

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Luan Mateus Silva Donato

Influência de métodos de controle no manejo de *Cyperus rotundus*

Montes Claros

2020

Luan Mateus Silva Donato

Influência de métodos de controle no manejo de *Cyperus rotundus*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Leonardo David Tuffi Santos.

Montes Claros
Setembro de 2020

Donato, Luan Mateus Silva

D677i
2020

Influência de métodos de controle no manejo de *Cyperus rotundus* / Luan Mateus Silva Donato. Montes Claros, 2020.
57 f. : il.

Tese (doutorado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador(a): Leonardo David Tuffi Santos.

Banca examinadora: Aroldo Ferreira Lopes Machado, Evander Alves Ferreira, José Barbosa dos Santos, Rodinei Facco Pegoraro, Leonardo David Tuffi Santos.

Inclui referências: f. 15-21; 35-39; 54-56.

1. Tubérculo (Botânica). 2. Fotossíntese. 3. Fluorescência. 4. Erva daninha. I. Tuffi Santos, Leonardo David. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 58



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO / TESE

Aos 29 dias do mês de setembro de 2020, às 08:00 horas, sob a Presidência do Professor Leonardo David Tuffi Santos, D. Sc. (Orientador - ICA/UFMG) e com a participação dos Professores Rodinei Facco Pegoraro, D. Sc. (ICA/UFMG), Evander Alves Ferreira, D. Sc. (ICA/UFMG), José Barbosa dos Santos, D. Sc. (UFVJM) e Aroldo Ferreira Lopes Machado, D. SC. (UFRRJ), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de tese de Luan Mateus Silva Donato, aluno do Curso de Doutorado em Produção Vegetal. O resultado da defesa de tese intitulada: "Influência de métodos de controle no manejo de *Cyperus rotundus*" sendo o aluno considerado (aprovado/reprovado) **APROVADO**. E, para constar, eu, Professor Leonardo David Tuffi Santos, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: O aluno somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 68 do regulamento do Curso de Doutorado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

Art. 68 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, no mínimo 3 (três) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou, 4 (quatro) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.

Montes Claros, 29 de setembro de 2020.

Aroldo Ferreira Lopes Machado
Membro

Rodinei Facco Pegoraro
Membro

Evander Alves Ferreira
Membro

José Barbosa dos Santos
Membro

Leonardo David Tuffi Santos
Orientador



Documento assinado eletronicamente por Leonardo David Tuffi Santos, Diretor(a), em 30/09/2020, às 10:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por Rodinei Facco Pegoraro, Coordenador(a), em 30/09/2020,



às 16:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Jose Barbosa dos Santos, Usuário Externo, em 30/09/2020, às 16:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Evander Alves Ferreira, Professor do Magistério Superior - Visitante, em 01/10/2020, às 11:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Aroldo Ferreira Lopes Machado, Usuário Externo, em 05/10/2020, às 10:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 0285978 e o código CRC 1E02CE3D.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por guiar os meus passos e ser a minha fortaleza durante toda a caminhada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA-UFMG) pela formação, infraestrutura e realização do trabalho.

Ao professor Leonardo David Tuffi Santos, pela orientação e amizade durante este percurso.

Aos professores Aroldo Ferreira, Evander Alves, José Barbosa e Rodinei Pegoraro, pela participação na banca de defesa e pelas contribuições para melhoria do trabalho.

Aos funcionários da Fazenda Experimental Professor Hamilton de Abreu Navarro – FEHAN, pelo apoio na condução do experimento de campo – em especial, a equipe da horta.

A todos os amigos do Laboratório de Biologia e Manejo de Plantas Daninhas, que foram fundamentais durante a condução dos trabalhos e o período de convivência.

Aos órgãos de fomento FAPEMIG, CNPq e CAPES, pelo apoio financeiro e pelas bolsas que possibilitaram a realização deste trabalho.

Aos amigos do Grupo de Oração Universitário Divina Misericórdia, que foram, em muitos momentos, meu sustento e me aproximaram de Deus dentro da Universidade.

