado, com máxima eficiência e de maneira mais econômica possível, sem afetar o meio ambiente. Todavia, apesar de vários estudos sobre essa tecnologia de aplicação, são constatados muitos casos de intoxicação de plantas devido à dispersão das gotas para as plantas não alvo, intoxicando-as – esse fenômeno é identificado como deriva (DURIGAN, 1989).

A deriva é caracterizada de duas formas distintas: exoderiva e endoderiva. Quando a perda se dá para locais fora da área alvo em que a aplicação foi realizada, esta é conhecida como exoderiva, como exemplo, as gotas carregadas pelas correntes de ar ou pelo vento. Quando essa perda se dá na própria área alvo em que ocorreu a aplicação, na forma de escorrimento, por exemplo, essa é caracterizada como endoderiva (ANTUNIASSI, 2009).

A exoderiva ocorre devido ao arraste de pequenas gotas da calda herbicida pulverizada pelo vento. Entre os fatores que interferem na ocorrência da deriva podem ser mencionados: características do herbicida, tipo de equipamento, calibração, tipo de pontas de pulverização, técnicas de aplicação, condições meteorológicas e habilidade do operador (COSTA et al., 2007; CUNHA et al., 2003; PENCKOWSKI et al., 2003; VIANA et al., 2007 apud RIGOLI et al., 2008). A severidade dos danos depende da natureza do defensivo, da dose, fatores ambientais, maturidade da planta e cultivar (HOOKER, 1981).

Assim, as aplicações de herbicidas em culturas adjacentes às lavouras de batata podem afetar seu desenvolvimento, principalmente se ocorrer deriva de herbicidas não seletivos à batata. O grau de injúria e os sintomas observados são afetados por fatores como a espécie, o estádio de desenvolvimento da planta, o clima, o mecanismo de ação e a dose do herbicida (AL-KHATIB et al., 2003). Em casos especiais, como a pulverização aérea de herbicidas não seletivos, os cuidados devem ser redobrados para prevenir a deriva (SCHRODER et al., 2000).

Alguns dos herbicidas utilizados nas culturas de soja e milho, adjacentes às lavouras de batata, podem afetar o desenvolvimento e produtividade dessa cultura, pois nem sempre são moléculas seletivas à mesma. No cultivo de soja, herbicidas formulados com chlorimuron ethyl são utilizados frequentemente em dessecação pré-plantio e em pós-emergência da soja. No cultivo de milho, herbicida à base de tembotrione é utilizado em pós-emergência da cultura, por ser seletivo à mesma. Contudo, pouco se sabe a respeito do efeito desses herbicidas na cultura da batata quando ocorre deriva das aplicações nessas culturas para as áreas adjacentes.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi determinar sintomas de fitotoxicidade e quantificar perdas em produtividade e qualidade de tubérculos de batata em resposta a subdoses dos herbicidas chlorimuron ethyl e tembotrione em simulação de deriva.

REFERÊNCIAS

AL-KHATIB, K. et al. Grain sorghum response to simulated drift from glufosinate, glyphosate, imazethapyr and sethoxydim. **Weed Technology**, Lawrence, v. 17, n. 2, p. 261-265, 2003.

ANTUNIASSI, U. R. Conceitos básicos da tecnologia de aplicação de defensivos para a cultura da soja. **Boletim de pesquisa de Soja 2009**, Rondonópolis, v. 13, p. 299-317, 2009.

BORGES, M.; LUZ, J. M. Q. **O cultivo da batata no Brasil**: aspectos gerais da cultura. Uberlândia: Associação Brasileira da Batata, 2008. 159 p. (CD Rom)

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT**: sistema de agrotóxicos fitossanitários: consulta de produtos formulados. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons.> Acesso em: 20 fev. 2013.

COSTA, A. G. F. et al. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 203-210, 2007.

CUNHA, J. P. A. R. et al. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 325-332, 2003.

FAOSTAT. **Dados FAOSTAT**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 20 fev. 2013.

DURIGAN, J. C. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: SEMINÁRIO TÉCNICO SOBRE PLANTAS DANINHAS E O USO DE HERBICIDAS EM REFLORESTAMENTO, 1989, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBS/ABRACAVE/SIF, 1989.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 161-192 p.

HILLER, L. K.; THORNTON, R. E. Management of physiological disorders. In: ROWE, R.C. (Ed.). **Potato health management**. Saint Paul: APS Press, 1995. p. 87-94.

HOOKER, W. J. **Compendium of potato diseases**. Saint Paul: The American Phytopathological Society, 1981. 125 p.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>>. Acesso em: 20 fev. 2013

MIRANDA FILHO, H. S.; GRANJA, N. P.; MELO, P. C. T. **Cultura da batata**. Vargem Grande do Sul, 2003. 68 p. (Apostila)

PENCKOWSKI, L. H.; PODOLAN, M. J.; LÓPEZOVEJERO, R. F. Influência das condições climáticas no momento da aplicação de herbicidas pós-emergentes sobre a eficácia de controle de nabiça (*Raphanus raphanistrum*) na cultura do trigo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 435-442, 2003.

PEREIRA, A. S.; DANIELS, J.. **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: EMBRAPA Informação tecnológica, 2003. 567 p. (Embrapa Clima Temperado)

RIGOLI, R. P. et al. Resposta de plantas de beterraba (*Beta vulgaris*) e de cenoura (*Daucus carota*) à deriva simulada de glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 451-456, 2008.

SCHRODER, E. P. et al. Avaliação de pulverizações aéreas dos herbicidas sulfosate e glyphosate. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., Foz do Iguaçu, 2000. **Resumos...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2000.

VIANA, R. G. et al. Características técnicas de pontas de pulverização LA-1JC e SR-1. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 211-218, 2007.

**FITOTOXICIDADE DE SUBDOSES DE CHLORIMURON ETHYL EM
SIMULAÇÃO DE DERIVA NA CULTURA DA BATATA**

CAPÍTULO II

FITOTOXICIDADE DE SUBDOSES DE CHLORIMURON ETHYL EM SIMULAÇÃO DE DERIVA NA CULTURA DA BATATA

RESUMO

Tendo em vista que muitas áreas de produção de batata estão localizadas nas proximidades de lavouras de soja, a utilização de herbicidas nessa cultura pode afetar a cultura da batata por meio da deriva. Um dos herbicidas aplicados é o chlorimuron ethyl, pertencente ao grupo químico das sulfonilureias. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi determinar sintomas de fitotoxicidade e quantificar perdas em produtividade e qualidade de tubérculos de batata em resposta a subdoses do herbicida chlorimuron ethyl, simulando deriva. O plantio foi realizado em 15 de abril de 2013 com a cultivar Asterix, no município de Perdizes-MG. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram três subdoses do herbicida (2,5%, 5%, 10% da dose máxima recomendada), um tratamento controle, o qual considerou-se 100% dessa dose, e uma testemunha sem aplicação de herbicida, aplicados em duas épocas distintas, aos 37 e 60 dias após o plantio. Pulverizou-se diretamente nas plantas as soluções com as doses do herbicida chlorimuron ethyl. A fitointoxicação na parte aérea foi avaliada aos 3, 13, 17 e 24 DAA (dias após a aplicação) segundo o vigor das plantas, com caracterização de sintomas e por meio de escala de notas de 0 a 10, sendo 0 plantas vigorosas e com ausência de sintomas e 10 indicando a morte das plantas. O comprimento médio de hastes foi determinado aos 24 DAA. Aos 17 DAA, determinou-se o teor de clorofila, a taxa de assimilação de CO₂, condutância estomática, taxa de transpiração e carbono interno da planta. A colheita foi realizada no dia 09 de agosto de 2013, na qual foi determinada a produtividade, o teor de sólidos solúveis e os tubérculos classificados em diâmetro e quanto a possíveis defeitos e distúrbios fisiológicos. As subdoses do produto provocaram sintomas visuais de fitotoxicidade. Observou-se ainda redução no crescimento das plantas, diferindo da testemunha em comprimento médio de hastes. As características fisiológicas não foram afetadas. O herbicida afetou a produtividade e provocou rachaduras nos tubérculos nas concentrações mais altas e aplicadas na fase inicial de desenvolvimento. O herbicida foi fitotóxico quanto ao desenvolvimento vegetativo e produtividade de tubérculos em concentrações mais altas.

Palavras-chave: distúrbio fisiológico, qualidade de tubérculos, deriva, *Solanum tuberosum*, sulfonilureias

PHYTOTOXYCITY OF CHLORIMURON ETHYL SUB-DOSES IN SIMULATED DRIFT IN POTATOES

ABSTRACT

Considering that many potato production areas are located close to soybean fields, the use of herbicides in this culture can affect the potato crop through drift. The herbicide chlorimuron ethyl, applied in soybean areas, belongs to the chemical group of the sulfonylureas. Therefore, this study determined phytotoxicity symptoms and quantified losses in yield and quality of potato tubers in response to sub-doses of the herbicide chlorimuron ethyl, simulating drift. Planting of cultivar Asterix was done on April 15, 2013, in the region of Perdizes - MG. The experimental design was randomized blocks with four replications. Treatments included three sub-doses of herbicide (2.5%, 5.0%, or 10.0% of the maximum recommended dose), control treatment, which was considered 100% of this dose, applied at two different times at 37 and 60 days after planting, and an untreated treatment without herbicide. The solutions were sprayed directly on plants. Plant injury in shoots was evaluated at 3, 13, 17 and 24 DAA (days after application) according to plant vigor of plants with symptoms and characterization through a rating scale of 0 to 10, where 0 was vigorous plants and absence of symptoms and 10 indicated plant death. The average stem length was determined at 24 DAA. At 17 DAA, chlorophyll content, rate of CO_2 assimilation, stomatal conductance, transpiration rate and internal carbon from the plant were determined. Harvest was done on August 9, 2013, when productivity and soluble solids content were determined, and tubers ranked in diameter and for possible defects and physiological disorders. Sub-doses of the herbicide caused visual symptoms of phytotoxicity. Also, reduced stem length was observed in the sub-doses, differing from the untreated treatment. The physiological characteristics were not affected. The herbicide affected the productivity and caused cracks in tubers at greater doses and applied in early plant development. The herbicide was toxic on the vegetative growth and tuber yield at greater concentrations.

KEYWORDS: drift simulation, physiological disorders, tuber quality, *Solanum tuberosum*, sulfonylureas

1 INTRODUÇÃO

O uso de agrotóxicos tem contribuído com a prática agrícola, permitindo o cultivo em larga escala. Sua utilização deve ser feita de maneira racional, dentro do contexto mais amplo da proteção integrada de plantas. Na maioria das vezes, dá-se muita importância ao produto fitossanitário a ser aplicado e pouca à técnica de aplicação. Não basta conhecer o produto a ser aplicado, mas fundamental também é conhecer a forma de aplicação. É preciso garantir que o produto alcance o alvo de forma eficiente, minimizando-se as perdas (CUNHA, 2008).

Muitas vezes, parte do produto aplicado se perde para o ambiente, principalmente por deriva. Além do prejuízo resultante da perda de agrotóxico e dos danos que podem ser causados em culturas adjacentes, a deriva assume grande importância por causa da conscientização da população, nos últimos anos, em relação à saúde e ao ambiente (GIL; SINFORT, 2005).

A deriva ocorre devido ao arraste de pequenas gotas da calda de pulverização pelo vento ou pela volatilização do produto. Entre os fatores que interferem na ocorrência da deriva podem ser mencionados: características do produto, tipo de equipamento, calibração, tipo de pontas de pulverização, técnicas de aplicação, condições meteorológicas e habilidade do operador (CUNHA et al., 2003; PENCKOWSKI et al., 2003; COSTA et al., 2007; VIANA et al., 2007 apud RIGOLI et al., 2008).

Herbicidas são compostos químicos usados para controlar plantas. São aplicados em doses convenientes diretamente sobre a vegetação para absorção foliar (tratamento de pós-emergência), ou no solo para absorção por tecidos formados após a germinação da semente antes da emergência da planta na superfície (tratamento de pré-emergência) (BLANCO, 2008).

O controle químico de plantas daninhas possui várias vantagens em relação aos outros métodos, tais como: reduzida dependência de mão de obra; controle eficiente em período com elevada umidade relativa do ar, eficácia no controle das plantas daninhas na linha de plantio, permite-se o cultivo mínimo e controle das plantas infestantes que se propagam vegetativamente (CHRISTOFFOLETI et al., 2003). Em relação às desvantagens tem-se: possibilidade de ficar resíduos no solo; exige-se muita atenção e precisão do aplicador, com riscos de intoxicação humana e animal, podendo ocorrer

deriva e contaminação das lavouras vizinhas; e as embalagens vazias devem ser adequadamente descartadas (SILVA et al., 2011).

A seletividade de herbicidas é a base para o sucesso do controle químico de plantas daninhas na produção agrícola, sendo considerada como uma medida da resposta diferencial de diversas espécies de plantas a um determinado herbicida. Um herbicida seletivo é aquele que é muito mais tóxico para algumas plantas do que para outras dentro dos limites de a) uma faixa específica de doses; b) método de aplicação e c) condições ambientais que precedem e sucedem à aplicação (OLIVEIRA JR, 2001).

Chlorimuron ethyl é um herbicida seletivo recomendado para controle de plantas daninhas dicotiledôneas na cultura da soja. Este produto pertence ao grupo químico das sulfonilureias. O mecanismo de ação dos produtos deste grupo químico consiste na inibição competitiva da enzima acetohidroxi-ácido sintase (AHAS), também conhecida como acetolactato sintase (ALS), a qual catalisa as reações de síntese dos aminoácidos ramificados valina, leucina e isoleucina. A redução dos níveis destes aminoácidos acarreta sérios distúrbios na produção de proteína celular, interferindo na síntese do DNA e no crescimento celular, promovendo necrose no meristema apical e paralisação do crescimento do mesmo (RAY, 1984; MAZUR; FALCO, 1989; SILVA; SILVA, 2007). São herbicidas prontamente absorvidos pelas raízes e pelas folhas e translocados pelo xilema e floema para o sítio de ação nos pontos de crescimento (PETERSON et al., 2001). As plantas sensíveis à sulfonilureias tornam-se cloróticas, definham e morrem no prazo de 7 a 14 dias após o tratamento (SILVA et al., 2007).

A seletividade das sulfonilureias a determinadas culturas baseia-se na rápida inativação metabólica do produto pela planta originando metabólitos não tóxicos e não na insensibilidade da ALS na cultura tolerante (VIDAL, 1997).

O dano causado pela deriva de herbicidas é reconhecido como um problema em muitas áreas (HEMPHILL JR.; MONTGOMERY, 1981) e a sua detecção tem grande importância, pois, enquanto as perdas ocasionadas por esse fator não forem facilmente identificadas, produtores de plantas sensíveis em áreas adjacentes podem ter substanciais reduções na produção sem identificar a verdadeira causa (SCHROEDER et al., 1983).

O desenvolvimento de várias culturas produtoras de alimentos, incluindo as espécies hortícolas, pode ser afetado tanto qualitativa como quantitativamente quando expostas a subdoses de herbicidas (RIGOLI et al, 2008).

Plantas de batata podem tolerar rimsulfuron, um herbicida do grupo das sulfonilureias, indicado como pré e pós-emergente no controle de plantas daninhas na cultura, no entanto, outros herbicidas das sulfonilureias, tais como clorsulfuron, metsulfuron, ou tribenuron, podem causar sintomas de fitotoxicidade em batata. As plantas de batata podem ser expostas a estes herbicidas através de deriva, contaminação do pulverizador ou resíduos no solo do uso de uma cultura antecessora (HUTCHINSON et al., 2007).

Diante do exposto, a deriva desses herbicidas utilizados nas lavouras de soja adjacentes às lavouras de batata pode ser prejudicial ao seu desenvolvimento e produtividade. É conhecido que alguns herbicidas do grupo das sulfonilureias não são seletivos para a cultura da batata, como o metsulfuron-methyl e o nicosulfuron (SALMAZO, 2009).

Estudos demonstraram que alguns herbicidas, inclusive do grupo das sulfonilureias, são capazes de desencadear distúrbios fisiológicos na planta. Esses distúrbios desencadeiam mudanças em sua forma e aparência, ocorrendo tanto nas ramas em desenvolvimento quanto em tubérculos. Nesse caso, os tubérculos podem apresentar crescimento irregular com rachaduras, brotações, crescimento secundário conhecido por “embonecamento” ou ainda apresentar manchas externas e internas, mudanças na forma e tamanho, alternâncias na cor da pele e da polpa, depreciando os tubérculos comercialmente (HILLER; THORNTON, 1995; MIRANDA FILHO et al., 2003; SALMAZO, 2009).

Uma forma de estudar os possíveis efeitos decorridos da deriva de herbicidas não seletivos às culturas é com a aplicação direta de subdoses desses produtos sobre a mesma. A aplicação de subdoses de herbicidas, simulando deriva, foi utilizada por Eberlein e Guttieri (1994), tendo como objetivo verificar a resposta da cultura da batata à aplicação de subdoses de imazamethabenz, imazethapyr, e imazapyr, utilizando 2; 10 e 50% das doses recomendadas para cada herbicida. As pesquisadoras verificaram que os sintomas de fitotoxicidade nas folhas variam com o tipo de herbicida, a dose aplicada, o estádio de desenvolvimento e o momento da aplicação.

Outros autores também utilizaram a mesma metodologia como Novo e Miranda Filho (2006) e Salmazo (2009) que aplicaram subdoses de metsulfuron-methyl, nicosulfuron e sulfometuron-methyl nas cultivares Atlantic e Lady Rosetta de batata. Pfleeger *et al.* (2011) aplicaram subdoses de bromoxynil, glyphosate, MCPA,

sulfometuron-methyl na cultivar Russet Burbank e Felix *et al.* (2011) aplicaram subdoses de glyphosate na cultivar Ranger Russet de batata.

Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desenvolvimento de plantas de batata, produtividade e qualidade de tubérculos sob a aplicação de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl, em simulação de deriva.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em lavoura comercial de batata, situada no município de Perdizes-MG, coordenadas geográficas de Latitude 19°19'43,28"S e Longitude 47°23'44,19"WGR, situada a 1054 m de altitude. A cultivar utilizada nesse estudo foi a Asterix, cujo ciclo é de 120 dias, destinada para processamento industrial, possui pele avermelhada e alto teor de sólidos solúveis. O plantio foi realizado no dia 15 de abril de 2013, em sistema de pivô central, de forma mecanizada, com espaçamento de 0,3 m entre plantas, 0,8 m entre linhas e profundidade de plantio de 0,12 m.

Os tratos culturais pertinentes à cultura, como adubação, amontoa e tratamentos fitossanitários, foram realizados de acordo com a necessidade da cultura e cronograma da fazenda.

O experimento foi conduzido em delineamento blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 2 + 1, avaliando-se quatro subdoses do herbicida aplicadas em duas épocas diferentes e a testemunha sem aplicação, totalizando assim 36 parcelas.

Os tratamentos consistiram em aplicações de subdoses do herbicida comercial constituído de 250 g kg⁻¹ de Ethyl 2-(4-chloro-6-methoxypyrimidin-2-ylcarbamoylsulfamoyl) benzoate (chlorimuron ethyl), formulação WG. Considerou-se como dose padrão recomendada 80 g ha⁻¹ do produto comercial, de acordo com a bula do produto, sendo um dos tratamentos a aplicação de 100% da dose recomendada, o qual foi considerado o tratamento controle para comparação entre as demais subdoses aplicadas, as quais foram 10%, 5% e 2,5% da dose recomendada. A descrição das subdoses está na Tabela 1.

TABELA 1: Descrição das subdoses do herbicida.

Produto	Dose recomendada	Tratamentos	
Classic® (chlorimuron ethyl)	80 g ha ⁻¹ (20,0 g ia. ha ⁻¹)	100%	80,0 g ha ⁻¹ (20,0 g ia. ha ⁻¹)
		10%	8,0 g ha ⁻¹ (2,0 g ia. ha ⁻¹)
		5%	4,0 g ha ⁻¹ (1,0 g ia. ha ⁻¹)
		2,5%	2,0 g ha ⁻¹ (0,5 g ia. ha ⁻¹)
Testemunha	Sem aplicação	0	0

Conforme recomendação do fabricante foi adicionado óleo mineral emulsionável na calda para aplicação na dose de 50 ml 100 L⁻¹ de água e para cada subdose fez-se a mesma proporção do óleo mineral (100%, 10%, 5% e 2,5% da recomendação).

Essas aplicações foram realizadas em duas épocas diferentes 37 dias após o plantio (DAP) e 60 DAP, a fim de identificar o efeito das subdoses do chlorimuron ethyl em dois estádios de desenvolvimento distintos, fase de tuberização e enchimento de tubérculos respectivamente.

As aplicações foram realizadas com pulverizador costal pressurizado a CO₂, com barra de 2,0 m, contendo quatro pontas de pulverização, espaçadas de 0,5 m. As pontas utilizadas foram do tipo jato plano duplo DGTJ 60 – 11002, caracterizada por produzir gotas médias, a fim de se evitar a deriva da calda entre as parcelas. O volume de calda aplicado foi de 200 L ha⁻¹, com pressão de 25,0 lib pol⁻² (172 KPa).

Durante as aplicações foram observadas a temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, utilizando-se o termo-higro-anemômetro digital (Kestrel® 4000 Pocket Weather Tracker) para monitorar as condições ambientais, de modo a realizá-las em condições ideais. As médias da primeira aplicação, realizada no dia 22 de maio de 2013, foram de T: 25,6° C, UR: 56,3%, Vento: 5,7 km h⁻¹. A segunda aplicação, realizada no dia 15 de junho de 2013 teve médias de T: 23,4° C, UR: 62,7%, Vento: 5,5 km h⁻¹.

As parcelas experimentais consistiram em quatro linhas, espaçadas de 0,8 m e com 5,0 metros de comprimento, totalizando 16,0 m². Sendo considerada a área útil da parcela para avaliações e colheita as duas linhas centrais, desprezando-se 0,5 m de cada lado, totalizando assim 6,4 m². O croqui do experimento está detalhado na Figura 1.

Após a aplicação aos 37 DAP, foram realizadas avaliações quanto ao desenvolvimento vegetativo e sintomatologia nas folhas e hastes. Avaliou-se a fitotoxicidade das subdoses do herbicida quanto à identificação de sintomas (clorose, necrose, descoloração, redução do porte, atrofia e deformações) e escala de notas quanto à evolução dos sintomas ao longo do tempo após a aplicação. Essas avaliações foram realizadas aos 3, 13, 17 e 24 DAA (dias após a aplicação) de acordo com a evolução de sintomas e período de ação do herbicida, caracterizando parcelas subdivididas no tempo. Para a atribuição de notas de fitotoxicidade utilizou-se a escala descrita na Tabela 2. Quanto ao desenvolvimento vegetativo, avaliou-se o comprimento médio de hastes aos 24 DAA (dias após a aplicação), medido com auxílio de uma fita métrica o comprimento da haste principal de 4 plantas por parcela.

O metabolismo da planta pode ser afetado em condições de intoxicação por herbicidas. Algumas características importantes que podem ser alteradas pela ação dos herbicidas são os atributos fotossintéticos. Assim, para verificar a influência do chlorimuron ethyl no metabolismo da batateira avaliou-se aos 17 DAA esses atributos fotossintéticos.

Foram avaliados os teores de clorofila a, b e total com o equipamento ClorofiLOG CFL1030 (Falker, Brasil), determinando-se o índice ICF (Índice de Clorofila Falker), através de duas medidas por planta (SILVA et al., 2011) uma no folíolo terminal da 4^a folha a partir do ápice (FS) e a outra no folíolo terminal da folha inferior (FI), em três plantas de cada parcela. O Índice ICF é calculado com base na absorção de luz em comprimentos de onda característicos da clorofila. O clorofiLOG mede a quantidade de radiação transmitida através das folhas, de forma óptica, em três diferentes comprimentos de onda (dois na faixa do vermelho, próximos aos picos de absorção da clorofila e um no infravermelho próximo). A combinação destes valores de transmitâncias nestes três comprimentos de onda gera o ICF – Índice de Clorofila Falker.

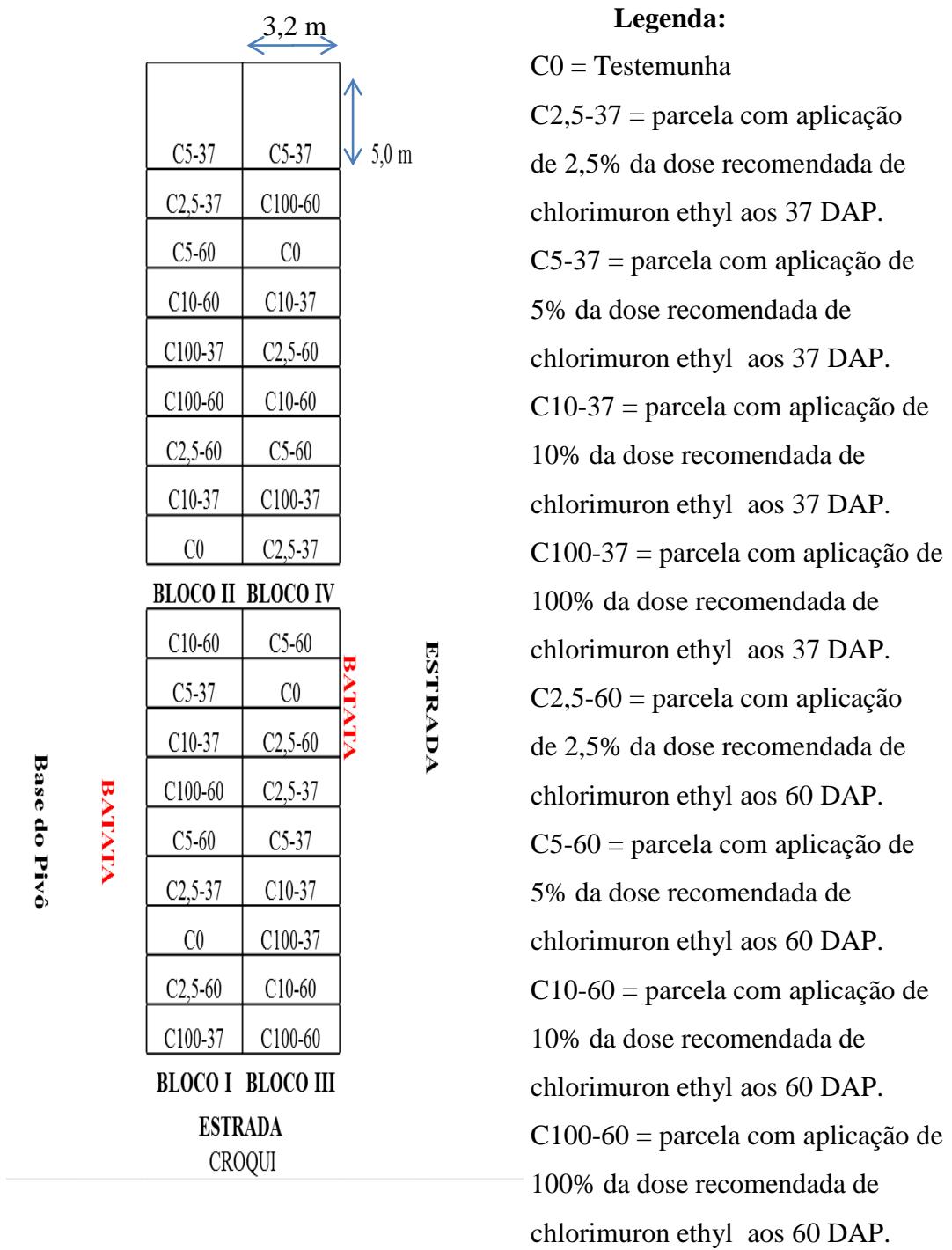
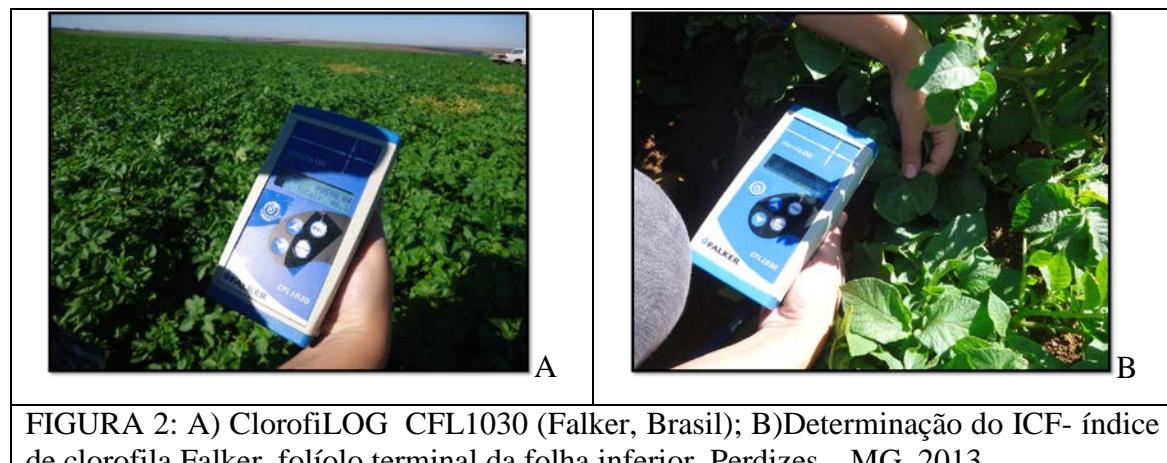


FIGURA 1: Croqui da área experimental. Perdizes – MG, 2013.

TABELA 2: Escala de notas visuais para determinação de fitotoxicidade causada por subdoses do herbicida chlorimuron ethyl na cultura da batata. Perdizes – MG, 2013.

Conceito	Notas	Observações
Leve	0-1	Sintomas fracos ou poucos evidentes. Nota zero: sem alterações nas plantas
Aceitável	2-3	Sintomas pronunciados, mas tolerados pela planta.
Preocupante	4-5	Sintomas maiores que na anterior, mas passíveis de recuperação, e sem expectativas de redução no rendimento econômico.
Alta	5-7	Danos irreversíveis , com previsão de redução no rendimento.
Muito alta	7-10	Danos irreversíveis muito severos, com previsão de redução drástica no rendimento. Nota 10 para morte da planta.

Fonte: Nascimento e Yamashita (2009), adaptado SBCPD (1995).

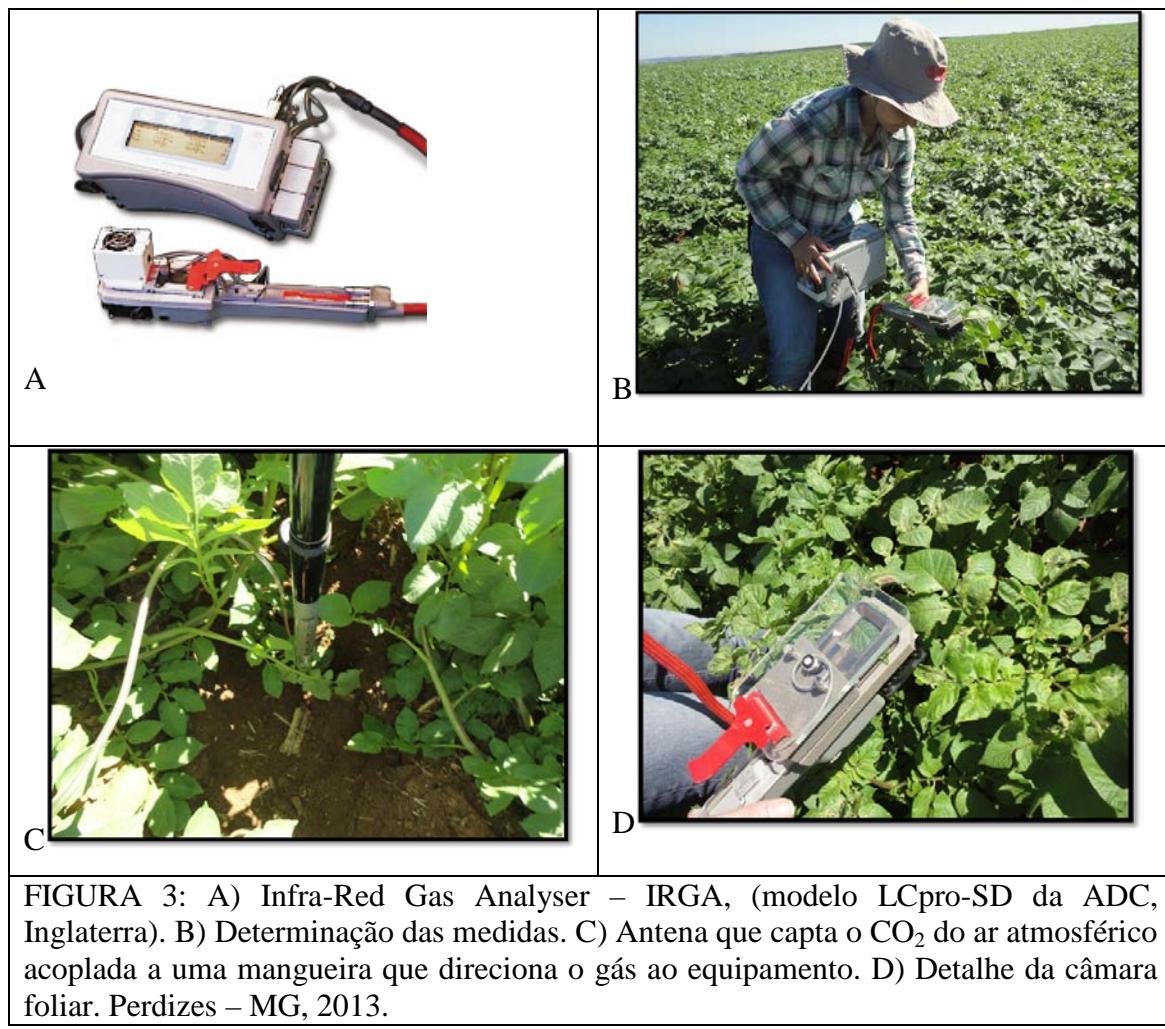


Determinou-se também a taxa de assimilação de CO₂, taxa de transpiração, condutância estomática e conteúdo de CO₂ interno com o aparelho medidor de trocas gasosas portátil Infra-Red Gas Analyser – IRGA, (modelo LCpro-SD da ADC,

Inglaterra), acoplado a uma câmara foliar ($6,25 \text{ cm}^2$ de área). As medidas foram realizadas 17DAA das 10:37 às 11:37h, no folíolo terminal da 4^a folha a partir do ápice, realizando-se três medições por folha, determinando a média por folha de 1 planta/parcela, para que as medidas fossem realizadas dentro de uma hora sem que tivessem interferência de radiação solar e estado de hidratação das folhas.

Com essas análises é possível determinar a eficiência do uso da água e eficiência de carboxilação pela planta. Essas características podem ser afetadas quando as plantas estão intoxicadas por herbicidas.

Após a aplicação de 60 DAP não foi possível realizar as avaliações quanto ao desenvolvimento vegetativo e sintomatologia nas folhas e hastes, pois houve alta incidência e severidade de bacteriose na área, afetando todas as parcelas experimentais e acelerando a senescência das plantas e dificultando a caracterização de sintomas nas folhas, bem como a determinação do comprimento de hastes e dos atributos fotossintéticos.



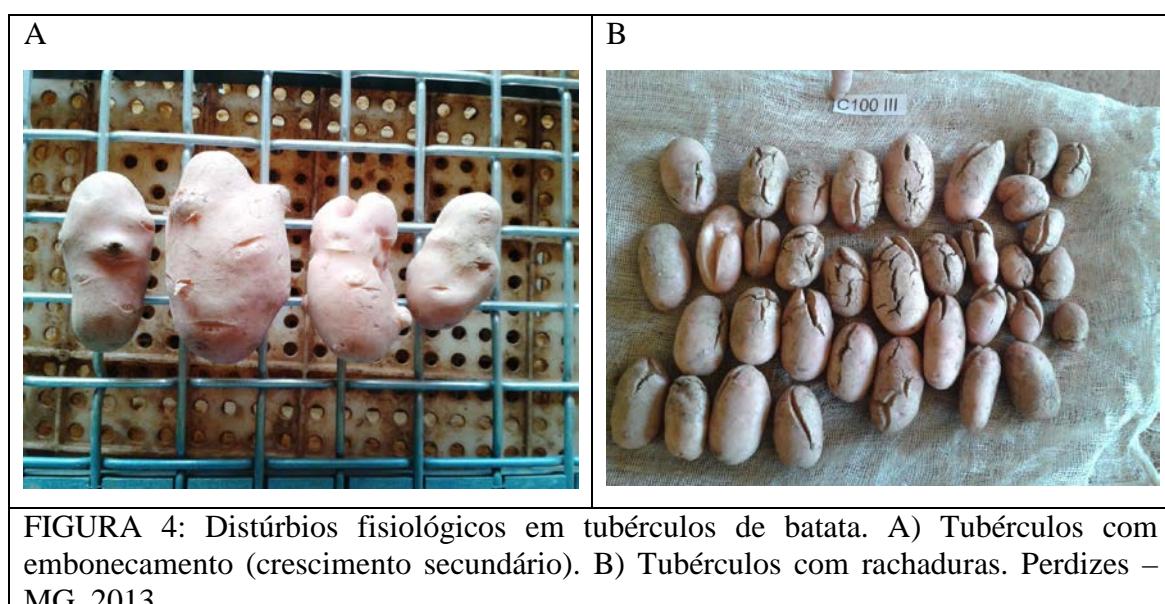
A colheita foi realizada no dia 09 de agosto de 2013, de forma semimecanizada, na qual se utilizou uma arrancadora e fez-se o recolhimento manual em sacos por parcelas. Foi determinada a produtividade pesando-se a produção de cada parcela, a classificação por calibre (Tabela 3), com auxílio de peneiras de classificação, e a separação daqueles tubérculos que apresentaram distúrbios fisiológicos, inviáveis para comercialização.

Os tubérculos inviáveis para comercialização foram separados em tubérculos com embonecamento (Figura 4A), rachaduras (Figura 4B), outros defeitos e descarte.

TABELA 3: Classificação de tubérculos de batata de acordo com o padrão do CEAGESP (Companhia de Entrepótos e Armazéns Gerais de São Paulo).

Nome atribuído	Classe	Calibre
Florão	I	>70 mm de diâmetro
Especial	II	>42 até 70mm de diâmetro
Primeira	III	>33 até 42mm de diâmetro
Segunda	IV	>28mm a 33mm de diâmetro
Pirulito	V	Até 28mm de diâmetro

Fonte: modificado de CEAGESP



Os tubérculos da Classe II – Especial, são considerados os tubérculos mais valorizados comercialmente. Uma amostra dessa classe (3,630 kg) foi direcionada para análise de sólidos solúveis, medida que indica o maior teor de carboidratos acumulados nos tubérculos. Essa análise é essencial para tubérculos que serão processados na indústria de batata pré-frita congelada. Ela é feita em uma balança densimétrica (Figura 5), onde a amostra é colocada imersa em um tanque com água e determina-se o peso dessa amostra dentro do tanque, com o volume deslocado e depois é feita a conversão em porcentagem de sólidos. Nesse caso, foram consideradas 3 repetições de cada tratamento.

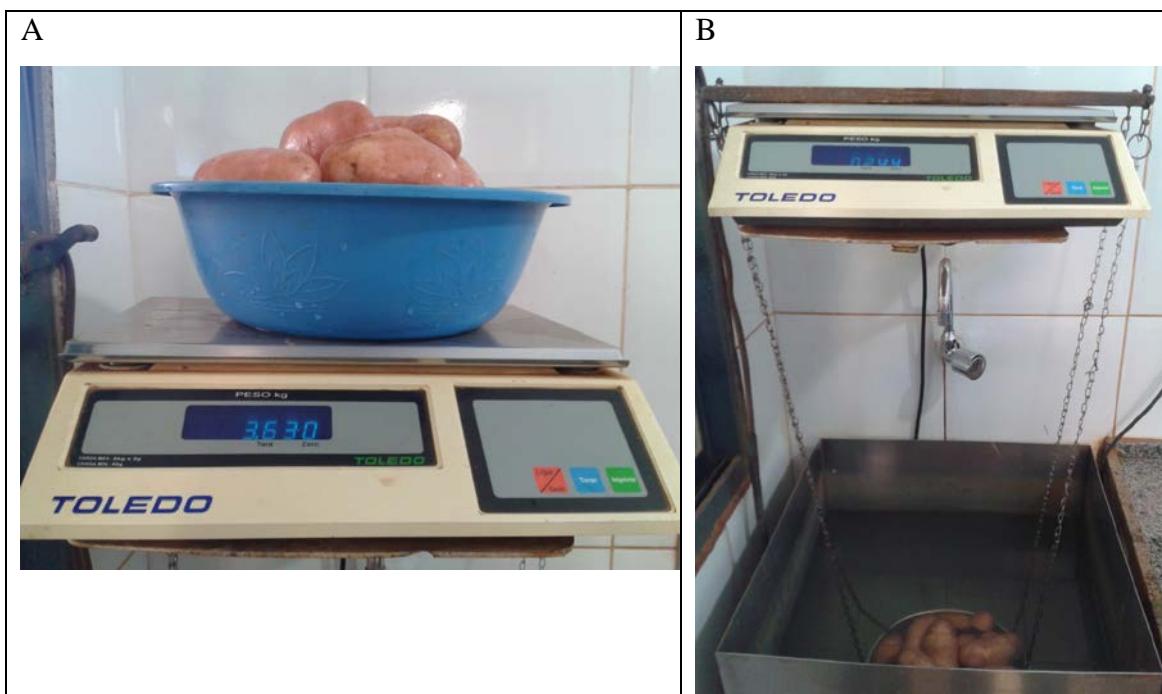


FIGURA 5: Balança densimétrica para determinação do teor de sólidos solúveis. A) Peso inicial da amostra. B) Determinação do peso da amostra imersa em água. Perdizes – MG, 2013.

Todos os dados foram primeiramente submetidos aos testes de normalidade dos resíduos de “Shapiro e Wilk” ou “Komolgorov-Smirnov” (0,01), de homogeneidade das variâncias por “Levene” (0,01) e de aditividade dos blocos por “Tukey” (0,01). Não foi necessária a transformação de dados.

Em seguida, procedeu-se à análise de variância pelo teste F a 0,05 de significância. Constatada diferença significativa, as médias das variáveis em estudo foram comparadas pelo teste Dunnet a 0,05 de significância para comparar as subdoses (2,5; 5,0 e 10%) e o controle (100% da dose recomendada) com a testemunha, bem

como as subdoses e a testemunha com o tratamento controle (100% da dose recomendada). Além disso, foi feita análise de regressão entre os tratamentos de 0 a 10% da dose e teste de Tukey a 0,05 de significância para analisar as diferenças entre as subdoses de 2,5% a 10% da dose, quando não houve ajuste aos modelos de regressão. Para o fator época de avaliação, nas avaliações de fitotoxicidade as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 0,05 de significância.

Para as análises de produtividade e classificação de tubérculos considerou-se o fatorial 4 x 2 +1, comparando entre as diferentes épocas aplicadas. Foram feitos testes de normalidade dos resíduos de “Shapiro e Wilk” (0,01), de homogeneidade das variâncias por “Levene” (0,01) e de aditividade dos blocos por “Tukey” (0,01). Não foi necessária a transformação de dados. Em seguida, procedeu-se à análise de variância pelo teste F a 0,05 de significância e, constatada diferença significativa, as médias de produtividades foram comparadas pelo teste Dunnet a 0,05 de significância para comparar as subdoses (2,5; 5,0 e 10%) e o controle (100% da dose recomendada) com a testemunha; as subdoses (2,5; 5,0 e 10%) e a testemunha com o tratamento controle na época 1 (100% da dose recomendada aplicada 37 DAP) e as subdoses (2,5; 5,0 e 10%) e a testemunha comparados ao tratamento controle na época 2 (100% da dose recomendada aplicada 60 DAP). Além disso, foi feita análise de regressão entre os tratamentos de 0 a 10% da dose e teste de Tukey a 0,05 de significância para analisar entre as subdoses de 2,5% a 10% da dose, quando não houve ajuste aos modelos de regressão e para comparações dentro do fator “época de aplicação”.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação de 37 dias após o plantio, foram realizadas avaliações de desenvolvimento vegetativo e fitotoxicidade e os resultados estão descritos a seguir.