E em especial a minha família, na pessoa de minha mãe, Jandira, que sempre foi a maior apoiadora para realização deste objetivo. Um destaque ao meu pai, Paulo Donato (*in memoriam*), que sempre demonstrou orgulho em ter um “Filho Doutor”.

A todos que, de algum modo, colaboraram para a conclusão desta importante etapa em minha vida, meu muito obrigado!

Influência de métodos de controle no manejo de *Cyperus rotundus*

RESUMO

Cyperus rotundus L. apresenta-se entre as plantas daninhas mais invasivas e de difícil manejo no mundo, podendo causar grandes perdas em áreas agrícolas. A sua forma de propagação, principalmente vegetativa via tubérculos, é um dos principais entraves no manejo na horticultura. Assim, tem-se buscado métodos mais eficazes de manejo dessa espécie que visem à redução na densidade populacional e na viabilidade de tubérculos. Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito de métodos de controle no manejo de *C. rotundus*. Foram conduzidos dois experimentos. No primeiro, avaliou-se o efeito da disponibilidade luminosa no ambiente de cultivo e a aplicação de doses de halosulfuron methyl no manejo de *C. rotundus*. O experimento foi arranjado em esquema fatorial 2 x 6, sendo o primeiro fator dois níveis de disponibilidade luminosa – 1180,39 e 411,62 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiação fotossinteticamente ativa, e o segundo, doses de 28,13 a 140,62 g ha^{-1} de halosulfuron methyl. No segundo experimento, foi avaliada a interferência de plantas de cobertura sobre a população de *C. rotundus*. O experimento foi montado em delineamento de blocos casualizados, consistindo em três culturas de cobertura: *Urochloa ruziziensis* L.; *Canavalia ensiformis* L. e *Crotalaria juncea* L.; capina manual com enxada; aplicação de herbicida halosulfuron methyl e pousio. Como resultados do primeiro experimento, observou-se que doses superiores a 70,30 g ha^{-1} de halosulfuron methyl controlaram *C. rotundus*, independentemente da disponibilidade de luz testada. Eficiência do fotossistema II, acúmulo de amido e formação de biomassa diminuíram com o aumento nas doses de halosulfuron methyl. Em ambiente sombreado, a dose de 28,13 g ha^{-1} foi suficiente para redução de 96,74% na massa seca remanescente e 91,33 % no número de tubérculos de *C. rotundus*. A diminuição da intensidade luminosa associada ao uso do halosulfuron methyl representou prática efetiva no controle de *C. rotundus*. No segundo experimento o cultivo de *U. ruziziensis* manteve os valores de densidade de manifestações epígeas semelhantes à população inicial. A aplicação de halosulfuron methyl reduziu a densidade e a massa seca de manifestações epígeas de *C. rotundus*, enquanto a capina manual proporcionou maior número e massa fresca de tubérculos, sendo superior à população inicial. As culturas de cobertura *U. ruziziensis*, *C. ensiformis* e *C. juncea* apresentaram resultados satisfatórios no manejo da propagação vegetativa de *C. rotundus*. Plantas de *C. rotundus*, em convivência com *U. ruziziensis*, *C. juncea* e *C. ensiformis*, apresentaram redução nos valores de eficiência fotoquímica do FSII e aumento nos valores da taxa de transporte de elétrons. Manejos que possibilitem rápido crescimento da planta de interesse, quer seja a cultura a ser colhida ou apenas uma cultura em sucessão como cobertura do solo e que promovam o sombreamento, reduz a infestação de *C. rotundus*.

Palavras-chave: Culturas de cobertura. Controle químico. Fluorescência da clorofila. Manejo de plantas daninhas. Restrição luminosa.