3.1. Fitotoxicidade

A aplicação de subdoses de chlorimuron ethyl em simulação de deriva na cultura da batata provocou fitotoxicidade visual nas folhas e hastes das plantas, notando-se sintomas visuais a partir de 3 dias após a aplicação (3 DAA) com sintomas até a última avaliação aos 24 DAA, quando comparadas à testemunha sem aplicação. Quando comparadas ao controle (100% da dose recomendada), as médias de avaliações visuais

das subdoses aplicadas não diferiram do mesmo, diferindo somente a testemunha do tratamento controle (Tabela 4).

A partir do terceiro dia após a aplicação (3DAA) era possível visualizar sintomas de fitotoxicidade entre as subdoses aplicadas, nos quais as plantas apresentaram clorose das folhas, encarquilhamento, enrolamento e deformação das folhas, o crescimento e a expansão das folhas novas foram afetados e as folhas ficaram mais rígidas (Figura 6). Além disso, foi possível observar que o crescimento das plantas foi comprometido e as hastes ficaram quebradiças. Sintomas semelhantes foram observados e descritos por Novo et al. (2011), Salmazo (2009), Miranda Filho e Novo (2006) quando testaram outras moléculas do grupo químico das sulfonilureias em diferentes cultivares de batata.

TABELA 4: Notas de fitotoxicidade em diferentes dias de avaliações após a aplicação de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl simulando deriva em batata, cv. Asterix.

Dose (%)	3 DAA		13 DAA		17 DAA		24 DAA	
	Test ¹	Control ²	Test	Cont.	Test	Control	Test	Control
0,00	2,1		0,00	6,88	0,00	7,4	0,00	7,75
Test.	-----	0,00 *	-----	0,00 *	-----	0 *	---	0,0 *
2,5	2,0 *	2,0 ns	4,2 *	4,2 ns	5,2 *	5,2 ns	5,6 *	5,6 ns
5,0	1,9 *	1,9 ns	5,6 *	5,6 ns	6,4 *	6,4 ns	5,7 *	5,7 ns
10,0	2,0 *	2,0 ns	6,0 *	6,0 ns	6,2 *	6,2 ns	6,2 *	6,2 ns
Control	2,1 *	-----	6,9 *	-----	7,4 *	-----	7,7 *	-----

*, ns: significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05.

¹ Test.: 0% da dose; ² Control: 100% da dose; DAA: dias após aplicação.

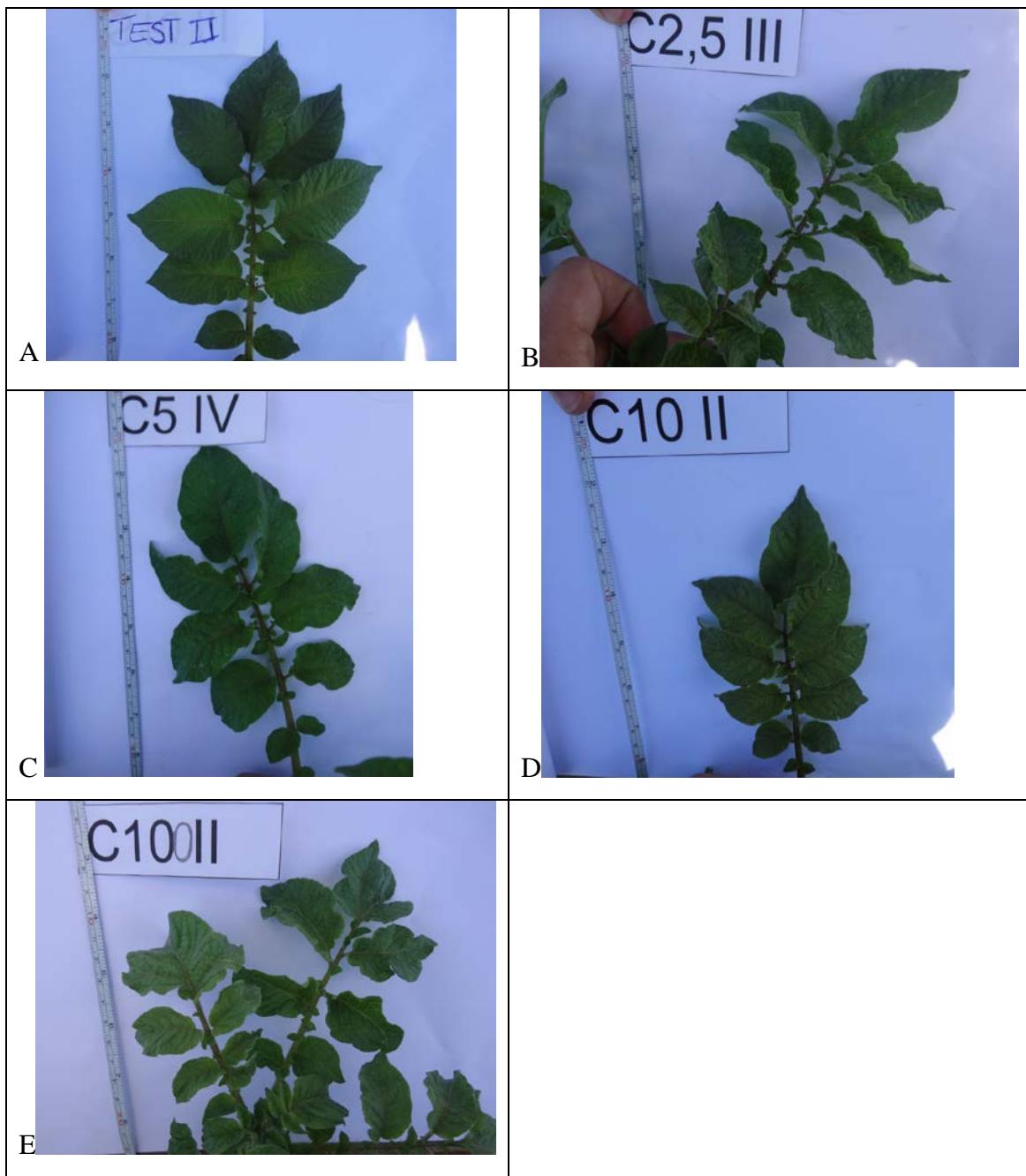
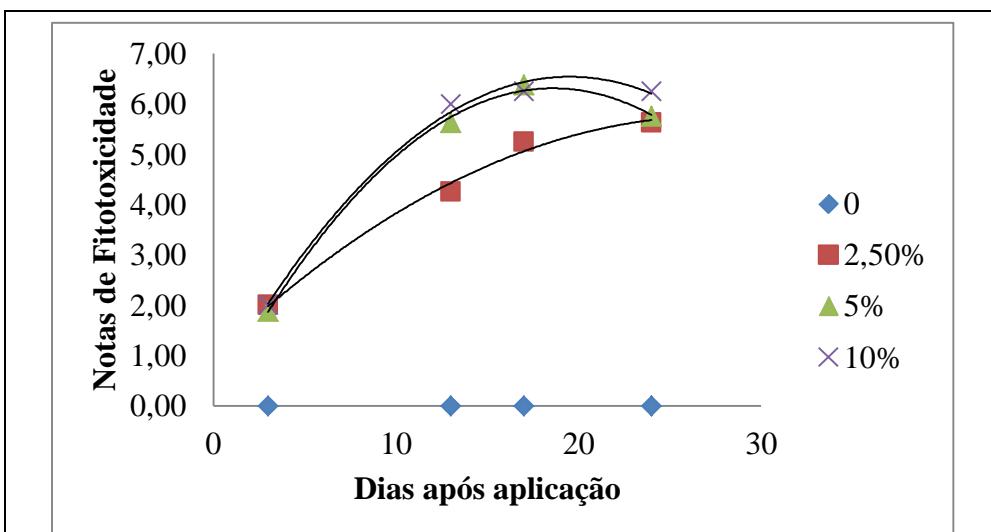


FIGURA 6: Sintomas de fitotoxicidade de subdoses de chlorimuron ethyl 3 dias após aplicação, cultivar Asterix. A) Testemunha, sem aplicação. B) Folha com sintomas após a aplicação de 2,5% da dose recomendada. C) Folha com sintomas após a aplicação de 5% da dose recomendada. D) Folha com sintomas após a aplicação de 10% da dose recomendada. E) Folha com sintomas após a aplicação de 100% da dose recomendada. Perdizes – MG, 2013.

Analizando a evolução dos sintomas entre os dias de avaliação, as médias de notas ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão e houve interação significativa entre as doses e a época avaliada (Figuras 7 e 8).

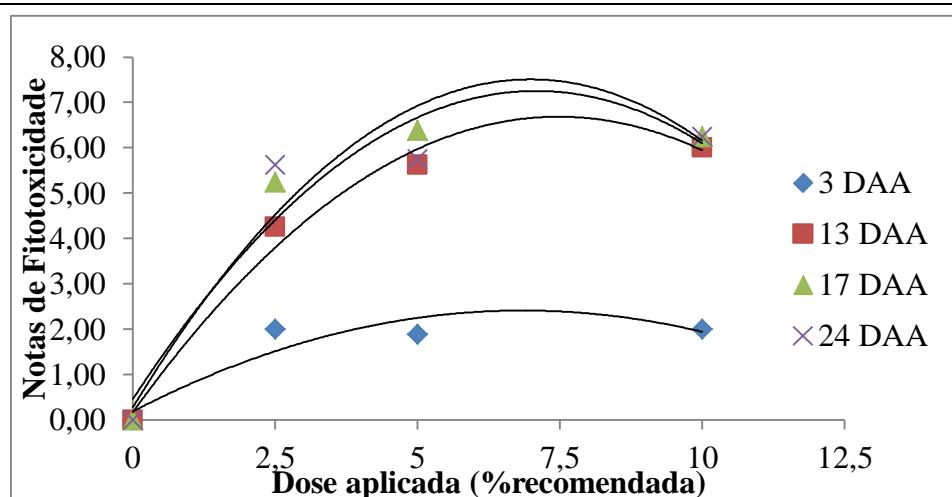


Dose 2,5% (0,31 g ia. ha⁻¹): $y=-0,0062x^2+0,3449x+0,9955$; $R^2=99,1\%$

Dose 5,0% (0,625 g ia. ha⁻¹): $y=-0,0182x^2+0,679x-0,0086$; $R^2=99,7\%$

Dose 10,0% (1,25 g ia. ha⁻¹): $y=-0,0166x^2+0,646x+0,2355$; $R^2=99,5\%$

FIGURA 7: Evolução de sintomas de fitotoxicidade de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl à cultura da batata, cultivar Asterix. Perdizes – MG, 2013.



3 DAA: $y=-0,0474x^2+0,6497x+0,1833$; $R^2=85,8\%$

13 DAA: $y=-0,1165x^2+1,7425x+0,1696$; $R^2=98,4\%$

17 DAA: $y=-0,1483x^2+2,072x+0,2719$; $R^2=96,7\%$

24 DAA: $y=-0,1355x^2+1,9192x+0,4579$; $R^2=90,2\%$

FIGURA 8: Fitotoxicidade de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl à cultura da batata, cultivar Asterix, comparando as subdoses em cada dia de avaliação. Perdizes – MG, 2013.

De acordo com as equações dos gráficos, observa-se que com 2,5% da dose (0,5 g ia. ha⁻¹) os sintomas de fitotoxicidade foram maiores aos 28 dias após aplicação, com nota de 5,79, caracterizada por “alta” fitotoxicidade provocando danos irreversíveis,

com previsão de redução no rendimento. Com 5,0% da dose (1,0 g ia. ha⁻¹) os sintomas de fitotoxicidade foram maiores aos 18 dias após a aplicação, apresentando nota de 6,3 que também é considerada “alta” causando danos irreversíveis, com previsão de redução no rendimento. Quando foram aplicados 10,0% da dose recomendada (2,0 g ia. ha⁻¹) os sintomas de fitotoxicidade foram mais graves aos 19 dias, com nota de 6,5 também considerada “alta” com possível redução no rendimento. Assim, é possível inferir que com 5,0% e 10,0% da dose recomendada (1,0 e 2,0 g ia. ha⁻¹, respectivamente) os sintomas foram semelhantes, com gravidade “alta”. Isso pode ser demonstrado pelas fotos com sintomas, nas quais as folhas ficaram encarquilhadas e enroladas, apresentavam clorose e as folhas novas não se expandiram principalmente nos pontos de crescimento. As plantas tiveram seu crescimento afetado (ver em Comprimento médio de hastes) ficando com sintomas de enfezamento. Além disso, as hastes ficaram ríjas e quebradiças.

Na comparação das doses em todos os dias avaliados, as doses que apresentaram mais sintomas de fitotoxicidade ficaram em torno de 7,0% da dose (3DAA=6,8%; 13DAA=7,4%; 17DAA=7,0% e 24DAA=7,0% da dose recomendada). Aos 3 DAA, 6,8% da dose teve nota de 2,4, caracterizada por fitotoxicidade “aceitável” com sintomas pronunciados, mas tolerados pela planta. Aos 13 DAA, as plantas já apresentavam sintomas de “alta” fitotoxicidade, danos irreversíveis com redução no rendimento e aos 17 e 24 DAA, as plantas apresentavam sintomas de fitotoxicidade “muito alta” com danos irreversíveis muito severos e redução drástica no rendimento.

Esses resultados demonstram um comportamento típico quando as plantas estão sob intoxicação com sulfonilureias. Além dos sintomas característicos já mencionados, observa-se que os sintomas se agravam com o passar do tempo, após entrarem em contato com a molécula e os sintomas iniciais se fazem presentes de uma a três semanas após a aplicação, causando amarelecimento das estruturas novas e paralisação do crescimento (HUTCHINSON et al., 2006).

Salmazo (2009) avaliou a fitotoxicidade de subdoses até cem vezes menores que as doses recomendadas de duas sulfonilureias, metsulfuron methyl e nicosulfuron, na cultivar Atlantic, e verificou manifestação de sintomas a partir do quinto e terceiro dias, respectivamente, principalmente com o metsulfuron. Nesse mesmo estudo, o autor identificou sintomas de fitointoxicação nas cultivares Atlantic e Lady Rosetta, enfezamento das plantas, crescimento retardado e clorose nas folhas, porém verificou maior sensibilidade da cultivar Lady Rosetta. Tal fato demonstra que há diferenças na

capacidade de tolerância entre as cultivares de batata às intoxicações em baixas concentrações de diferentes moléculas de sulfonilureias.

3.2 Comprimento médio de hastes

O herbicida chlorimuron ethyl foi fitotóxico à cultura da batata, afetando seu crescimento mesmo em baixas concentrações. Fato que pode ser demonstrado pela redução no crescimento das hastes (Tabela 5), no qual a partir de 2,5% da dose recomendada o herbicida afetou esse crescimento em comparação com a testemunha sem aplicação do produto. Além disso, nota-se que as subdoses não diferiram da dose recomendada, considerada tratamento controle. Entre as subdoses também não houve diferença significativa no comprimento médio de hastes. Foi possível verificar a diferença no crescimento das plantas quando expostas às subdoses do chlorimuron ethyl (Figura 9).

TABELA 5: Comprimento médio de hastes de batata, cv. Asterix, 24 dias após aplicação de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl.

Dose (%)	Dose (g ia ha ⁻¹)	Comprimento médio hastes (cm)		
		Testemunha ¹	Controle ²	
		49,66	28,26	
Testemunha	0,00	-----	49,66	*
2,5%	0,5	35,41 *a	35,41	ns a
5,0%	1,0	35,44 *a	35,44	ns a
10,0%	2,0	33,19 *a	33,19	ns a
Controle	20,0	28,26 *	-----	

¹, ns: significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05
Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05. ¹
Testemunha: 0% da dose; ²Controle: 100% da dose.



FIGURA 9: Diferença de vigor aos 17 DAA entre as parcelas tratadas com subdoses do herbicida chlorimuron ethyl. De cima para baixo: 2,5%, 5,0%, 10,0%, 100,0% da dose recomendada e a testemunha sem aplicação. Perdizes – MG, 2013.

Com base nos resultados obtidos é possível notar o efeito típico de fitointoxicação por sulfonilureias. Quando a ALS é inibida por moléculas desse grupo, a divisão celular cessa, o crescimento da planta é paralisado e esta morre lentamente. Quando aplicados em pós-emergência, os sintomas iniciais se fazem presentes de uma a três semanas após a aplicação, causando amarelecimento das estruturas novas e paralisação do crescimento. As plantas ficam marrons e morrem (HUTCHINSON et al., 2006). Nesse caso, em virtude de terem sido aplicadas doses muito baixas e as plantas de batata já estarem em estádio de desenvolvimento mais adiantado, estando em fase de tuberização, as plantas não chegaram a morrer, porém tiveram seu crescimento e desenvolvimento afetados.

Estudos com o grupo das sulfonilureias são constantes, tendo em vista que tais moléculas permanecem no solo por um longo período, podendo afetar o desenvolvimento de espécies sensíveis. Os produtos desse grupo têm meia-vida, de 30 a 120 dias no solo (TREZZI; VIDAL, 2001). Além disso, há relatos de contaminação por

tanques de pulverização mal lavados contendo resíduos desses produtos, e trabalhos demonstrando que tais resíduos são capazes de causar fitotoxicidade em batata e outras espécies suscetíveis, mesmo em baixas concentrações.

Novo e Miranda Filho (2006) verificaram aumento na fitotoxicidade em plantas de batata submetidas à dose de 3,0 g ha⁻¹ de metsulfuron-methyl a partir de 5 DAA, com redução desenvolvimento da planta e clorose. Além disso, verificaram que doses entre 0,3 e 0,03 g ha⁻¹ provocaram sintomas como clorose, encarquilhamento do limbo e redução no desenvolvimento a partir de 20 DAA. Ao final do ensaio, verificaram que as subdoses afetaram a produtividade e produziram tubérculos deformados e rachados.

Como a ação das sulfonilureias consiste na inibição competitiva da enzima ALS, que é a primeira enzima requerida para catalizar reações de síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina (MAZUR; FALCO, 1989), a redução dos níveis destes na célula pode promover a paralização do crescimento (FLECK; VIDAL, 1993). Segundo Dexter et al. (1994), em plantas que apresentam injúria de sulfonilureias, é comum que haja emissão de folhas novas mas estas não conseguem completar seu ciclo.

3.3 Alterações fisiológicas na cultura da batata

Como as sulfonilureias afetam a síntese proteica e existem diversas proteínas que estão envolvidas em processos fisiológicos nas plantas, foram realizadas análises para verificar o efeito das subdoses do herbicida chlorimuron ethyl nos atributos fotossintéticos das plantas intoxicadas.

De acordo com Torres et al. (2012), uma das características influenciadas pelo uso de herbicidas é a taxa fotossintética. Vários são os fatores que influenciam a fotossíntese das plantas direta ou indiretamente, como deficiência hídrica, estresse térmico e herbicidas. Além desses fatores, a concentração interna e externa de gases (KIRSCHBAUM; PEARCEY, 1988) e a composição e intensidade da luz (SHARKEY; RASCHKE, 1981) podem estar associadas a danos causados por herbicidas (FERREIRA et al., 2005). A taxa fotossintética está diretamente relacionada à radiação fotossinteticamente ativa (composição da luz), aos fatores de disponibilidade hídrica e às trocas gasosas (NAVES-BARBIERO et al., 2000), altamente dependentes da abertura estomática, podendo assim ser boa indicadora da resposta à ação dos herbicidas. Outra característica importante que poderá ser alterada pela ação dos herbicidas é a eficiência do uso da água pelas plantas. Ela é definida como a quantidade de água

evapotranspirada por uma cultura para a produção de certa quantidade de matéria seca (SILVA et al., 2007).

Os índices de clorofila a, b e total não diferiram estatisticamente entre as subdoses e a testemunha e entre o tratamento controle, pelo teste de F ($P \leq 0,05$), quando avaliados aos 17 dias após aplicação, conforme a Tabela 6.

TABELA 6: Índices de clorofila (ICF) de folhas de batata, cultivar Asterix, 17 dias após aplicação de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl.

Dose	Dose (g ia ha ⁻¹)	Clorofila (ICF)					
		Folha Superior (FS)			Folha inferior (FI)		
		Clorofila	Clorofila	Clorofila	Clorofila	Clorofila	Clorofila
		Total	a	b	Total	a	b
Testemunha	0,00	42,5	32,1	10,4	39,6	30,0	9,6
2,5%	0,5	42,2	32,2	8,7	41,8	31,4	10,4
5,0%	1,0	42,8	32,7	10,1	43,6	32,0	11,6
10,0%	2,0	37,6	28,9	8,7	44,4	32,4	12,2
Controle	20,0	39,0	29,8	9,2	44,4	32,4	12,0
	Teste F	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	7,55	7,85	12,67	8,10	6,36	14,08

ns: não significativo pelo teste de F a 0,05.

Testemunha: 0% da dose; ² Controle: 100% da dose.

Além dos índices de clorofila, as análises demonstraram que o herbicida chlorimuron ethyl também não afetou atributos fotossintéticos como taxa de assimilação de CO₂ (A), taxa de transpiração (E), conteúdo de CO₂ interno (Ci) e condutância estomática das folhas de batata, não diferindo estatisticamente da testemunha e do controle (100% da dose recomendada), (Tabela 7).

Analizando a eficiência instantânea no uso da água (A/E) e a eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci), verificou-se que herbicida chlorimuron ethyl não afetou essas características da planta, não diferindo de forma significativa as subdoses

da testemunha e do tratamento controle (100% a dose recomendada), conforme a Tabela 8.

TABELA 7: Taxa de assimilação de CO₂ (A), taxa de transpiração (E), conteúdo de CO₂ interno (Ci) e condutância estomática (gs) de folhas de batata, cv. Asterix, 17 DAA de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl.

Dose	Dose (g ia ha ⁻¹)	Atributos Fotossintéticos			
		A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Ci (vpm)	Gs
Testemunha	0,00	18,94	4,19	236,00	0,49
2,5%	0,5	14,58	4,15	276,91	0,55
5,0%	1,0	14,16	4,10	278,75	0,51
10,0%	2,0	17,87	4,31	255,33	0,52
Controle	20,0	12,33	3,20	248,83	0,33
Teste F		ns	ns	ns	ns
CV(%)		23,36	16,34	10,83	31,33

ns: não significativo pelo teste de F a 0,05.

Testemunha: 0% da dose; ² Controle: 100% da dose.

TABELA 8: Eficiência instantânea no uso da água (EUA) e de carboxilação (EIC) de folhas de batata, cv. Asterix, 17 DAA de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl.

Dose	Dose (g ia ha ⁻¹)	Atributos Fotossintéticos	
		EUA	EIC
Testemunha	0,00	4,59	0,08
2,5%	0,5	3,54	0,05
5,0%	1,0	3,33	0,05
10,0%	2,0	4,21	0,07
Controle	20,0	3,82	0,05
Teste F		ns	ns
CV(%)		19,30	25,92

ns: não significativo pelo teste de F a 0,05.

Testemunha: 0% da dose; ² Controle: 100% da dose.

O chlorimuron ethyl é um inibidor da ALS e sua ação na fotossíntese é indireta, pois ele atua sobre a produção dos aminoácidos de cadeia ramificada valina, leucina e isoleucina, responsáveis pela produção de proteínas em plantas e não diretamente no aparato fotossintético como outros herbicidas (TORRES et al., 2012). Contudo, nesse estudo as doses aplicadas desse herbicida não tiveram interferência significativa nas

características fisiológicas relacionadas à fotossíntese. Isso pode ser explicado pelo fato de terem sido aplicadas subdoses em plantas com desenvolvimento vegetativo pleno (37 DAP), as quais já possuíam parte aérea formada, com folhas fotossinteticamente ativas e que foram capazes de manter a fotossíntese e a eficiência no uso da água.

A enzima mais importante no processo de carboxilação da planta é a Rubisco (ribulose bifosfato carboxilase/oxigenasse), sendo a enzima mais abundante nas folhas, a qual representa 40% do total de proteínas solúveis nas folhas. A concentração de sítios ativos da rubisco no estroma dos cloroplastos chega a ser 500 vezes maior que a concentração de CO₂ no meio, o que favorece a eficiência de carboxilação (TAIZ; ZEIGER, 2006). Essa abundância e eficiência da rubisco pode explicar o fato dos atributos fotossintéticos não terem sido afetados pela restrição na produção de aminoácidos desencadeada pelo herbicida.

3.4 Produtividade e classificação de tubérculos

A produtividade de tubérculos de batata foi influenciada significativamente pelas subdoses do herbicida pelo teste F a 0,05 de significância. A produtividade total e das classes “Especial”, “Primeira” e “Segunda” tiveram diferenças significativas (Tabelas 9 a 12) pelo teste Dunnet a 0,05 de significância. Além disso, observou-se que o chlorimuron ethyl afetou a qualidade dos mesmos, provocando rachaduras nos tubérculos com diferenças significativas entre as doses e a época aplicada (Tabela 13). Tais rachaduras, contudo, foram diferentes quando o herbicida foi aplicado aos 37 DAP e aos 60 DAP. Quando a aplicação foi feita em 37 DAP, os tubérculos racharam, porém continuaram seu crescimento, os quais ficaram com aspecto deformado. Ao ser aplicado aos 60 DAP, o herbicida provocou rachaduras nos tubérculos, os quais permaneceram com rachaduras mais profundas e definidas (Figura 10). Tubérculos classificados como outros defeitos, embonecamento e descarte não diferiram estatisticamente.

Observa-se que o tratamento controle na primeira época de aplicação (37 DAP) afetou a produtividade em todas as classes, reduzindo a produtividade em comparação à testemunha. Quanto à produtividade total, esse tratamento produziu menos que os demais tratamentos. Quando comparamos 100% da dose nas duas épocas aplicadas, verificamos que aos 37 DAP afetou mais produtividade. Tal fato é justificado devido a esse herbicida atuar na síntese de aminoácidos, quando aplicado na fase de crescimento vegetativo e tuberização como ocorre aos 37 DAP, afetou o crescimento da planta e

formação dos tubérculos, consequentemente, a planta produz menos fotoassimilados afetando o enchimento de tubérculos.

TABELA 9: Produtividade Total de tubérculos de batata, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de chlorimuron ethyl em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio. Perdizes – MG, 2013.

Dose (%)	Dose (g ia ha ⁻¹)	Época	Produtividade Total (kg ha ⁻¹)		
			Testemunha ¹	Controle Época 1 ²	Controle Época 2 ³
				25.384,76	9.164,06
Testemunha	0,00	-----	25.384,76	* 25.384,76	ns
2,5	0,5	1	21.229,17 ns	21.229,17	-----
5	1,0	1	15.992,19 *	15.992,19 *	-----
10	2,0	1	20.528,64 ns	20.528,64 *	-----
Controle	20,0	1	9.164,06 *	-----	9.164,06 *
2,5	0,5	2	24.455,73 ns	-----	24.455,73 ns
5	1,0	2	24.132,81 ns	-----	24.132,81 ns
10	2,0	2	26.218,75 ns	-----	26.218,75 ns
Controle	20,0	2	19.927,08 ns	19.927,08 *	

*, ns: Significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ¹ Testemunha: 0% da dose; ²Controle Época 1: 100% da dose aplicada aos 37DAP; ³Controle Época 2: 100% da dose aplicada aos 60DAP.

TABELA 10: Produtividade classe Especial de tubérculos de batata, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de chlorimuron ethyl em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio.

Dose (%)	Dose (g ia ha ⁻¹)	Época	Produtividade Especial (kg ha ⁻¹)		
			Testemunha ¹	Controle Época 1 ²	Controle Época 2 ³
				13.439,45	6.125,00
Testemunha	0,00	-----	13.439,45	* 13.439,45	* 13.439,45
2,5	0,5	1	9.640,62 ns	9.640,62 *	-----
5	1,0	1	4.820,31 *	4.820,31 ns	-----
10	2,0	1	8.929,69 ns	8.929,69 *	-----
Controle	20,0	1	2.023,44 *	-----	2.023,44 ns
2,5	0,5	2	16.078,12 ns	-----	16.078,12 *
5	1,0	2	14.115,23 ns	-----	14.115,23 *
10	2,0	2	16.222,65 ns	-----	16.222,65 *
Controle	20,0	2	6.125,00 *	6.125,00 ns	

*, ns: Significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ¹ Testemunha: 0% da dose; ²Controle Época 1: 100% da dose aplicada aos 37DAP; ³Controle Época 2: 100% da dose aplicada aos 60DAP.

TABELA 11: Produtividade classe Primeira de tubérculos de batata, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de chlorimuron ethyl em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio. Perdizes – MG, 2013.

Dose (%)	Dose (g ia ha ⁻¹)	Época	Produtividade Classe Primeira (kg ha ⁻¹)			
			Testemunha ¹	Controle Época 1 ²		Controle Época 2 ³
				4.105,47	979,17	2.445,31
Testemunha	0,00		-----	4.105,47	*	4.105,47 *
2,5	0,5	1	3.059,89	ns	3.059,89 *	-----
5	1,0	1	2.648,40	*	2.648,40 *	-----
10	2,0	1	2.906,25	ns	2.906,25 *	-----
Controle	20,0	1	979,17	*	-----	979,17 *
2,5	0,5	2	3.380,21	ns	-----	3.380,21 ns
5	1,0	2	2.906,25	ns	-----	2.906,25 ns
10	2,0	2	3.039,06	ns	-----	3.039,06 ns
Controle	20,0	2	2.445,31	*	2.445,31 *	

*, ns: Significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ¹ Testemunha: 0% da dose; ² Controle Época 1: 100% da dose aplicada aos 37DAP; ³ Controle Época 2: 100% da dose aplicada aos 60DAP.

TABELA 12: Produtividade classe Segunda de tubérculos de batata, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de chlorimuron ethyl em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio. Perdizes – MG, 2013.

Dose (%)	Dose (g ia ha ⁻¹)	Época	Produtividade Classe Segunda (kg ha ⁻¹)		
			Testemunha ¹	Controle Época 1 ²	
				4.263,67	1.583,33
Testemunha	0,00		-----	4.263,67	*
2,5	0,5	1	3.494,79	ns	3.494,79 ns
5	1,0	1	4.564,45	ns	4.564,45 *
10	2,0	1	4.247,40	ns	4.247,40 *
Controle	20,0	1	1.583,33	*	-----
2,5	0,5	2	3.309,90	ns	3.309,90 ns
5	1,0	2	4.089,84	ns	4.089,84 ns
10	2,0	2	3.339,84	ns	3.339,84 ns
Controle	20,0	2	3.135,42	ns	3.135,42 ns

*, ns: Significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ¹ Testemunha: 0% da dose; ² Controle Época 1: 100% da dose aplicada aos 37DAP; ³ Controle Época 2: 100% da dose aplicada aos 60DAP.

TABELA 13: Produtividade de tubérculos com sintomas de rachaduras, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de chlorimuron ethyl em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio.

Dose (%)	Dose (g ia ha ⁻¹)	Época	Produtividade Tubérculos Rachados (kg ha ⁻¹)		
			Testemunha ¹	Controle Época 1 ²	Controle Época 2 ³
			1.484,38	2382,81	5.846,35
Testemunha	0,00	-----	-----	1.484,38 *	1.484,38 *
2,5	0,5	1	2.783,85 *	2.783,85 ns	----
5	1,0	1	501,95 *	501,95 *	----
10	2,0	1	2.786,46 *	2.786,46 ns	----
Controle	20,0	1	2.382,81 *	-----	2.382,81 *
2,5	0,5	2	781,25 ns	-----	781,25 *
5	1,0	2	1.476,56 ns	-----	1.476,56 *
10	2,0	2	1.765,63 ns	-----	1.765,63 *
Controle	20,0	2	5.846,35 *	5.846,35 *	-----

*, ns: Significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ¹Testemunha: 0% da dose; ²Controle Época 1: 100% da dose aplicada aos 37DAP; ³Controle Época 2: 100% da dose aplicada aos 60DAP.

Apesar da produtividade total das subdoses ter sido semelhante à testemunha, observou-se que as subdoses diferiram da testemunha quanto a tubérculos rachados, principalmente quando aplicadas na fase inicial de desenvolvimento. Quando aplicado aos 60 DAP, apenas a dose de 100% diferiu da testemunha em tubérculos rachados.



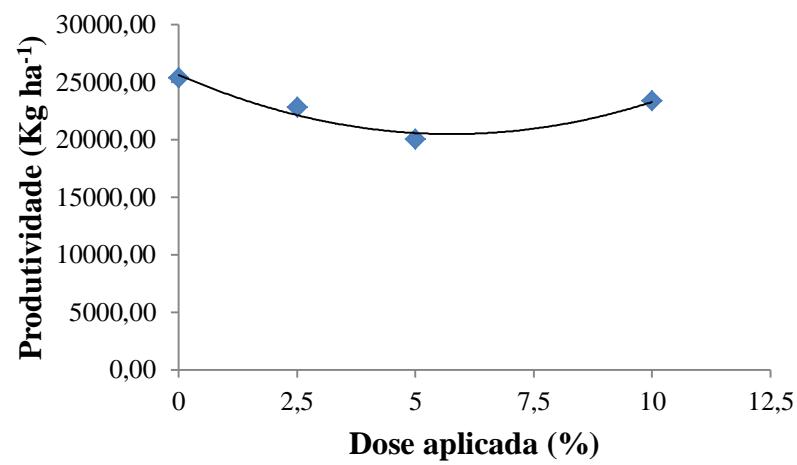
FIGURA 10: Tubérculos de batata, cultivar Asterix, com distúrbio fisiológico de rachaduras quando expostos a 100% da dose recomendada de chlorimuron ethyl em diferentes estádios de desenvolvimento. A) Tubérculos normais produzidos na testemunha sem aplicação. B) Tubérculos com rachaduras e deformações em decorrência da exposição ao herbicida aos 37 DAP, fase de tuberização. C) Tubérculos com rachaduras em decorrência da exposição ao herbicida aos 60 DAP, fase de enchimento de tubérculos.

Houve diferença entre as subdoses (2,5; 5,0 e 10,0% da dose recomendada) e a testemunha quanto à produtividade total de tubérculos, tendo efeito de dose e de época aplicada, porém não houve interação entre esses fatores (Tabela 14 e Figura 11). Quanto à época de exposição ao herbicida, na fase de crescimento vegetativo e tuberização, o herbicida provocou redução de $4.264,32 \text{ kg ha}^{-1}$ de tubérculos, em torno de 85 sacas de 50kg a menos, em comparação à exposição aos 60 dias após o plantio, considerada fase de enchimento de tubérculos, na qual o crescimento vegetativo já foi concluído. Quanto ao efeito de dose, observou-se que a subdose que proporcionou menor produtividade total foi 5,76% da dose recomendada, produzindo $20.321,31 \text{ kg ha}^{-1}$.

TABELA 14: Influência da época de exposição quanto ao estádio de desenvolvimento de plantas de batata ao herbicida chlorimuron ethyl na produtividade total de tubérculos, cultivar Asterix. Perdizes – MG, 2013.

Época de aplicação (dias após o plantio)	Produtividade Total (kg ha⁻¹)
37 DAP- Crescimento vegetativo e Tuberização	20.783,69 b
60 DAP – Enchimento de tubérculos	25.048,01 a
CV%	14,13

Letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.



Produtividade total: $y=155,24x^2-1.788,4x+25.646$; $R^2= 94,2\%$

FIGURA 11: Produtividade total de tubérculos de batata, cultivar Asterix, em função de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl aplicadas aos 37DAP e aos 60 DAP.

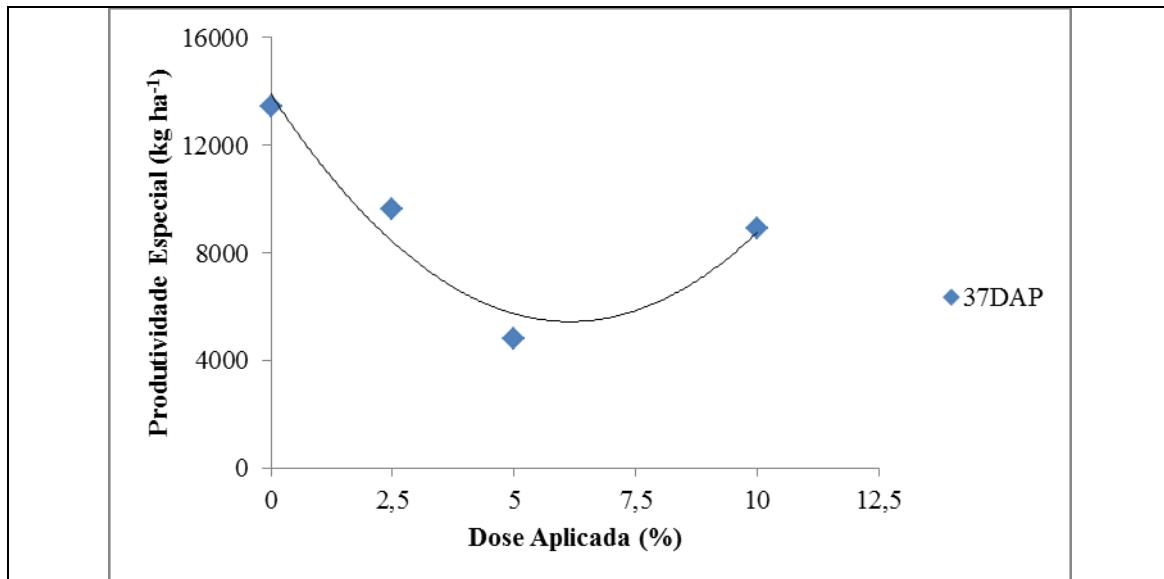
Quanto à produtividade de tubérculos da classe Especial, houve interação entre os fatores subdose aplicada e época de aplicação (Tabela 15 e Figura 12). Apesar da interação, as doses não ajustaram a modelos de regressão na época de 60 dias após o plantio.

TABELA 15: Influência da época de exposição quanto ao estádio de desenvolvimento de plantas de batata ao herbicida chlorimuron ethyl na produtividade da classe Especial de tubérculos, cultivar Asterix.

Época de aplicação (dias após plantio)	Produtividade Classe Especial (kg ha⁻¹)		
	Dose aplicada (%)		
	2,5 (0,5 g ia ha⁻¹)	5,0 (1,0 g ia ha⁻¹)	10,0 (2,0 g ia ha⁻¹)
37 DAP	9.640,63 b	4.820,31 b	8.929,69 b
60 DAP	16.078,13 a	14.115,23 a	16.222,65 a
CV%	24,37%		

Letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Analizando o fator dose dentro de época de aplicação, observa-se que para todas as subdoses a época de 60 DAP foi a menos afetada pelas subdoses do herbicida, produzindo mais que aos 37DAP.

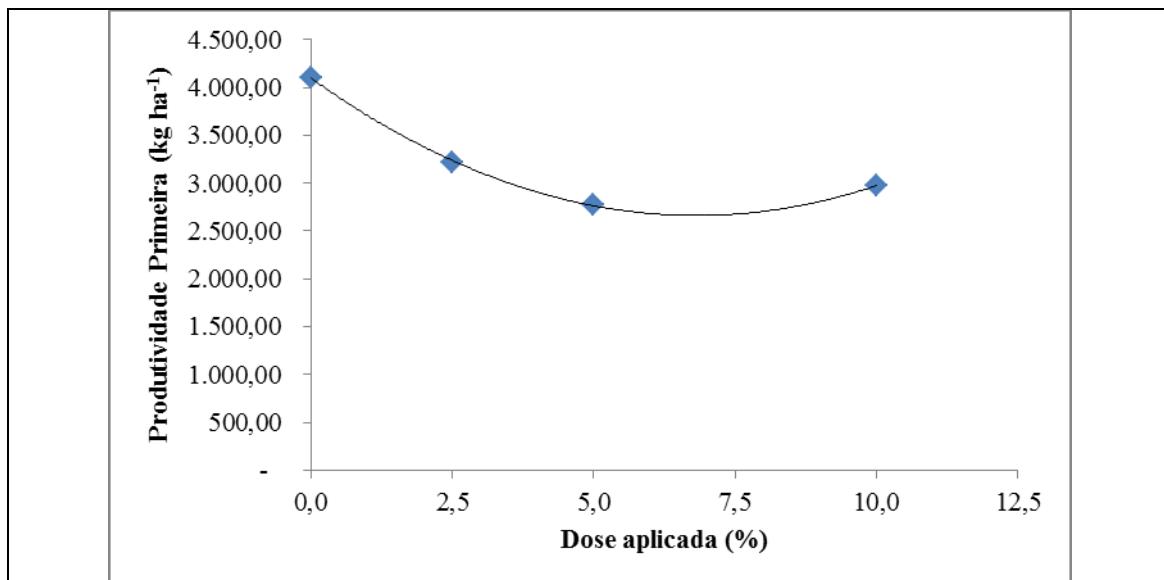


Produtividade Especial – 37DAP: $y=224x^2-2.752,1x+13.898$; $R^2= 93,13\%$

FIGURA 12: Produtividade de tubérculos de batata, classe Especial, expostas à subdoses do herbicida chlorimuron ethyl aos 37 dias após o plantio.

O fator época dentro de dose indica que aos 37 DAP, a subdose que afetou mais a produtividade de tubérculos com calibres da classe Especial, foi 6,14% da dose recomendada produzindo $5.445,7 \text{ kg ha}^{-1}$.

Com relação à classe Primeira, a interação entre os fatores época de aplicação e doses não foi significativa. Sendo a produtividade nessa classe influenciada apenas quanto às subdoses, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão (Figura 13). A dose que proporcionou maior redução na produtividade de tubérculos da classe Primeira foi 6,8% da dose recomendada, com $2.662,19 \text{ kg ha}^{-1}$.



Produtividade “Primeira”: $y = 30,919x^2 - 421,5x + 4098,7$; $R^2 = 99,9\%$

FIGURA 13: Produtividade de tubérculos de batata, classe Primeira, sob aplicação de subdoses do herbicida chlorimuron ethyl em diferentes estádios de desenvolvimento, 37 DAP e 60 DAP.

A produtividade da classe Segunda não obteve diferença significativa quanto às doses e épocas (teste F a 0,05 de significância).

Assim como nesse experimento, Salmazo (2009) também verificou que subdoses de sulfonilureias aplicadas aos 30 DAP reduziram a produtividade na cultivar Atlantic, produziram menos na classe Especial (Classe II, diâmetro 42–70mm) e mais tubérculos menores da classe Segunda (Classe IV, diâmetro 28-33mm) comparados à testemunha.

De forma geral, foi possível observar que a exposição às subdoses do herbicida chlorimuron ethyl provocou redução na produtividade, principalmente em maiores concentrações e quando essa exposição ao ativo ocorreu na fase de crescimento vegetativo e formação dos tubérculos. Isso indica que a ocorrência de deriva dessa molécula nessa fase de desenvolvimento da cultura causa fitotoxicidade na parte aérea e afeta a produtividade, causando inclusive distúrbios fisiológicos nos tubérculos.

Em se tratando de distúrbios fisiológicos, houve interação entre os fatores dose aplicada e época de aplicação, porém as subdoses não ajustaram a nenhum modelo de regressão e as diferenças entre elas foram constatadas pelo teste de Tukey a 0,05 de significância (Tabela 16).

TABELA 16: Influência da época de exposição quanto ao estádio de desenvolvimento de plantas de batata a subdoses do herbicida chlorimuron ethyl na formação de tubérculos com rachaduras, cultivar Asterix.

Época de aplicação (dias após plantio)	Produtividade de tubérculos rachados (kg ha ⁻¹)		
	Dose aplicada (%) (0,5 g ia ha ⁻¹)	Dose aplicada (%) (1,0 g ia ha ⁻¹)	Dose aplicada (%) (2,0 g ia ha ⁻¹)
37 DAP	2.783,85 bB	501,95 aA	2.786,46 bB
60 DAP	781,26 aA	1.476,56 bAB	1.765,62 aB
CV%	31,03%		

Letras minúsculas distintas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Comparando as épocas de exposição às subdoses, observa-se que com 2,5% e 10% da dose recomendada aos 37DAP a ocorrência de tubérculos rachados foi maior, acontecendo o contrário com 5% da dose, que teve maior ocorrência de tubérculos rachados quando a exposição à molécula ocorreu aos 60DAP. Comparando as subdoses dentro de cada época, observa-se aos 37DAP, 2,5% e 10% produziram mais tubérculos rachados e aos 60 DAP, 5,0 e 10% da dose recomendada tiveram maior produtividade de tubérculos rachados.