Influence of control methods in the management of *Cyperus rotundus*

ABSTRACT

Cyperus rotundus is one of the most invasive and difficult to manage weeds globally and can cause significant agricultural area losses. Its form of propagation, mainly vegetative via tubers, is one of the main obstacles in horticultural management. Thus, more efficient methods of handling this species have been sought to reduce the density and viability of tubers. Given this, the objective was to evaluate the effect of different control methods in the management of *C. rotundus*. Two experiments were conducted. In the first, the impact of light availability in the culture environment and the application of halosulfuron methyl doses in the management of *C. rotundus* were evaluated. The experiment was arranged in a 2 × 6 factorial design; the first factor was two levels of light availability: photosynthetically active radiation at 1180.4 and 411.6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and the second factor was halosulfuron methyl doses from 28.13 to 140.62 g ha^{-1} . In the second trial, the interference of cover crops on the *C. rotundus* population was evaluated. The experiment was set up in a randomized block design consisting of three cover crops: *Urochloa ruziziensis*, *Canavalia ensiformis*, and *Crotalaria juncea*; manual weeding with a hoe; application of halosulfuron methyl herbicide and fallow. As a result of the first experiment, it was observed that doses greater than 70.30 g ha^{-1} of halosulfuron methyl were efficient to control *C. rotundus*, regardless of light availability. The efficiency of the photosystem II, starch accumulation, and biomass formation decreased with increasing doses of halosulfuron methyl. In a shaded environment, a dose of 28.13 g ha^{-1} was sufficient to reduce 96.74% of the dry mass and 91.33% of the number of *C. rotundus* tubers. The decrease in light intensity associated with the use of halosulfuron methyl represents an effective practice for the control of *C. rotundus*. In the second experiment, the cultivation of *U. ruziziensis* maintained the values of density of epigeal manifestations similar to the initial population. The application of halosulfuron methyl reduced the density and dry mass of epigeal manifestations of *C. rotundus*, while manual weeding provided a more significant number and fresh mass of tubers, being higher than the initial population. The cover crops *U. ruziziensis*, *C. ensiformis* and *C. juncea* present satisfactory results in the management of vegetative propagation of *C. rotundus*. Plants of *C. rotundus* living with *U. ruziziensis*, *C. juncea* and *C. ensiformis* show a reduction in the photochemical efficiency values of the FSII and an increase in the electron transport rate values. Managements that allow rapid growth of the plant of interest, whether it is the crop to be harvested or just a crop in succession as ground cover and that promote shading, reduces the infestation of *C. rotundus*.

Keywords: chemical control. chlorophyll fluorescence. cover crops. light restriction. weed management.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	9
2.1 Objetivo Geral	9
2.2 Objetivos Específicos	9
3 REVISÃO DE LITERATURA	10
3.1 Caracterização de <i>Cyperus rotundus</i> L.	10
3.2 Manejo cultural de <i>C. rotundus</i>	10
3.3 Cobertura vegetal como prática de manejo cultural de plantas daninhas	11
3.4 Controle químico de <i>Cyperus rotundus</i>	13
3.5 Efeitos da restrição luminosa sobre as plantas daninhas e ação dos herbicidas	13
3.6 Manejo de plantas daninhas em áreas de cultivos olerícolas	14
3.7 Referências	15
4 ARTIGOS	21
4.1 Artigo 1 - Restrição luminosa associada ao halosulfuron methyl apresenta eficiência na redução no número e na massa de tubérculos de <i>Cyperus rotundus</i>	21
4.2 Artigo 2 – Coberturas vegetais são eficientes no manejo de <i>Cyperus rotundus</i>?	39
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57

1 INTRODUÇÃO

A tiririca (*Cyperus rotundus* L.) é uma planta daninha altamente invasiva, problema em várias áreas no mundo e no Brasil. Quando em altos níveis de infestação, promovem grandes perdas na produtividade das culturas agrícolas, podendo até mesmo inviabilizar os cultivos.

Essa é uma planta perene que se multiplica rapidamente, além da via seminífera, por extensa rede de tubérculos subterrâneos que apresentam forte domínio apical (NELSON; RENNER, 2002; WEBSTER et al., 2008). Dessa forma, em cultivos com intenso revolvimento do solo – como em área de cultivos hortícolas, a propagação e a infestação são favorecidas. O controle dessa espécie daninha por práticas mecânicas e físicas não é recomendado, devido a sua facilidade de propagação pela via vegetativa, elevada disponibilidade de reserva nos tubérculos e por seu crescimento intrusivo.