A ocorrência de tubérculos rachados na testemunha pode ter ocorrido por fatores ambientais, como oscilação hídrica. O rachamento de tubérculos pode estar associado a uma grande mudança na turgidez e aumento na taxa de crescimento dos tubérculos, causada por períodos de falta de água seguidos de grande disponibilidade hídrica (HILLER; THORNTON, 1993). Apesar disso, como houve diferença significativa entre as subdoses aplicadas e a testemunha quanto à presença de tubérculos rachados (Tabela 13), podemos inferir que o aumento na ocorrência dessa anomalia fisiológica pode ter sido em decorrência da intoxicação pelo herbicida.

Salmazo (2009) verificou maior produção de tubérculos com desordens fisiológicas, como rachaduras e embonecamento, em tubérculos da cultivar Lady Rosetta produzidos em parcelas tratadas com metsulfuron methyl o e nicosulfuron, nas doses recomendadas de uso e esse último com dose 10 vezes menor que a recomendada.

Novo e Miranda Filho (2006) verificaram diferenças de sensibilidade entre as cultivares Atlantic e Lady Rosetta aos herbicidas nicosulfuron e metsulfuron methyl, constatando maior produção de tubérculos com anomalias fisiológicas em plantas de Atlantic tratadas com esses herbicidas em comparação à Lady Rosetta. Tal fato, demonstra que há respostas distintas entre as cultivares de batata quando expostas às moléculas de herbicidas do grupo das sulfonilureias, daí a importância de se estudar a ação das diferentes moléculas desse grupo em cultivares de batata distintas.

Andres e Fleck (1994) relataram que, devido à sua rápida translocação e por se acumularem em tecidos meristemáticos, as sulfonilureias exercem ação sobre a divisão celular de plantas sensíveis. Atuando sobre a síntese de aminoácidos e interferindo na divisão celular elas impedem a formação de tubérculos íntegros e sem rachaduras. Há ainda a possibilidade de essas moléculas serem acumuladas nos tecidos de reserva do tubérculo.

HAWKES et al. (1989) citados por Novo et al (2011) observaram que duas horas após a aplicação de chlorsulfuron methyl, ocorria paralisação no crescimento de plântulas de milho. Esses mesmos autores verificaram diminuição na frequência mitótica no tecido da planta acompanhado de inibição da incorporação de timidina ao DNA da planta. Além da inibição da divisão celular, há relatos de decréscimo da translocação de fotossintetizados no floema e de acúmulos de açúcares nas folhas.

3.5. Teor de sólidos solúveis

O teor de sólidos solúveis diferiu estatisticamente entre a testemunha e 100% da dose recomendada aplicada aos 60 dias após o plantio. Além disso, também houve diferença entre a aplicação de 10% da dose aos 60 dias após o plantio e diferença entre as épocas de aplicação da dose 100% recomendada (Tabela 17).

TABELA 17: Teor de sólidos solúveis em tubérculos de batata, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de chlorimuron ethyl em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio.

Dose (%)	Dose (g ia ha ⁻¹)	Época	Teor de sólidos solúveis (%)		
			Testemunha ¹	Controle	Época
				1 ²	2 ³
			19,0	19,1	17,7
Testemunha	0,00			19,0	ns
2,5	0,5	1	18,6 ns	18,6 ns	----
5	1,0	1	19,1 ns	19,1 ns	----
10	2,0	1	19,2 ns	19,2 ns	----
Controle	20,0	1	19,1 ns	----	19,1 *
2,5	0,5	2	18,6 ns	----	18,6 ns
5	1,0	2	18,6 ns	----	18,6 ns
10	2,0	2	19,1 ns	----	19,1 *
Controle	20,0	2	17,7 *	17,7 *	

*, ns: Significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ¹ Testemunha: 0% da dose; ²Controle Época 1: 100% da dose aplicada aos 37DAP; ³Controle Época 2: 100% da dose aplicada aos 60DAP.

Para Chitarra e Chitarra (2005), o teor de sólidos solúveis totais é utilizado como uma medida indireta do teor de açúcares, podendo variar de 2% a 25%, a depender da espécie, da cultivar, dos estádios de maturação, da nutrição e do clima. Segundo Queiroz (2011) quando ocorre desfolha prematura os teores de sólidos podem cair a níveis bem baixos, resultando em menor rendimento industrial.

Como o chlorimuron ethyl atua inibindo a síntese de aminoácidos, e consequentemente afeta a síntese de proteínas, comprometendo a formação e transporte de açúcares. Como consequência o teor de sólidos solúveis na maior dose do herbicida aplicada na fase de enchimento de tubérculos (60 DAP) foi menor que a testemunha.

4 CONCLUSÃO

- O herbicida chlorimuron ethyl proporcionou sintomas visuais de injurias às plantas de batata independente da época de aplicação estudada.
- As subdoses de chlorimuron ethyl afetaram a formação de tubérculos.
- A época de aplicação afetou a qualidade de tubérculos produzindo tubérculos rachados, sendo mais intensos quando as plantas foram expostas ao herbicida na fase de crescimento vegetativo e tuberização, primeira época de aplicação.
- A produtividade da cultura foi afetada pelas diferentes subdoses do herbicida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRES, A.; FLECK, N.G. Efeitos de imidazolinona e sulfonilureias sobre a produção de sementes e emergência de plântulas de quinquelho. **Planta Daninha**, Viçosa v.12, 1994. p.63-69.
- BLANCO, F. M. G. Manejo das plantas daninhas na cultura de batata. **Instituto Biológico**, São Paulo, v. 70, n. 1, p. 19-24, 2008.
- CEAGESP. **Classificação da batata in natura**. Disponível em: <www.ceagesp.gov.br/produtor/tecnicas/classific/fc_batata>. Acesso em: 10 jul. 2013.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL-FAEPE, 2005. 785 p.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M.; BARELA, J. F. Manejo de plantas daninhas e dessecação na cultura de batata. **Revista Batata Show**, Itapetininga, v. 3, n. 7, 2003.
- COSTA, A. G. F. et al. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 203-210, 2007.
- CUNHA, J. P. A. R. et al. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 325-332, 2003.
- CUNHA, J. P. A. R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições da pulverização. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, 2008.
- DEXTER, A. G.; GUNSOLUS, J. L.; CURRAN, W. S. **Herbicide mode of action and sugarbeet injury symptoms**. Fargo: North Dakota State University/ North Dakota State Extension Service, 1994. 21 p.
- EBERLEIN, C. V.; GUTTIERI, M. J. Potato (*Solanum tuberosum*) response to simulated drift of imidazolinone herbicides. **Weed Science**, Miami, v.42, n., p. 70-75, 1994.
- FELIX, J.; BOYDSTON, R.; BURKE, I. C. Potato response to simulated glyphosate drift. **Weed Technology**, Lawrence, v. 25, n. 4, p. 637-644, 2011.
- FERREIRA, E. A. et al. Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura trifloxsulfuron-sodium + ametryn. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 93-99, 2005.
- FLECK, N. G.; VIDAL, R. A. Injúria potencial de herbicidas de solo ao girassol. II-Chlorimuron-ethyl. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 11, n. 1/2, p. 44-48, 1993.

GIL, Y.; SINFORT, C. Emission of pesticides to the air during sprayer application: a bibliographic review. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, n. 8, p. 5183-5193, 2005.

HAWKES, T. R.; HOWARD, J. L.; PONTIN, S. E. Herbicides that inhibit the biosynthesis of branched chain amino acids. In: DODGE, A. D. (ed.). **Herbicides and plant metabolism**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p. 113-136.

HEMPHILL Jr., D. D.; MONTGOMERY, M. L. Response of vegetable crops to sublethal application of 2,4-D. **Weed Science**, Miami, v. 29, n. 6, p. 632-635, 1981.

HILLER, L. K.; THORNTON, R. E. Management of physiological disorders. In: ROWE, R.C. (ed.). **Potato health management**. Saint Paul: APS Press, 1995. p. 87-94.

HUTCHINSON, P. J. S.; MORISHITA, D. W.; PRICE, W. J.; Season-long dose-response of potato sulfometuron. **Weed Science**, Miami, v. 55, n. 5, p. 521-527, 2007.

KIRSCHBAUM, M. U.; PEARCY, R. W. Gas exchange analysis of the fast phase of photosynthetic induction in *Alocasia macrorrhiza*. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 87, n. 4, p. 818-821, 1988.

MAZUR, B. J.; FALCO, S. C. The development of herbicide resistant crops. **Annual review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 40, s/n., p. 441-470, 1989.

MIRANDA FILHO, H. S.; GRANJA, N. P.; MELO, P. C. T. **Cultura da batata**. Vargem Grande do Sul, 2003. 68 p. (Apostila)

NASCIMENTO, E. R.; YAMASHITA, O. M. Desenvolvimento inicial de olerícolas cultivadas em solos contaminados com resíduos de 2,4-D + picloram. **SEMINA: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 47-54, 2009.

NAVES-BARBIERO, C. C. et al. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerradão. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 119-134, 2000.

NOVO, M. C. S. S.; MIRANDA FILHO, H. S. Tuberização de dois cultivares de batata sob aplicação de sulfonilureias. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 115-121, 2006.

NOVO, M. C. S. S. et al. **Efeito de sulfonilureias no desenvolvimento da parte aérea e na tuberização da batata**. Campinas: INTITUTO AGRONÔMICO, 2011. 46 p. (Boletim Científico IAC 16)

OLIVEIRA Jr., R. S. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA Jr, R. S.; CONSTANTIN, J. (org.). **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 291-314

PENCKOWSKI, L. H.; PODOLAN, M. J.; LÓPEZOVEJERO, R. F. Influência das condições climáticas no momento da aplicação de herbicidas pós-emergentes sobre a eficácia de controle de nabiça (*Raphanus raphanistrum*) na cultura do trigo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 435-442, 2003.

PETERSON, D. E. **Herbicide mode of action**. Topeka: Kansas State University, 2001. 24 p.

PFLEEGER, T. Effects of low concentrations of herbicides on full-season, field-grown potatoes. **Weed Technology**, Lawrence, v. 15, n. 2, p. 2070-2082, 2008.

QUEIROZ, A. A. **Produtividade e qualidade de batata em função de doses de NPK**. 2011. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

RAY, T. B. Site of action of chlorsulfuron; inhibition of valine and isoleucine biosynthesis in plantas. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 75, n. 3, p. 827-831, 1984.

RIGOLI, R. P. et al. Resposta de plantas de beterraba (*Beta vulgaris*) e de cenoura (*Daucus carota*) à deriva simulada de glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 451-456, 2008.

SALMAZO, P. B. **Efeitos de subdoses de sulfonilureias na produtividade e qualidade de tubérculos de batatas (*Solanum tuberosum* L.)**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

SCHROEDER, G. L.; COLE, D. F.; DEXTER, A. G. Sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) response to simulated herbicide spray drift. **Weed Science**. Miami, v. 31, n. 6, p. 831-836, 1983.

SHARKEY, T. D.; RASCHKE, K. Effect of light quality on stomatal opening in leaves of *Xanthium strumarium* L. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 68, n. 5, p. 1170-1174, 1981.

SILVA, A. A. et al. Competição entre plantas daninhas e culturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 17-61.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. Herbicidas: Classificação e Mecanismos de Ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 83-148.

SILVA, M. C. C.; BRAUN, H.; COELHO, F. S. Revisão: Manejo e controle de plantas daninhas na cultura da batata. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 59-65, 2011.

SILVA, M. C. C. et al. Índice SPAD em função de diferentes horários e posições no folíolo da batata sob fertilização nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 971-977, 2011.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, 1995.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: ARTMED, 2006. 719 p.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. Herbicidas inibidores da ALS. In: VIDAL, R. A.; MEROTTO JÚNIOR, A.(ed.). **Herbicidologia**. Porto Alegre: PALOTTI, 2001. p. 25-36.

TORRES, L. G. et al. Alterações nas características fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 581-587, 2012.

VIANA, R. G. et al. Características técnicas de pontas de pulverização LA-1JC e SR-1. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 211-218, 2007.

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

**FITOTOXICIDADE DE SUBDOSES DE TEMBOTRIONE EM SIMULAÇÃO
DE DERIVA NA CULTURA DA BATATA**

CAPÍTULO III

FITOTOXICIDADE DE SUBDOSES DE TEMBOTRIONE EM SIMULAÇÃO DE DERIVA NA CULTURA DA BATATA

RESUMO

Como toda cultura agrícola, a batata (*Solanum tuberosum* subs. *tuberosum*) está sujeita a uma série de fatores, bióticos e abióticos, que influenciam seu crescimento, desenvolvimento e produtividade. Considerando que muitas áreas de produção de batata estão localizadas em áreas adjacentes a lavouras de milho, a utilização de herbicidas nessa cultura pode afetar a cultura da batata por meio da deriva. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi determinar sintomas de fitotoxicidade e quantificar perdas em produtividade e qualidade de tubérculos de batata em resposta a subdoses do herbicida tembotrione, simulando deriva. O plantio foi realizado em 15 de abril de 2013 com a cultivar Asterix, no município de Perdizes-MG. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram três subdoses do herbicida (2,5%, 5% e 10% da dose máxima recomendada), um tratamento controle, o qual considerou-se 100% dessa dose, e uma testemunha sem aplicação de herbicida, aplicados em duas épocas distintas, aos 37 e 60 dias após o plantio. Os tratamentos foram pulverizados diretamente nas plantas de batata. A fitointoxicação na parte aérea foi avaliada aos 3, 13, 17 e 24 DAA (dias após a aplicação) segundo o vigor das plantas, com caracterização de sintomas e por meio de escala de notas de 0 a 10, sendo 0 plantas vigorosas e com ausência de sintomas e 10 indicando a morte das plantas. O comprimento médio de hastes foi determinado aos 24 DAA. Aos 17 DAA, determinou-se o teor de clorofila, a taxa de assimilação de CO₂, condutância estomática, taxa de transpiração e carbono interno da planta. A colheita foi realizada no dia 09 de agosto de 2013, na qual foi determinada a produtividade, o teor de sólidos solúveis e os tubérculos classificados em diâmetro e quanto a possíveis defeitos e distúrbios fisiológicos. As plantas apresentaram sintomas visuais de fitotoxicidade, com clorose e necrose das folhas diferindo da testemunha. O tratamento controle proporcionou menor comprimento de hastes comparado à testemunha e à subdose 2,5%. As taxas de assimilação de CO₂ e de transpiração foram maiores para a testemunha e as subdoses quando comparadas ao controle, enquanto o teor de carbono interno foi maior no controle. A produtividade foi afetada pelas doses de 10% e 100% da dose recomendada, principalmente na fase inicial de desenvolvimento das plantas. O herbicida tembotrione foi fitotóxico afetando o desenvolvimento vegetativo e produtividade de tubérculos em 10% e 100% da dose recomendada, porém não provocou anomalias fisiológicas nos tubérculos.

Palavras-chave: inibidores de carotenoides, qualidade de tubérculos, simulação de deriva, *Solanum tuberosum*

PHYTOTOXICITY OF TEMBOTRIONE SUB-DOSES IN SIMULATED DRIFT IN POTATO CROP

ABSTRACT

Potatoes (*Solanum tuberosum* subs. *tuberosum*) are affected by a large number of factors, both biotic and abiotic, that influence its growth, development and productivity. Since many areas of potato production are located close to maize fields, the use of herbicides in maize can affect potatoes by means of drift. Therefore, this study determined phytotoxicity symptoms and quantified losses in yield and quality of potato tubers in response to the sub-doses of herbicide tembotrione, simulating drift. Planting of cultivar Asterix was done on April 15, 2013, in the region of Perdizes - MG. The experimental design was randomized blocks with four replications. The treatments included three sub-doses of herbicide (2.5%, 5.0%, or 10.0% of the maximum recommended dose), control treatment, which was considered 100% of this dose, applied at two different times (37 and 60 days after planting), and an untreated treatment without herbicide. The treatments were sprayed directly on potato plants. Plant injury in shoots was evaluated at 3, 13, 17 and 24 DAA (days after application) according to plant vigor, with symptoms and characterization through a rating scale of 0 to 10, where 0 was vigorous plants and absence of symptoms and 10 indicated plant death. The average length of the stems was determined at 24 DAA. At 17 DAA, chlorophyll content, rate of CO₂ assimilation, stomatal conductance, transpiration rate and internal carbon from the plant were determined. Harvest was done on August 9, 2013, when productivity, soluble solids content and tubers ranking in diameter and for possible defects and physiological disorders were determined. The plants showed visual symptoms of phytotoxicity, with leaf and necrosis, unlike the untreated control. The full spray control treatment resulted in shorter stems in comparison to the untreated control and 2.5% sub-dose. Rates of CO₂ assimilation and transpiration were greater for the untreated control and sub-doses in comparison with the full spray control, while internal carbon content was greater in the full spray control. Productivity was affected by doses of 10% and 100% of the recommended dose, especially in the initial phase of plant development. The herbicide tembotrione was toxic on the vegetative growth and tuber yield in 10% and 100% of the recommended dose, but did not cause physiological disorders in the tubers.

KEYWORDS: carotenoid inhibitors, drift simulating, tuber quality, *Solanum tuberosum*

1 INTRODUÇÃO

Como toda cultura agrícola, a batata (*Solanum tuberosum* subs. *tuberosum*) está sujeita a uma série de fatores, bióticos e abióticos, que influenciam seu crescimento, desenvolvimento e produtividade econômica (FELIPE et al, 2006). Um desses fatores é a intoxicação por herbicidas não seletivos, por meio de deriva, contaminação de tanques de pulverização e resíduos de solo.

Apesar de o controle químico oferecer certas vantagens sobre os demais métodos de controle de plantas daninhas, deve-se ressaltar que este deve ser realizado com o uso de herbicidas seletivos para a cultura a ser manejada. Velini et al. (2000) definem seletividade como a capacidade de um determinado herbicida em eliminar as plantas daninhas encontradas em uma cultura sem reduzir-lhe a produtividade. Além disso, é preciso atentar-se à seletividade do herbicida quanto às culturas adjacentes ou evitar que ocorra deriva da pulverização realizada com o herbicida.

A produção das culturas pode ser afetada tanto de forma qualitativa quanto quantitativamente, sem que sintomas visíveis sejam observados em plantas expostas a subdoses de herbicidas em casos de ocorrência de deriva (FIGUEREDO et al., 2007).

Quando os ingredientes ativos de alguns herbicidas são transportados até uma área com batata e absorvidos por plantas jovens, podem causar má formação dos tubérculos. Também tem sido observado que quando ocorre deriva de alguns herbicidas, mesmo em quantidades pequenas, muitas vezes não são observados sintomas na folhagem, mas esses podem aparecer na cultura posterior de batata (TURKENSTEEN; MULDER, 2005). Esses sintomas podem variar de não emergência de plantas a má formação de hastes, folhas e tubérculos (NOVO et al., 2011).

As principais regiões produtoras de batata no Brasil também são regiões produtoras de milho, sendo até mesmo opção de rotação de culturas nas áreas cultivadas com batata. Neste sentido, é preciso atentar-se ao uso de herbicidas, para evitar a deriva de moléculas não seletivas à cultura da batata.

Entre os herbicidas registrados para a cultura do milho para controle de várias espécies de plantas infestantes, encontra-se o tembotrione, pertencente ao grupo químico benzoilciclohexanodiona, grupo das tricetonas. É um inibidor da enzima 4-hidroxifenilpiruvatodioxigenase (HPPD), que atua na síntese de carotenoides desenvolvendo uma intensa coloração esbranquiçada nas folhas das plantas daninhas,

evoluindo para uma seca e morte subsequente (KARAM et al., 2009). Esse branqueamento nas folhas é resultado da degradação oxidativa da clorofila e da membrana plasmática, pois a produção de carotenoides, que são os pigmentos que captam o excesso de luz proporcionando uma fotoproteção à clorofila, é inibida gerando extravasamento do conteúdo celular e causando a necrose dos tecidos (MITCHELL et al., 2001; GROSSMANN; EHRHARDT, 2007).

O tembotrione apresenta amplo espectro de controle de plantas daninhas, tendo registro para controle de espécies monocotiledôneas e dicotiledôneas. Devido à esse espectro de ação, é preciso ter cuidado com as espécies cultivadas. Já foram relatados casos de fitotoxicidade provocada por esse herbicida em lavouras de soja, devido ao uso de tanques de pulverização contaminados.

Koepke-Hill et al. (2010), utilizando herbicidas inibidores da HPPD, inclusive o tembotrione, para controle de plantas voluntárias de batata nas doses recomendadas, verificaram que esses herbicidas são prejudiciais à cultura da batata, causando fitotoxicidade e redução na produtividade.

Figueredo (2006) observou efeitos negativos da deriva simulada com subdoses do herbicida clomazone, que também inibe a síntese de carotenoides, sobre tomateiro, uma solanácea assim como a batata.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desenvolvimento de plantas de batata, produtividade e qualidade de tubérculos sob a aplicação de subdoses do herbicida tembotrione, simulando deriva.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em lavoura comercial de batata, situada no município de Perdizes-MG, coordenadas geográficas de Latitude 19°19'43,28"S e Longitude 47°23'44,19"O, situada a 1054 m de altitude. A cultivar utilizada nesse ensaio foi a Asterix, cujo ciclo é de 120 dias, destinada para processamento industrial, possui pele avermelhada e alto teor de sólidos solúveis. O plantio foi realizado no dia 15 de abril de 2013, em sistema de pivô central, de forma mecanizada, com espaçamento de 0,3 m entre plantas, 0,80 m entre linhas e profundidade de plantio de 0,12 m.

Os tratos culturais pertinentes à cultura, como adubação, amontoa e tratamentos fitossanitários, foram realizados de acordo com a necessidade da cultura e cronograma da fazenda.

O experimento foi conduzido em delineamento blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial $4 \times 2 + 1$, avaliando-se quatro subdoses do herbicida aplicadas em duas épocas diferentes e a testemunha sem aplicação, totalizando assim 36 parcelas.

Os tratamentos consistiram em aplicações de subdoses do herbicida comercial constituído de 420 g L⁻¹ de 2-[2-chloro-4-(methylsulfonyl)-3-[(2,2,2-trifluoroethoxy)methyl]-benzoyl]-1,3-cyclohexanedione, formulação suspensão concentrada. Considerou-se como dose padrão recomendada de 240 mL ha⁻¹ do produto comercial, de acordo com a bula do produto, sendo um dos tratamentos a aplicação de 100% da dose recomendada, o qual foi considerado o tratamento controle para comparação entre as demais subdoses aplicadas, as quais foram 10%, 5% e 2,5% da dose recomendada. A descrição das subdoses está na Tabela 1.

TABELA 1: Descrição das subdoses do herbicida. Perdizes-MG, 2013.

Produto	Dose recomendada	Tratamentos	
Soberan® (tembotrione)	240 mL ha ⁻¹ (100,8 g ia ha ⁻¹)	100%	240,0 mL ha ⁻¹ (100,8 g ia ha ⁻¹)
		10%	24,0 mL ha ⁻¹ (10,0 g ia ha ⁻¹)
		5%	12,0 mL ha ⁻¹ (5,0 g ia ha ⁻¹)
		2,5%	6,0 mL ha ⁻¹ (2,5 g ia ha ⁻¹)
Testemunha	Sem aplicação	0	0

Conforme recomendação do fabricante, foi adicionado adjuvante à base de éster metilado de soja na calda para aplicação na dose de 1,0 L ha⁻¹ e para cada subdose fez-se a mesma proporção do adjuvante (100%, 10%, 5% e 2,5% da recomendação).

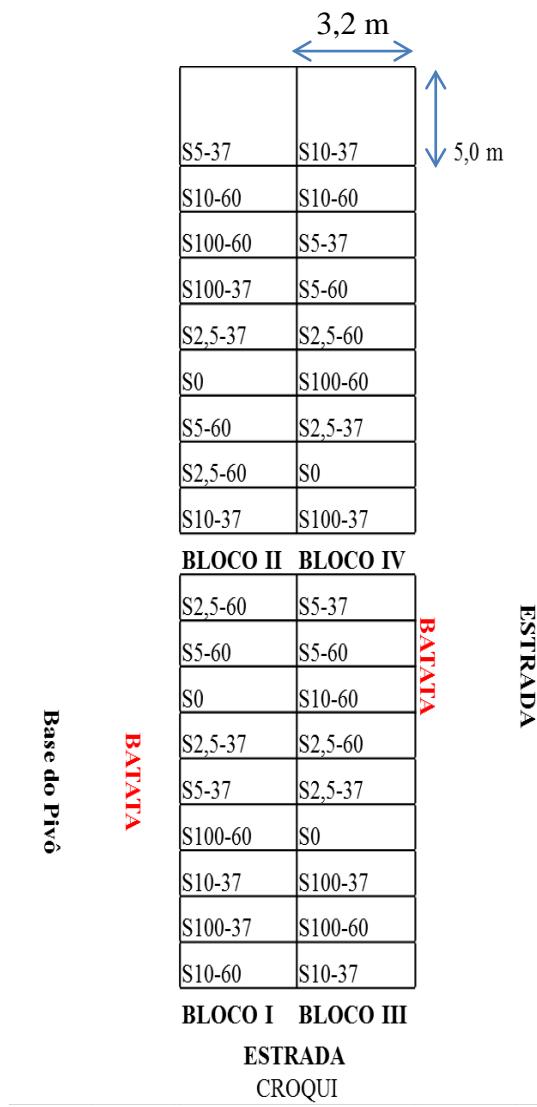
Essas aplicações foram realizadas em duas épocas diferentes 37 dias após o plantio (DAP) e 60 DAP, a fim de identificar o efeito das subdoses do tembotrione em dois estádios de desenvolvimento distintos, fase de tuberização e enchimento de tubérculos respectivamente.

As aplicações foram realizadas com pulverizador costal pressurizado a CO₂, com barra de 2,0 m, contendo 4 pontas de pulverização, espaçadas de 0,5 m. As pontas utilizadas foram do tipo jato plano duplo DGTJ 60 – 11002, caracterizada por produzir gotas médias, à fim de se evitar a deriva da calda entre as parcelas. O volume de calda aplicado foi de 200 L ha⁻¹, com pressão de 25,0 lib pol⁻².

Durante as aplicações foram observadas a temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, utilizando-se o termo-higro-anemômetro digital (Kestrel® 4000 Pocket Weather Tracker) para monitorar as condições ambientais, de modo a realizá-las em condições ideais. As médias da primeira aplicação, realizada dia 22 de maio de 2013, foram de T: 25,6° C, UR: 56,3%, Vento: 5,7 km h⁻¹. A segunda aplicação, realizada no dia 15 de junho de 2013 teve médias de T: 23,4° C, UR: 62,7%, Vento: 5,5 km h⁻¹.

As parcelas experimentais consistiram em 4 linhas, espaçadas de 0,8 m, de 5,0 metros de comprimento, totalizando 16,0 m². Sendo considerada a área útil da parcela para avaliações e colheita as duas linhas centrais, desprezando-se 0,5 m de cada lado, totalizando assim 6,4 m². O croqui do experimento está detalhado na figura 1.

Após a aplicação de 37 DAP, foram realizadas avaliações quanto ao desenvolvimento vegetativo e sintomatologia nas folhas e hastes. Avaliou-se a fitotoxicidade das subdoses do herbicida quanto à identificação de sintomas (clorose, necrose, descoloração, redução do porte, atrofia, deformações, etc.) e escala de notas quanto à evolução dos sintomas ao longo do tempo após a aplicação. Essas avaliações foram realizadas aos 3, 13, 17 e 24 DAA (dias após a aplicação), caracterizando parcelas subdivididas no tempo. Para a atribuição de notas de fitotoxicidade utilizou-se a escala descrita na Tabela 2. Quanto ao desenvolvimento vegetativo, avaliou-se o comprimento médio de hastes aos 24 DAA (dias após a aplicação), medindo com auxílio de uma fita métrica o comprimento da haste principal de 4 plantas por parcela.



Legenda:

SO = Testemunha

S2,5-37 = parcela com aplicação de 2,5% da dose recomendada de tembotrine aos 37 DAP.

S5-37 = parcela com aplicação de 5% da dose recomendada de tembotrifone aos 37 DAP.

S10-37 = parcela com aplicação de 10% da dose recomendada de tembotriptone aos 37 DAP.

S100-37 = parcela com aplicação de 100% da dose recomendada de tembotrifone aos 37 DAP.

S2,5-60 = parcela com aplicação de 2,5% da dose recomendada de tembotrine aos 60 DAP.

S5-60 = parcela com aplicação de 5% da dose recomendada de tembotrifone aos 60 DAP.

S10-60 = parcela com aplicação de 10% da dose recomendada de tembotripone aos 60 DAP.

S100-60 = parcela com aplicação de 100% da dose recomendada de tembotriione aos 60 DAP.

Figura 1: Croqui da área experimental. Perdizes – MG, 2013.

TABELA 2: Escala de notas visuais para determinação de fitotoxicidade causada por subdoses do herbicida tembotrione na cultura da batata. Perdizes-MG, 2013

Conceito	Notas	Observações
Leve	0-1	Sintomas fracos ou poucos evidentes. Nota zero: sem alterações nas plantas
Aceitável	2-3	Sintomas pronunciados, mas tolerados pela planta.
Preocupante	4-5	Sintomas maiores que na anterior, mas passíveis de recuperação, e sem expectativas de redução no rendimento econômico.
Alta	5-7	Danos irreversíveis , com previsão de redução no rendimento.
Muito alta	7-10	Danos irreversíveis muito severos, com previsão de redução drástica no rendimento. Nota 10 para morte da planta.

Fonte: Nascimento e Yamashita (2009), adaptado SBCPD (1995).

Tendo em vista que os efeitos dos herbicidas sobre as culturas não devem ser determinados apenas verificando os sintomas visuais de intoxicação, características importantes que podem ser alteradas pela ação dos herbicidas são os atributos fotossintéticos. Para verificar a influência do herbicida no metabolismo da cultura, avaliou-se aos 17 DAA essas características fisiológicas.

Determinou-se os teores de clorofila a, b e total com o equipamento ClorofiLOG CFL1030 (Falker, Brasil), determinando-se o índice ICF (Índice de Clorofila Falker), realizando-se duas medidas por planta (SILVA et al., 2011) uma no folíolo terminal da 4^a folha à partir do ápice (FS) e a outra no folíolo terminal da folha inferior (FI), em 3 plantas de cada parcela. O Índice ICF é calculado com base na absorção de luz em comprimentos de onda característicos da clorofila. O clorofiLOG mede a quantidade de radiação transmitida através das folhas, de forma óptica, em três diferentes comprimentos de onda (dois na faixa do vermelho, próximos aos picos de absorção da clorofila e um no infravermelho próximo). A combinação desses valores de transmitâncias nestes três comprimentos de onda gera o ICF – Índice de Clorofila Falker.

Determinou-se também a taxa de assimilação de CO₂, taxa de transpiração, condutância estomática, conteúdo de CO₂ interno com o aparelho medidor de trocas gasosas, portátil, Infra-Red Gas Analyser – IRGA, (modelo LCpro-SD da ADC, Inglaterra); acoplado a uma câmara foliar (6,25 cm² de área). As medidas foram realizadas 17DAA das 9:27 às 10:27h, no folíolo terminal da 4^a folha à partir do ápice, realizando-se três medições por folha, determinando a média por folha de 1 planta/parcela, para que as medidas fossem realizadas dentro de uma hora sem ter interferência de radiação solar e estado de hidratação das folhas. Quando a quarta folha estava afetada devido à ação do herbicida, não sendo possível efetuar a leitura pelo equipamento, efetuou-se a leitura na primeira folha metabolicamente ativa, logo abaixo desta.

Com estas análises é possível determinar a eficiência do uso da água e eficiência de carboxilação pela planta. Características que podem ser afetadas quando as plantas estão intoxicadas por herbicidas.

Após a aplicação de 60 DAP não foi possível realizar as avaliações quanto ao desenvolvimento vegetativo e sintomatologia nas folhas e hastes, pois houve a incidência de bacteriose na área, acelerando a senescência das plantas e dificultando a caracterização de sintomas nas folhas, bem como a determinação do comprimento de hastes e dos atributos fotossintéticos.

A colheita foi realizada no dia 09 de agosto de 2013, de forma semimecanizada, na qual utilizou-se uma arrancadora e fez-se o recolhimento manual em sacos por parcelas. Foi determinada a produtividade pesando-se a produção de cada parcela, a classificação por calibre (Tabela 3) e a separação daqueles tubérculos que apresentaram distúrbios fisiológicos, inviáveis para comercialização.

TABELA 3: Classificação de tubérculos de batata de acordo com o padrão do CEAGESP (Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo). Perdizes-MG, 2013.

Nome atribuído	Classe	Calibre
Florão	I	>70 mm de diâmetro
Especial	II	>42 até 70mm de diâmetro
Primeira	III	>33 até 42mm de diâmetro
Segunda	IV	>28mm a 33mm de diâmetro
Pirulito	V	Até 28mm de diâmetro

Fonte: modificado de CEAGESP

Os tubérculos inviáveis para comercialização foram separados em tubérculos com embonecamento, rachaduras, outros defeitos e descarte.

Os tubérculos da Classe II – Especial, são considerados os tubérculos mais valorizados comercialmente. Uma amostra dessa classe (3,630 kg) foi direcionada para análise de sólidos solúveis, medida que indica o maior teor de carboidratos acumulados nos tubérculos. Essa análise é essencial para tubérculos que serão processados na indústria de batata pré-frita congelada. Ela é feita em uma balança densimétrica, onde a amostra é colocada imersa em um tanque com água e determina-se o peso dessa amostra dentro do tanque, com o volume deslocado e depois é feita a conversão em porcentagem de sólidos. Nesse caso, foram consideradas 3 repetições de cada tratamento.

Todos os dados foram primeiramente submetidos aos testes de normalidade dos resíduos de “Shapiro e Wilk” e “Komolgorov-Smirnov” (0,01), de homogeneidade das variâncias “Levene” (0,01) e de aditividade dos blocos por “Tukey” (0,01). Os dados de fitotoxicidade foram transformados para $\sqrt{x+0,5}$ a fim de atender às pressuposições.

Em seguida, procedeu-se à análise de variância pelo teste F a 0,05 de significância. Constatada diferença significativa, as médias das variáveis em estudo foram comparadas pelo teste Dunnet a 0,05 de significância para comparar as subdoses (2,5; 5,0 e 10%) e o controle (100% da dose recomendada) com a testemunha, bem como as subdoses e a testemunha com o tratamento controle (100% da dose recomendada). Além disso, foi feita análise de regressão entre os tratamentos de 0 a 10% da dose e teste de Tukey a 0,05 de significância para analisar as diferenças entre as subdoses de 2,5% a 10% da dose, quando não houve ajuste aos modelos de regressão.

Para o fator época de avaliação, nas avaliações de fitotoxicidade as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 0,05 de significância.

Para as análises de produtividade e classificação de tubérculos considerou-se o fatorial 4 x 2 +1, comparando entre as diferentes épocas aplicadas. Foram feitos testes de normalidade dos resíduos de “Shapiro e Wilk” (0,01), de homogeneidade das variâncias por “Levene” (0,01) e de aditividade dos blocos por “Tukey” (0,01). Não foi necessária a transformação de dados. Em seguida, procedeu-se à análise de variância pelo teste F a 0,05 de significância e, constatada diferença significativa, as médias de produtividades foram comparadas pelo teste Dunnet a 0,05 de significância para comparar as subdoses (2,5; 5,0 e 10%) e o controle (100% da dose recomendada) com a testemunha; as subdoses (2,5; 5,0 e 10%) e a testemunha com o tratamento controle na época 1 (100% da dose recomendada aplicada 37 DAP) e as subdoses (2,5; 5,0 e 10%) e a testemunha comparados ao tratamento controle na época 2 (100% da dose recomendada aplicada 60 DAP). Além disso, foi feita análise de regressão entre os tratamentos de 0 a 10% da dose e teste de Tukey a 0,05 de significância para analisar entre as subdoses de 2,5% a 10% da dose, quando não houve ajuste aos modelos de regressão e para comparações dentro do fator “época de aplicação”.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das avaliações realizadas quanto ao desenvolvimento vegetativo após a primeira aplicação das subdoses de tembotrione (aos 37 dias após o plantio) estão descritos a seguir.

3.1. Fitotoxicidade

As avaliações de fitotoxicidade, comparando as subdoses de tembotrione com a testemunha (sem aplicação) e com o tratamento controle (100% da dose) foram significativas (teste F a 0,05 de significância) desde a primeira avaliação, aos 3 dias após aplicação (3 DAA), conforme a Tabela 4.

TABELA 4: Notas de fitotoxicidade em diferentes dias de avaliações após a aplicação de subdoses do herbicida tembotrione simulando deriva em batata, cv. Asterix. Perdizes-MG, 2013.

Dose (%)	3 DAA		13 DAA		17 DAA		24 DAA	
	Test ¹	Controle ²	Test	Controle	Test	Controle	Test	Controle
	0,00	1,63	0,00	6,75	0,00	7,38	0,00	7,00
Test	-----	0,00 *	-----	0,00 *	-----	0,00 *	-----	0,00 *
2,5	1,25 *	1,25 ns	4,88 *	4,88 ns	5,63 *	5,63 ns	5,63 *	5,63 ns
5	1,50 *	1,50 ns	5,00 *	5,00 ns	5,50 *	5,50 ns	5,75 *	5,75 ns
10	1,63 *	1,63 ns	6,00 *	6,00 ns	7,00 *	7,00 ns	6,38 *	6,38 ns
Controle	1,63 *	-----	6,75 *	-----	7,38 *	-----	7,00 *	-----

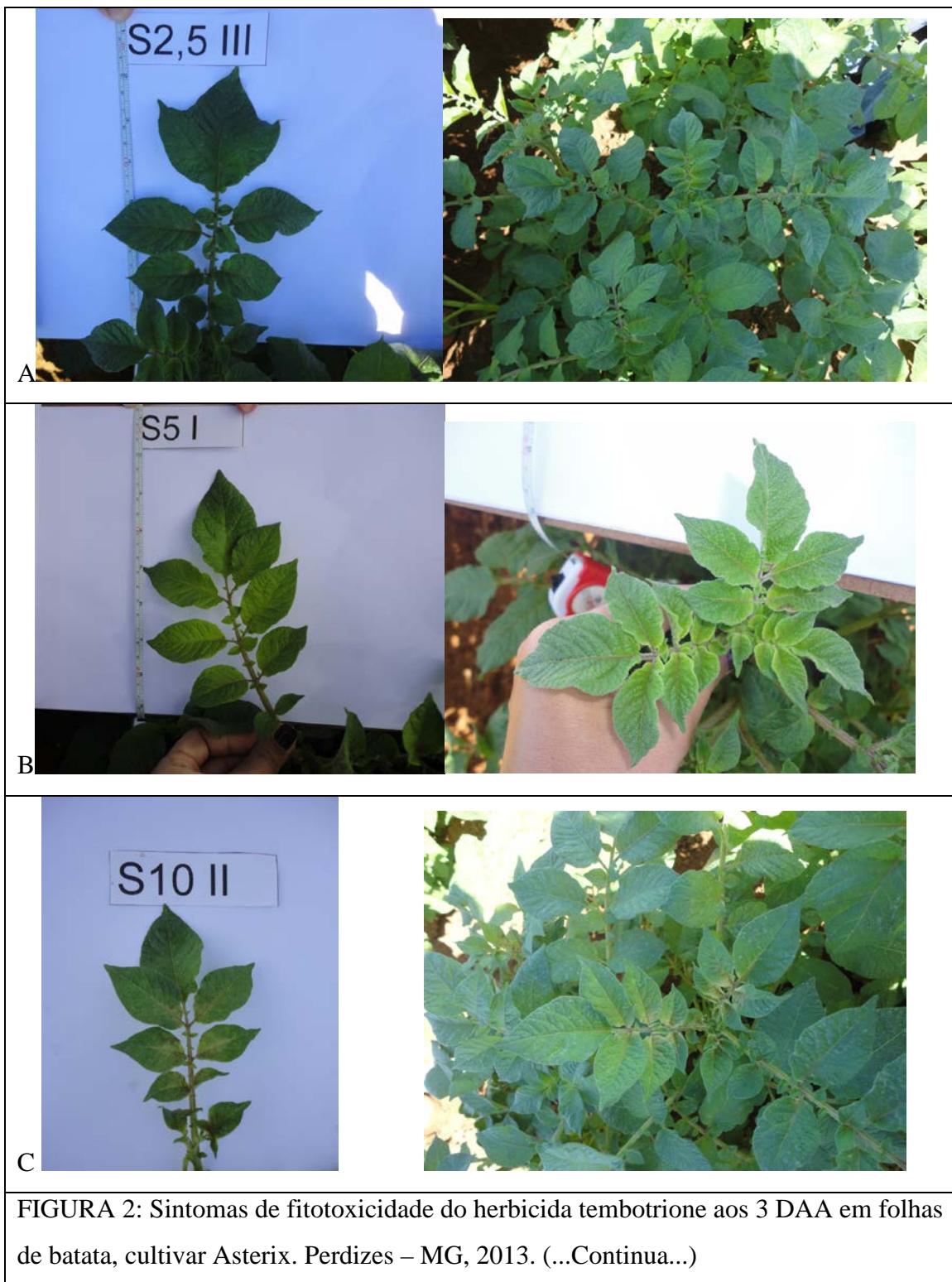
*, ns: significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05.

¹ Test.: 0% da dose; ² Controle: 100% da dose; DAA: dias após aplicação.

Observa-se que desde o primeiro dia de avaliação as subdoses e o tratamento controle diferiram da testemunha e somente a testemunha diferiu do tratamento controle quanto aos sintomas de fitotoxicidade avaliados dentro de cada dia.

Os sintomas apresentados iniciaram-se com amarelecimento da base dos folíolos nos pontos de crescimento, ou seja, no ápice das hastes, sintomas considerados leves (Figura 2). A partir de 13 DAA, esses sintomas foram evoluindo com clorose mais acentuada dos folíolos das folhas mais novas, sendo verificada, nas doses maiores, fitotoxicidade considerada alta, que prejudica o rendimento da cultura (Figura 3). No tratamento controle, com 100% da dose recomendada ($100,8 \text{ g ia ha}^{-1}$), os folíolos tiveram clorose acentuada seguida de necrose das folhas superiores até o final das avaliações (Figura 3).

Houve interação significativa (teste F a 0,05 de significância) entre as doses aplicadas de tembotrione e a época avaliada, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão, sendo possível através dos gráficos das Figuras 4 e 5 verificar a evolução dos sintomas descritos de acordo com as doses.



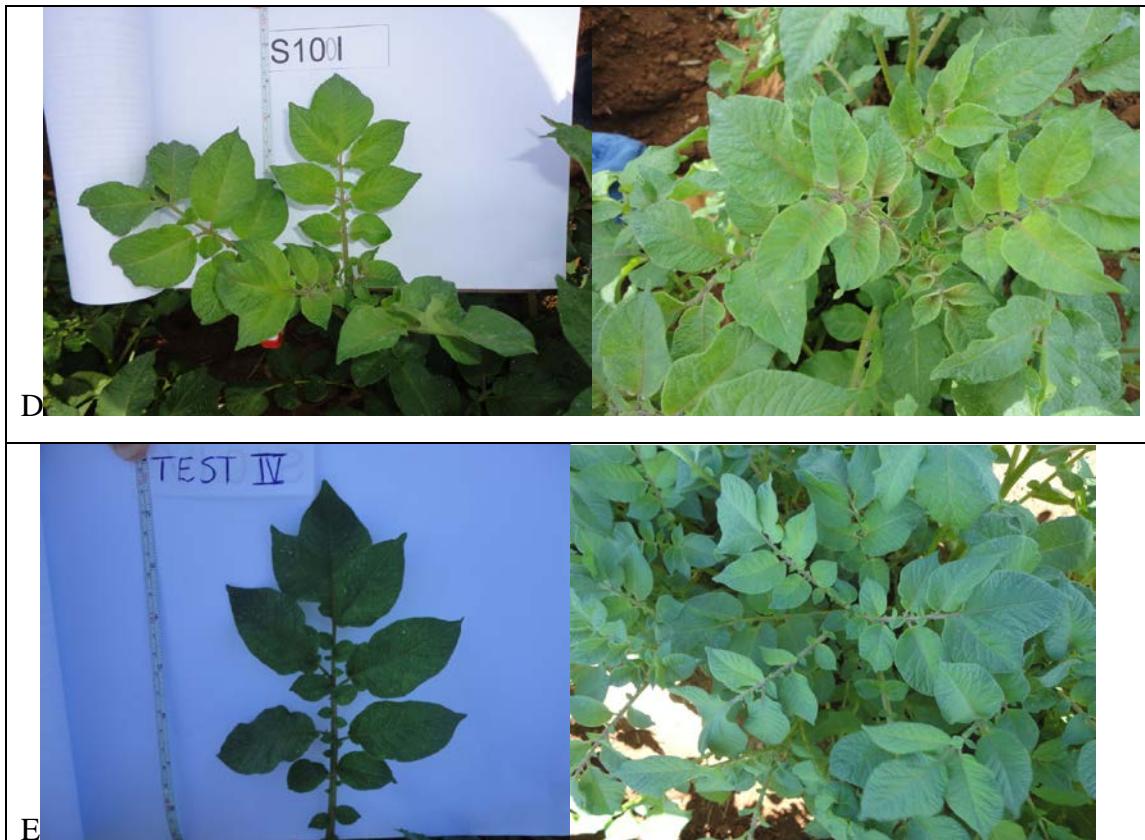


FIGURA 2, Cont.: Sintomas de fitotoxicidade do herbicida tembotrione aos 3 DAA em folhas de batata, cultivar Asterix. Perdizes – MG, 2013. A) Amarelecimento na base dos folíolos de batata com 2,5% da dose recomendada ($2,5 \text{ g ia ha}^{-1}$); B) Amarelecimento na base dos folíolos de batata com 5,0% da dose recomendada ($5,0 \text{ g ia ha}^{-1}$); C) Amarelecimento na base dos folíolos de batata com 10,0% da dose recomendada ($10,0 \text{ g ia ha}^{-1}$); D) Amarelecimento na base dos folíolos de batata com 100% da dose recomendada ($100,8 \text{ g ia ha}^{-1}$); E) Folhas de batata sem sintomas de fitotoxicidade no tratamento sem aplicação do tembotrione (testemunha).

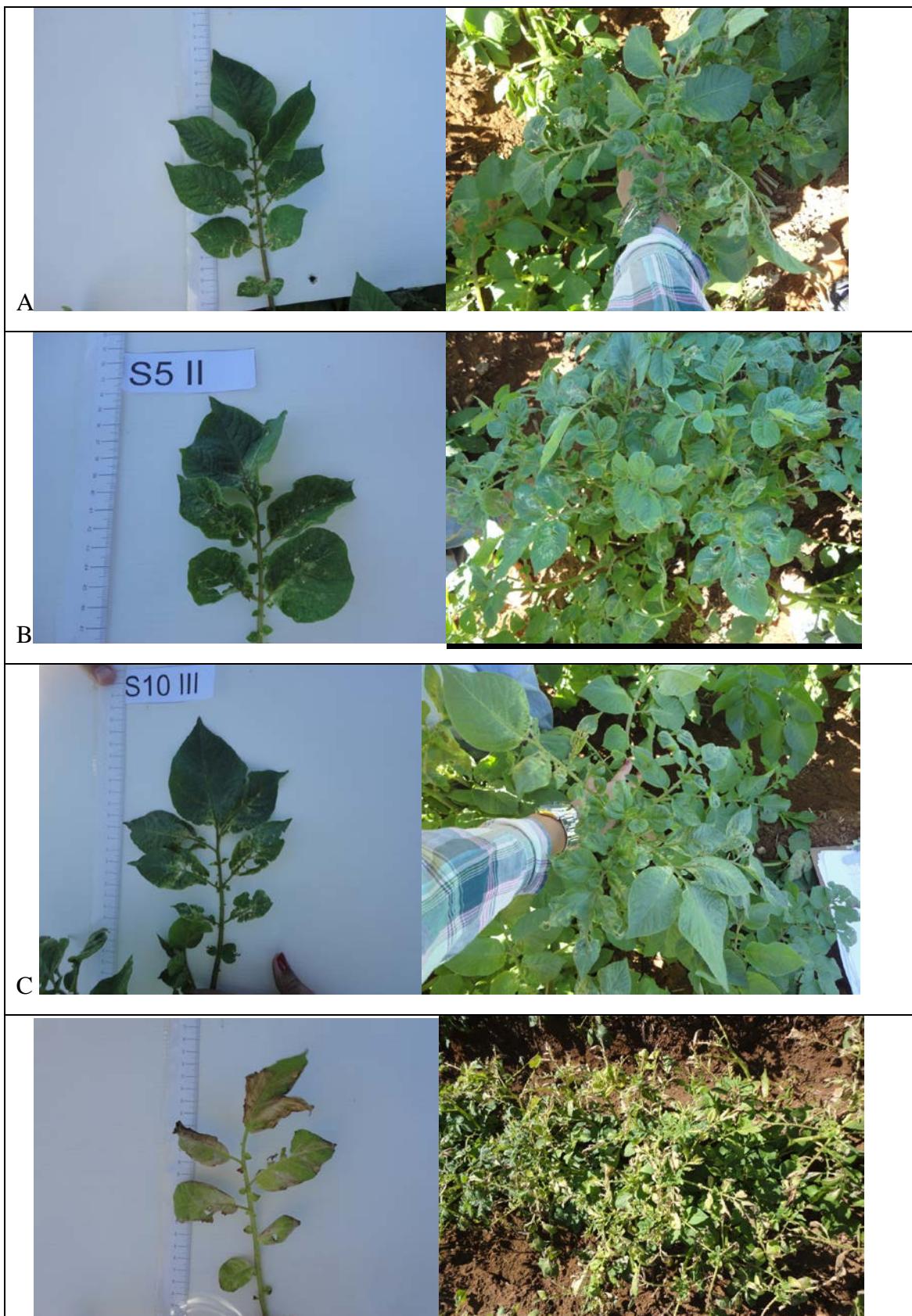
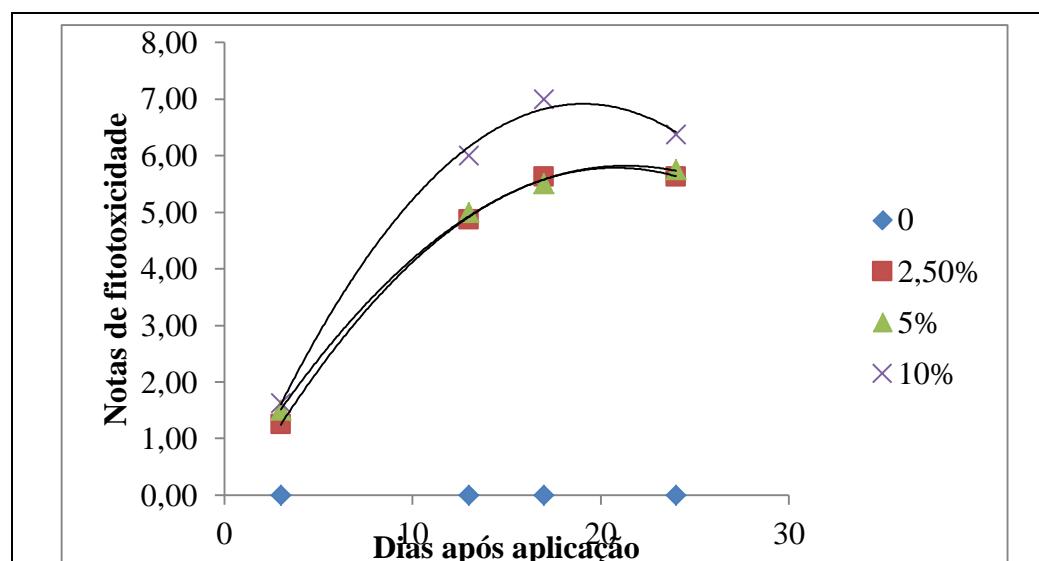
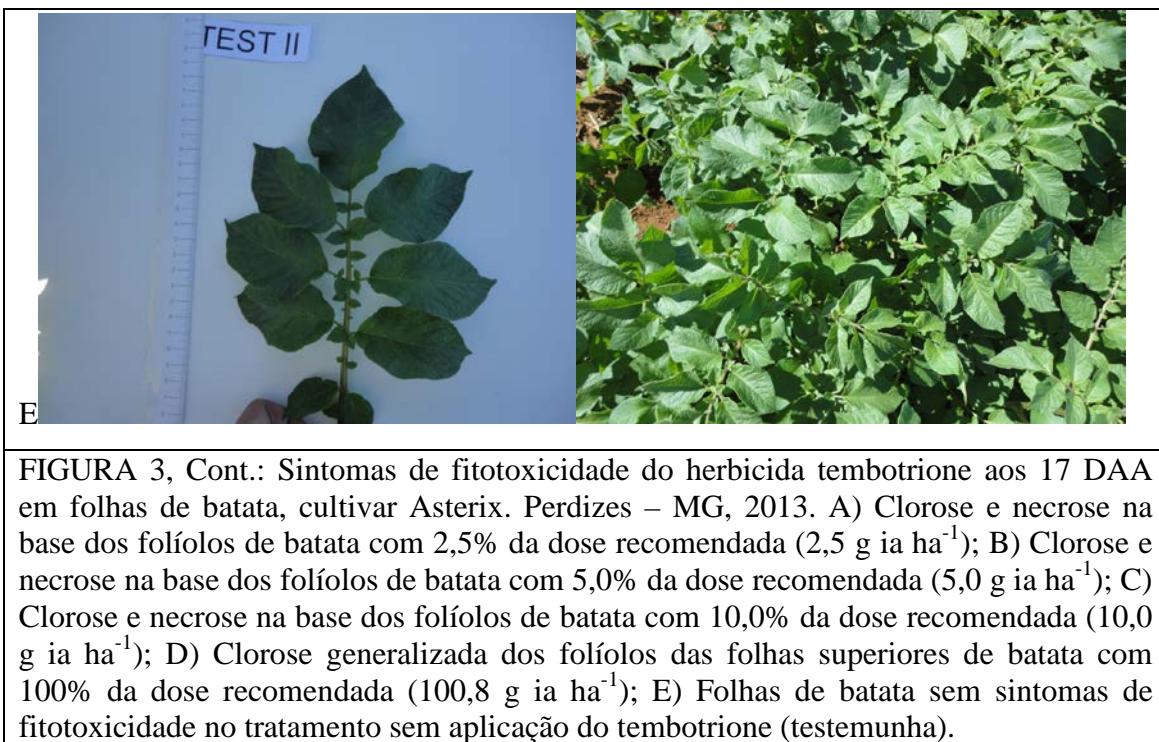


FIGURA 3: Sintomas de fitotoxicidade do herbicida tembotrione aos 17 DAA em folhas de batata, cultivar Asterix. Perdizes – MG, 2013. (...continua...)

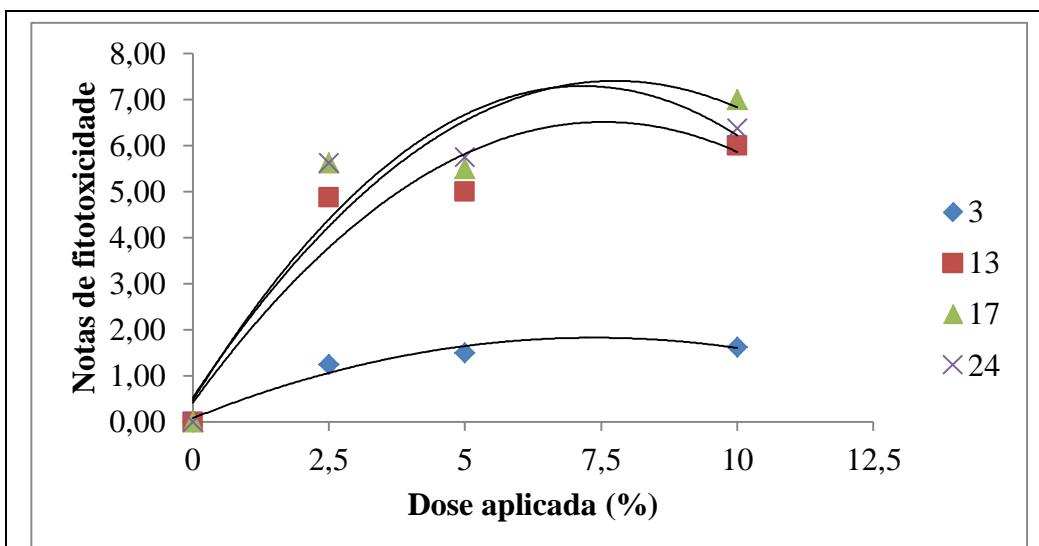


Dose 2,5% (2,5 g ia ha⁻¹): $y=-0,0205x^2+0,7841x-0,5656$; $R^2=99,7\%$

Dose 5,0% (5,0 g ia ha⁻¹): $y=-0,0128x^2+0,5468x-0,0146$; $R^2=99,9\%$

Dose 10,0% (10,0 g ia ha⁻¹): $y=-0,0144x^2+0,597x-0,4177$; $R^2=99,9\%$

FIGURA 4: Evolução de sintomas de fitotoxicidade de subdoses do herbicida tembotrione à cultura da batata ao longo dos dias avaliados, cultivar Asterix. Perdizes-MG, 2013.



3 DAA: $y = -0,0323x^2 + 0,4757x + 0,0716$; $R^2 = 96,2\%$

13 DAA: $y = -0,1073x^2 + 1,6182x + 0,4091$; $R^2 = 90,6\%$

17 DAA: $y = -0,1145x^2 + 1,7764x + 0,5182$; $R^2 = 88,6\%$

24 DAA: $y = -0,1332x^2 + 1,908x + 0,4602$; $R^2 = 90,2\%$

FIGURA 5: Fitotoxicidade de subdoses do herbicida tembotrione à cultura da batata, cultivar Asterix, comparando as subdoses em cada dia de avaliação. Perdizes-MG, 2013.

De acordo com os gráficos apresentados, é possível verificar que o momento no qual as plantas apresentaram sintomas mais expressivos de fitotoxicidade foi em torno de 20 dias após a aplicação (com 2,5% da dose, aos 19 dias; com 5,0% aos 21 dias; com 10% aos 20 dias), sendo considerada “alta” fitotoxicidade causada pelas subdoses, ficando acima da nota 5, a qual caracteriza danos irreversíveis, com previsão de redução no rendimento (com 2,5% da dose aos 19 dias, apresentou nota de 6,9; com 5% da dose aos 21 dias apresentou nota de 5,8 e com 10% da dose aos 20 dias apresentou nota de 5,8).

Analizando as doses dentro de cada dia de avaliação, verificamos que aos 3 dias após aplicação (DAA) a subdose que apresentou maior fitotoxicidade foi de 7,4% da dose recomendada com nota de 1,8, considerada fitotoxicidade “leve”, com sintomas fracos ou pouco evidentes. Aos 13 DAA, os sintomas evoluíram e a dose que proporcionou maior fitotoxicidade foi 7,5% da dose recomendada, com nota de 6,5, caracterizando “alta” fitotoxicidade, com danos irreversíveis e redução no rendimento. Aos 17 e 24 DAA, as doses que causaram sintomas mais expressivos de fitotoxicidade foram 7,8% e 7,2%, respectivamente, com nota de 7,4 e 7,3, Fitotoxicidade considerada

“muito alta” com danos irreversíveis muito severos, com previsão de redução drástica no rendimento.

Nota-se que nenhuma das doses aplicadas proporcionou a morte das plantas, nem mesmo o tratamento controle, com 100% da dose recomendada ($100,8 \text{ g ia ha}^{-1}$). Nesse tratamento, inclusive, houve emissão de folhas novas nas plantas afetadas.

É importante salientar que herbicidas que atuam na síntese de carotenoides, como o tembotrione, não têm efeito sobre carotenoides previamente sintetizados pela planta. Devido a isso os tecidos não se mostram brancos imediatamente, e, devido à necessidade de renovação dos carotenoides, desenvolvem manchas cloróticas que progridem para necrose (SILVA et al, 2007).

3.2. Comprimento médio de hastes

O herbicida tembotrione foi fitotóxico à cultura da batata afetando o crescimento com 100% da dose recomendada. Fato que pode ser demonstrado pela redução no crescimento das hastes (Tabela 5), o qual foi afetado com 100% da dose em comparação à testemunha. Entre as subdoses (2,5; 5,0 e 10% da dose recomendada) não houve diferença estatística. Entretanto, nota-se que a subdose de 2,5% da dose recomendada diferiu da dose recomendada, considerada tratamento controle, assim como a testemunha.

TABELA 5: Comprimento médio de hastes de batata, cv. Asterix, 24 dias após aplicação de subdoses do herbicida tembotrione. Perdizes-MG, 2013.

Dose (%)	Dose (g ia ha ⁻¹)	Comprimento médio hastes			
		Testemunha ¹	Controle ²		
		48,97	33,91		
Testemunha	0,00	-----	48,97	*	
2,5%	2,5	44,03 ns a	44,03	* a	
5,0%	5,0	42,88 ns a	42,88	ns a	
10,0%	10,0	42,13 ns a	42,13	ns a	
Controle	100,8	33,91 *	-----		

¹, ns: significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05 Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05. ¹ Testemunha: 0% da dose; ² Controle: 100% da dose.

Diante do exposto, o crescimento das plantas pode ter sido afetado pelo herbicida tembotrione, na dose recomendada ($100,8 \text{ g ia ha}^{-1}$) devido à elevada fitotoxicidade proporcionada pelo mesmo, tendo seu metabolismo reduzido, com folhas cloróticas e necrosadas.

Koepke-Hill et al. (2010) verificaram com a dose de $92,0 \text{ g ia ha}^{-1}$ de tembotrione e $105,0 \text{ g ia ha}^{-1}$ de mesotriione, ambos inibidores da HPPD, sintomas de fitotoxicidade, com o branqueamento das regiões meristemáticas na primeira semana após aplicação seguido de clorose e necrose, além de nanismo generalizado das plantas, e consequente redução na produtividade.

Dan et al. (2010), avaliando a seletividade de tembotrione à cultura do milheto *Pennisetum glaucum*, verificaram que houve redução na altura das plantas diretamente proporcional ao aumento das doses testadas de $63, 126, 189$ e 252 g ia ha^{-1} , com redução média abaixo de 10% na altura, não afetando o rendimento da cultura.

Segundo Silva et al. (2007), o crescimento da planta intoxicada por herbicidas inibidores de carotenoides continua por alguns dias, contudo, devido à falta de clorofila, a planta para de crescer e começam a surgir as manchas necróticas. Essa paralisação no crescimento está indiretamente relacionada à influência desses herbicidas na fotossíntese e consequente redução de fotoassimilados.

3.3. Alterações fisiológicas na cultura da batata

Como o tembotrione é um herbicida que atua na síntese de carotenoides, pigmentos antenas que captam o excesso de luz evitando a fotoxidação das moléculas de clorofila na planta, viu-se a necessidade de analisar os atributos fotossintéticos das plantas tratadas com subdoses desse herbicida, a fim de verificar a interferência de baixas concentrações da molécula no metabolismo da planta.

a. Índice de clorofila:

As análises de índices de clorofila na quarta folha superior e na folha inferior não apresentaram diferenças significativas entre as subdoses de tembotrione testadas aos 17 dias após aplicação. Contudo, nas parcelas onde foi aplicado 100% da dose recomendada ($100,8 \text{ g ia ha}^{-1}$ de tembotrione) o equipamento utilizado ClorofiLog não obteve leitura nas folhas superiores, tendo em vista que estas estavam completamente

cloróticas, ou até mesmo necrosadas, não apresentando níveis de clorofila suficientes para leitura (Tabela 6).

TABELA 6: Índices de clorofila (ICF) de folhas de batata, cultivar Asterix, 17 dias após aplicação de subdoses do herbicida tembotrione. Perdizes-MG, 2013.

Dose	Dose (g ia ha ⁻¹)	Clorofila (ICF)					
		Folha Superior (FS)			Folha inferior (FI)		
		Clorofila	Clorofila	Clorofila	Clorofila	Clorofila	Clorofila
		Total	a	b	Total	a	b
Testemunha	0,00	43,65	32,11	11,54	41,84	31,10	10,73
2,5%	2,5	43,17	31,72	11,45	38,35	28,98	9,38
5,0%	5,0	40,63	29,65	10,98	42,76	31,44	11,31
10,0%	10,0	33,27	24,30	8,97	39,42	29,51	9,92
Controle*	100,8*	-----	-----	-----	46,29	32,85	13,44
		Teste F	ns	ns	ns	ns	ns
		CV (%)	19,87	18,43	24,85	8,51	6,02
							15,82

ns: não significativo pelo teste de F a 0,05.

* O tratamento controle, 100% da dose recomendada, não apresentou leitura de clorofila na folha superior no clorofiLOG.

b. Atributos fotossintéticos

Houve diferença significativa (teste F a 0,05 de significância) entre as subdoses e a testemunha e entre o tratamento controle quanto à taxa de assimilação de CO₂ (A), taxa de transpiração (E) e conteúdo de CO₂ interno (Ci) (Tabelas 7 e 8), porém não houve diferença significativa quanto à condutância estomática das folhas de batata.

Analizando a eficiência instantânea no uso da água (A/E) e a eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci), verificou-se que o herbicida tembotrione nas maiores doses (10% e 100%) diferiram significativamente da testemunha, contudo não houve diferença significativa entre as subdoses, mas o tratamento controle (100% da dose) foi inferior a todos os demais tratamentos, conforme a Tabela 9.

TABELA 7: Taxa de assimilação de CO₂ (A), conteúdo de CO₂ interno (Ci) de folhas de batata, cv. Asterix, 17 DAA de subdoses do herbicida tembotrione. Perdizes-MG, 2013.

Dose (%)	Dose (g ia ha ⁻¹)	Atributos Fotossintéticos			
		A (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)		Ci (vpm)	
		Testemunha ¹	Controle ²	Testemunha	Controle
		14,61	0,47	271,7	357,8
Testemunha	0,00	-----	14,61 *	-----	271,7 *
2,5%	2,5	11,67 ns a	11,67 *	287,0 ns a	287,0 *
5,0%	5,0	12,67 ns a	12,67 *	297,2 ns a	297,2 *
10,0%	10,0	8,24 ns a	8,24 *	315,8 ns a	315,8 ns
Controle	100,8	0,47 *	-----	357,8 *	-----

*, ns: significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05.

¹ Testemunha: 0%; ² Controle: 100% da dose. Letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 0,05.

TABELA 8: Taxa de evaporação de folhas de batata, cv. Asterix, 17 DAA de subdoses do herbicida tembotrione. Perdizes-MG, 2013.

Dose (%)	Dose (g ia ha ⁻¹)	Atributos Fotossintéticos			
		E (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)			
		Testemunha ¹	Controle ²	Testemunha	Controle
				2,93	1,57
Testemunha	0,00	-----	-----	2,93 *	-----
2,5%	2,5	2,96 ns a	-----	2,96 *	-----
5,0%	5,0	3,09 ns a	-----	3,09 *	-----
10,0%	10,0	2,89 ns a	-----	2,89 *	-----
Controle	100,8	1,57 *	-----	-----	-----

*, ns: significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05.

¹ Testemunha: 0%; ² Controle: 100% da dose. Letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 0,05.

TABELA 9: Eficiência instantânea no uso da água (EUA) e de carboxilação (EIC) de folhas de batata, cv. Asterix, 17 DAA de subdoses do herbicida tembotrione. Perdizes-MG, 2013.

Dose (%)	Dose (g ia ha ⁻¹)	Atributos Fotossintéticos			
		EUA		EIC	
		Testemunha ¹	Controle ²	Testemunha	Controle
		4,948	0,303	0,058	0,00
Testemunha	0,00	-----	4,948 *	-----	0,058 *
2,5%	2,5	3,873 ns a	3,873 *	0,043 ns	0,043 *
5,0%	5,0	4,105 ns a	4,105 *	0,043 ns	0,043 *
10,0%	10,0	2,633 * a	2,633 *	0,030 ns	0,030 ns
Controle	100,8	0,303 *	-----	0,000 *	0,000

*, ns: significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05.

¹ Testemunha: 0%; ² Controle: 100% da dose. Letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 0,05.

A taxa de assimilação de CO₂ foi menor e o conteúdo de CO₂ interno foi maior no tratamento controle em comparação com as demais subdoses e a testemunha, demonstrando insuficiência na capacidade de carboxilação pela planta e consequentemente redução na taxa fotossintética. Fato comprovado pela baixa eficiência instantânea de carboxilação nesse tratamento. Com isso, podemos inferir que a interferência do herbicida na síntese de carotenoides afeta a fisiologia da planta, reduzindo a produção de fotoassimilados. Esse herbicida tem ação sistêmica na planta, afetando o metabolismo da mesma.

As clorofilas podem sofrer os danos causados pelas espécies reativas de oxigênio (ROS) (GAN, 2007), reduzindo ainda mais a atividade fotossintética. À medida que aumenta o estresse oxidativo em função do tempo de exposição à luz, os tilacoides são danificados e perdem sua capacidade de realizar fotossíntese, devido a danos na maquinaria fotossintética (TRIPATHY et al., 2007).

O influxo de CO₂ foi comprometido, sendo um dos fatores a formação de óxido nítrico por meio das ROS. Esse óxido estimula a síntese e atividade do ácido abscísico (ABA) – hormônio que atua regulando o fechamento estomático (MATA; LAMATTINA, 2001). Também pode ocorrer o fechamento estomático pela ação das ROS, favorecendo o acúmulo de cálcio no citossol (TAIZ; ZEIGER, 2006), ou ainda devido à peroxidação das membranas celulares das células adjacentes aos estômatos.

A taxa de transpiração foi maior nas subdoses e na testemunha em comparação com o tratamento controle, apesar de não ter havido diferenças significativas na condutância estomática.

A fotossíntese e, consequentemente, a respiração dependem de constante fluxo de CO₂ e O₂ entrando e saindo da célula; esse fluxo livre se dá em função da concentração desses elementos nos espaços intercelulares dependentes da abertura estomática – controladora majoritária do fluxo de gases (MESSINGER et al., 2006). Esta, por sua vez, é em grande parte controlada pela turgescência tanto das células-guarda (que controlam a abertura dos estômatos) como das células epidérmicas dos estômatos (HUMBLE; HSIAO, 1970). Durante a abertura dos estômatos, ocorre a perda de água por transpiração. Havendo maior assimilação de CO₂ e redução no CO₂ interno, há maior necessidade de captação de CO₂ atmosférico pela planta, necessitando maior tempo de abertura de estômatos e consequentemente maior taxa de transpiração pela planta.

Segundo Torres et al (2012), a água é perdida por transpiração apenas quando os estômatos estão abertos. O controle da abertura e o fechamento dos estômatos dependem de uma série de fatores, como radiação solar, nível de CO₂ no mesofilo, umidade relativa (déficit de pressão de vapor do ar), potencial hídrico e outros de menor magnitude, como vento, substâncias de crescimento e ritmos endógenos próprios de cada espécie.

3.4 Produtividade e classificação de tubérculos

A exposição de plantas de batata, cultivar Asterix, ao herbicida tembotrione afetou a produtividade total e das classes Especial e Primeira significativamente (teste F a 0,05 de significância). Somente a subdose 10% da dose recomendada e 100% da dose aplicados aos 37 DAP diferiram da testemunha quanto à produtividade total. Quando se compara o tratamento controle aplicado aos 37 DAP, a testemunha e as subdoses 2,5% e 5,0% diferiram, assim como 100% da dose aplicada aos 60 DAP. Comparando o tratamento controle aplicado aos 60 DAP, somente a aplicação da mesma dose aos 37 DAP diferiu do mesmo.

TABELA 10: Produtividade Total de tubérculos de batata, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de tembotrione em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio. Perdizes-MG, 2013.

Dose (%)	Dose (g ia. ha ⁻¹)	Época	Produtividade total (kg ha ⁻¹)			
			Testemunha	Controle	Época	Controle
				1	2	Época 2
Testemunha	0,00		25.171,88	11.502,60	20.289,06	
2,5	2,5	1	22.439,45	ns	22.439,45	*
5	5,0	1	24.369,79	ns	24.369,79	*
10	10,0	1	16.644,53	*	16.644,53	ns
Controle	100,8	1	11.502,60	*	----	11.502,60
2,5	2,5	2	27.929,69	ns	----	27.929,69
5	5,0	2	26.312,50	ns	----	26.312,50
10	10,0	2	26.195,31	ns	----	26.195,31
Controle	100,8	2	20.289,06	ns	20.289,06	*

*, ns: Significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.¹Testemunha: 0%; ² Controle: 100% da dose.

A produtividade total foi influenciada pela época que as plantas foram expostas às subdoses do herbicida, não havendo interação entre os fatores dose e época aplicada e não houve efeito de dose (Tabela 11).

TABELA 11: Influência da época de exposição quanto ao estádio de desenvolvimento de plantas de batata ao herbicida tembotrione na produtividade total de tubérculos, cultivar Asterix. Perdizes-MG, 2013.

Época de aplicação (dias após o plantio)	Produtividade Total (kg ha ⁻¹)
37 DAP- Crescimento vegetativo e Tuberização	22.156,41 b
60 DAP – Enchimento de tubérculos	26.402,34 a
CV%	16,00

Letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Quando as plantas foram expostas ao herbicida aos 60 dias após o plantio a produtividade foi menos afetada com diferença de 4.245,93 kg ha⁻¹ comparado à aplicação aos 37 dias após o plantio, devido à maior área fotossinteticamente ativa.

A produtividade de tubérculos da classe Especial diferiu entre o tratamento controle aplicado aos 37 DAP e a testemunha e este tratamento diferiu também das subdoses 2,5% e 5,0% (Tabela 12).

TABELA 12: Produtividade de tubérculos de batata classe Especial, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de tembotrione em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio. Perdizes-MG, 2013

Dose (%)	Dose (g ia ha ⁻¹)	Época	Produtividade Classe Especial (kg ha ⁻¹)			
			Testemunha	Controle	Época 1	Controle
				4.750,00		Época 2
Testemunha ¹	0,00		-----	13.259,76	*	13.259,76 ns
2,5	2,5	1	10.703,12 ns	10.703,12	*	-----
5	5,0	1	14.286,45 ns	14.286,45	*	-----
10	10,0	1	8.201,17 ns	8.201,17	ns	-----
Controle ²	100,8	1	4.750,00 *	-----		4.750,00 ns
2,5	2,5	2	15.251,95 ns	-----		15.251,95 ns
5	5,0	2	14.144,53 ns	-----		14.144,53 ns
10	10,0	2	16.570,31 ns	-----		16.570,31 ns
Controle	100,8	2	10.630,86 ns	10.630,86 ns		-----

*, ns: Significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ¹Testemunha: 0%; ² Controle: 100% da dose.

A produtividade de tubérculos classificados como Especial foi influenciada pela época que as plantas foram expostas às subdoses do herbicida, não havendo interação entre os fatores dose e época aplicada e não houve efeito de dose (Tabela 13).

TABELA 13: Influência da época de exposição quanto ao estádio de desenvolvimento de plantas de batata ao herbicida tembotrione na produtividade de tubérculos classe Especial, cultivar Asterix. Perdizes-MG, 2013.

Época de aplicação (dias após o plantio)	Produtividade Especial (kg ha ⁻¹)
37 DAP- Crescimento vegetativo e Tuberização	11.612,63 b
60 DAP – Enchimento de tubérculos	14.806,64 a
CV%	26,95

Letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Quando as plantas foram expostas ao herbicida aos 60 dias após o plantio, a produtividade de tubérculos de maior valor comercial, classe Especial, foi menos afetada com diferença de 3.194,0 kg ha⁻¹ comparado à aplicação aos 37 dias após o plantio.

A produtividade de tubérculos classificados como classe Primeira foi influenciada pelas subdoses do herbicida e pela época de aplicação, porém não houve interação entre os fatores (Tabelas 14 e 15 e Figura 6).

TABELA 14: Produtividade de tubérculos de batata classe Primeira, cultivar Asterix, sob a aplicação de subdoses de tembotrione em duas épocas diferentes, aos 37 e 60 dias após o plantio. Perdizes-MG, 2013.

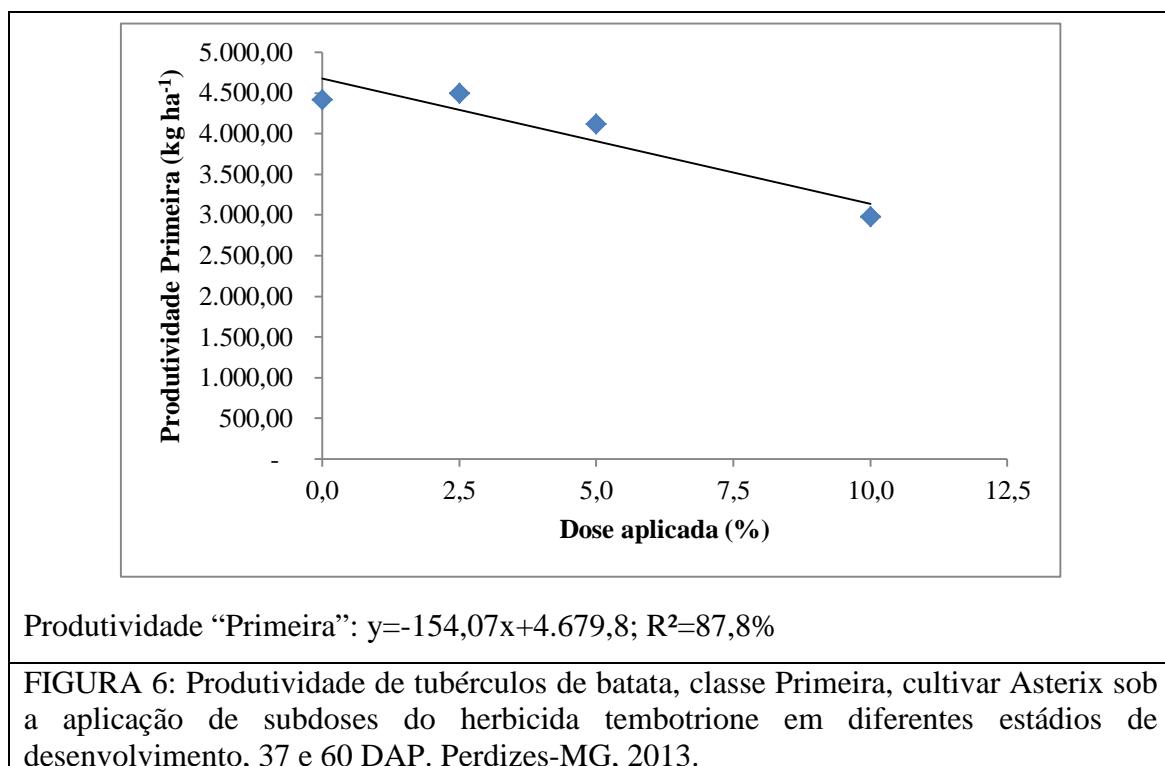
Dose (%)	Dose (g ia ha ⁻¹)	Época	Produtividade Classe Primeira (kg ha ⁻¹)			
			Testemunha	Controle	Época 1	Controle Época 2
				4.419,92		
Testemunha ¹	0,00		-----	4.419,92	*	4.419,92 ns
2,5	2,5	1	4.224,61 ns	4.224,61	*	-----
5	5,0	1	3.604,17 ns	3.604,17	ns	-----
10	10,0	1	2.207,30 *	2.207,30	ns	-----
Controle ²	100,8	1	1.773,44 *	-----		1.773,44 ns
2,5	2,5	2	4.773,44 ns	-----		4.773,44 ns
5	5,0	2	4.640,62 ns	-----		4.640,62 ns
10	10,0	2	3.755,86 ns	-----		3.755,86 ns
Controle	100,8	2	3.521,48 ns	3.521,48	ns	-----

*, ns: Significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância. ¹Testemunha: 0%; ²Controle: 100% da dose.

TABELA 15: Influência da época de exposição quanto ao estádio de desenvolvimento de plantas de batata ao herbicida tembotrione na produtividade de tubérculos classe Primeira, cultivar Asterix. Perdizes-MG, 2013.

Época de aplicação (dias após o plantio)	Produtividade Primeira (kg ha ⁻¹)
37 DAP- Crescimento vegetativo e Tuberização	3.613,93 b
60 DAP – Enchimento de tubérculos	4.397,46 a
CV%	23,77

Letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.



Somente 10% e 100% da dose recomendada aplicadas aos 37DAP diferiram da testemunha quanto à produtividade da classe Primeira. Observa-se que aos 60 dias após o plantio, a produtividade de batata classe Primeira foi menos afetada que aos 37 DAP. Além disso, há um decréscimo na produtividade dessa classe com o aumento das subdoses do herbicida.

Não houve diferenças significativas entre as médias de produtividade de tubérculos rachados, embonecados, com outros defeitos e descarte. Isso indica que esse herbicida não promove distúrbios fisiológicos em tubérculos da cultivar Asterix.

Analizando os dados de produtividade verifica-se que a exposição das plantas de batata à molécula tembotrione na fase de crescimento vegetativo e tuberização nas maiores concentrações (10% e 100%) foram aquelas que mais afetaram a produtividade. Essa exposição na fase de enchimento de tubérculos (a partir de 60 DAP) não foi tão prejudicada. Dessa forma, podemos inferir que caso ocorra deriva desse herbicida em plantas de batata, dependendo da concentração do ativo, as plantas poderão ter seu desenvolvimento e produtividade afetados se ocorrer na fase inicial de desenvolvimento da cultura.

Koepke-Hill et al. (2010) observaram redução na produtividade de batata, cultivar Superior, com a dose de tembotrione de 92,0 g ia ha⁻¹ e de mesotrione a 105,0 g ia ha⁻¹ em comparação à testemunha.

Em milheto, Dan et al. (2010) observaram redução na produção de grãos com as doses de 189,0 e 252,0 g ia ha⁻¹, principalmente quando aplicadas na fase inicial de desenvolvimento da cultura.

Relacionando com os sintomas que esse herbicida provocou na parte aérea das plantas de batata, bem como sua interferência na fisiologia da planta, a redução de produtividade está diretamente ligada a essas características, uma vez que afetou a fotossíntese e produção de fotoassimilados, além de ter menor eficiência no uso da água, reduzindo o enchimento de tubérculos. Além disso, as plantas que foram expostas a 100% da dose perderam muitas folhas que contribuiriam para a produção de fotoassimilados e tiveram um gasto energético muito grande para emitir folhas novas e isso afetou a produtividade.

3.5. Teor de sólidos solúveis

O teor de sólidos solúveis não diferiu estatisticamente entre a testemunha, as subdoses de tembotrione e o tratamento controle (100% da dose recomendada), indicando que o herbicida não interferiu no acúmulo de sólidos solúveis na cultivar Asterix, ficando em média de 18,3%.

4 CONCLUSÃO

- O herbicida tembotrione foi fitotóxico à cultura da batata, cultivar Asterix em concentrações maiores e quando a exposição à molécula ocorre na fase inicial de desenvolvimento da mesma.
- O crescimento, a fisiologia da planta e a produtividade da batata foram afetados pela exposição ao herbicida tembotrione. Contudo, o herbicida não provocou anomalias fisiológicas nos tubérculos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CEAGESP. **Classificação da batata in natura**. Disponível em: <www.ceagesp.gov.br/produtor/técnicas/classific/fc_batata>. Acesso em: 10 jul. 2013.
- DAN, H. A. et al. Seletividade do herbicida tembotrione à cultura do milheto. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 793-799, 2010.
- FELIPE, J. M.; MARTINS, D.; COSTA, N. V. Seletividade de herbicidas aplicadas em pré-emergência sobre cultivares de batata. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 615-621, 2006.
- FIGUEREDO, S. S. **Efeitos de doses reduzidas dos herbicidas glyphosate e clomazone sobre a cultura do tomateiro (*Lycopersicon esculentum*)**. 2006. 60 f. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.
- FIGUEREDO, S. S. et al. Influência de doses reduzidas do glyphosate no tomateiro (*Lycopersicon esculentum*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 849-857, 2007.
- GAN, S. **Senescence processes in plants**. Ames: Blackwell Publishing, 2007. p. 322.
- GROSSMANN, K.; EHRHARDT, T. On the mechanism of action and selectivity of the corn herbicide topramezone: a new inhibitor of 4- hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. **Pest Management Science**, London, v. 63, n. 5, p. 429-439, 2007.
- HUMBLE, G. D.; HSIAO, T. C. Light-dependent influx and efflux of potassium of guard cells during stomatal opening and closing. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 46, n. 3, p. 483-487, 1970.
- KARAM, D. et al. **Características do herbicida tembotrione na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 6 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 129)
- KOEPKE-HILL, R. M. et al. Herbicide combinations for control of volunteer potato. **Weed Technology**, Lawrence, v. 24, n. 2, p. 91-94, 2010.
- MATA, C. G.; LAMATTINA, L. Nitric oxide induces estomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 126, n. 3, p. 1196-1204, 2001.
- MESSINGER, S. M. et al. Evidence for involvement of photosynthetic processes in the stomatal response to CO₂. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 140, n. 2, p. 771-778, 2006.
- MITCHELL, G. D. W. et al. Mesotrione: A new selective herbicide for use in maize. **Pest Management Science**, London, v. 57, n. 1, p. 120-128, 2001.

NASCIMENTO, E. R.; YAMASHITA, O. M. Desenvolvimento inicial de olerícolas cultivadas em solos contaminados com resíduos de 2,4-D + picloram. **SEMINA: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, 2009. p.47-54.

NOVO, M. C. S. S. et al. **Efeito de sulfonilureias no desenvolvimento da parte aérea e na tuberização da batata**. Campinas: INSTITUTO AGRONÔMICO, 2011. 46 p. (Boletim Científico IAC 16)

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. Herbicidas: Classificação e Mecanismos de Ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 83-148.

SILVA, M. C. et al. Índice SPAD em função de diferentes horários e posições no folíolo da batata sob fertilização nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 971-977, 2011.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: SBCPD, 1995.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719 p.

TORRES, L. G. et al. Alterações nas características fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 581-587, 2012.

TRIPATHY, B. C. et al. Impairment of the photosynthetic apparatus by oxidative stress induced by photosensitization reaction of protoporphyrin IX. **Biochimica et Biophysica Acta-Bioenergetics**, Amsterdam, v. 1767, n. 6, p. 860-868, 2007.

TURKENSTEEN, L. J.; MULDER, A. Herbicide injury: remaining non-parasitic effects. In: DELLEMAN, J. et al. **Potato diseases**: diseases, pests and effects. Cardapeel Wereld/NIVAP, 2005. p. 242-244.

VELINI, E. D. et al. Avaliação da seletividade da mistura de oxyfluorfen e ametryne, aplicada em pré ou pós-emergência, a dez variedades de cana-de-açúcar (cana-planta). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 18, n. 1, p. 123-134, 2000.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os herbicidas estudados, chlorimuron ethyl e tembotrione, foram fitotóxicos à cultura da batata.

O chlorimuron ethyl, assim como já relatado sobre outras sulfonilureias, promoveu desordens fisiológicas na planta em maiores concentrações, provocando rachaduras nos tubérculos.

O tembotrione foi fitotóxico em maiores concentrações provocando clorose, branqueamento e necrose das folhas de batata. Isso prejudicou a produção por reduzir a área fotossinteticamente ativa da planta e ainda por afetar características fisiológicas inerentes à fotossíntese. Esse herbicida não provocou desordens fisiológicas nos tubérculos quando ocorre deriva do mesmo em áreas de batata.

Esse trabalho não permite avaliar o efeito desses herbicidas quanto ao resíduo dos mesmos nos solos cultivados, para tanto, outros estudos devem ser realizados.