Práticas que reduzam a densidade e a viabilidade de tubérculos de *C. rotundus* são mais eficazes no manejo, uma vez que os tubérculos podem permanecer dormentes no solo por longos períodos.

O manejo adequado do solo é uma prática importante para reduzir a propagação e a viabilidade de tubérculos de *C. rotundus*. A rotação com cultivos de plantas competitivas ou que propiciam melhoria nas características físico-químicas do solo pode ser alternativa para supressão da infestação de *C. rotundus*. As espécies de cobertura promovem alterações na quantidade e na qualidade de luz disponível abaixo do dossel e reduções na temperatura do solo, interferindo na germinação e na emergência das espécies daninhas (MACHADO et al., 2005; YASIN et al., 2019). Do mesmo modo, cultivo sobre palhada, além de promover melhor conservação do solo, influencia diretamente na população de tiririca e demais espécies daninhas.

Aliado ao manejo cultural, o controle químico apresenta-se como uma estratégia bem-sucedida no controle de *C. rotundus*. Dentre os herbicidas registrados no Brasil e amplamente empregados no mundo, está o halosulfuron methyl – herbicida de absorção foliar, que atua na inibição da enzima acetolactate synthase (ALS). Sendo a ALS importante na biossíntese dos aminoácidos isoleucina, leucina e valina, a sua inibição interrompe a síntese proteica, que, por sua vez, interfere na síntese do DNA e no crescimento celular, causando, nas plantas sensíveis, sintomas cloróticos, definhamento e morte (NTOANIDOU et al., 2016).

O conhecimento aprofundado sobre a interferência de cultivos de plantas de cobertura e de níveis de sombreamento sobre plantas daninhas pode direcionar para práticas culturais que favoreçam o manejo racional e eficiente, em termos de redução da infestação de *C. rotundus*. Aliado a isso, a eficiência do herbicida aplicado em condições de baixa intensidade luminosa deve ser estudada, uma vez que características morfofisiológicas, crescimento e desenvolvimento das espécies daninhas são alterados pelo ambiente em que estão inseridas, podendo interferir diretamente na ação do herbicida aplicado via foliar.

Em campo, a limitação da luz apresenta-se como uma ferramenta de grande importância no manejo integrado de *C. rotundus*. A restrição luminosa pode implicar reduções na propagação vegetativa e aumento na taxa de controle químico dessa espécie daninha (SANTOS JUNIOR et al., 2013). Desse modo, manejos que possibilitem rápido crescimento da cultura de interesse, morte das plantas daninhas e esgotamento das suas reservas poderão favorecer a redução da infestação de *C. rotundus*.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Propor técnicas baseadas na restrição luminosa e no uso de herbicidas para manejo da *C. rotundus*.

2.2 Objetivos Específicos

Avaliar o efeito da luz e a aplicação halosulfuron methyl na resposta fisiológica de plantas de *C. rotundus* e em seu manejo.

Avaliar a interferência de plantas de cobertura sobre aspectos fisiológicos de plantas *C. rotundus* e em sua dinâmica populacional.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Caracterização de *Cyperus rotundus* L.

Cyperus rotundus está entre as 10 plantas daninhas mais problemáticas ao longo do mundo (WANG; WAN, 2020), podendo ocasionar perdas em produções agrícolas quando em alta infestação (MARÍ et al., 2020; TRAVLOS et al., 2020). Nativa da Ásia, essa espécie apresenta extensa área geográfica de distribuição, estando amplamente adaptada em países da África, América do Sul, Ásia e Europa Central (PEERZADA, 2017; SRIVASTAVA; SINGH; SHUKLA, 2013), com ocorrência em diferentes habitats (WANG; WAN, 2020), podendo crescer sob várias condições edáficas (KHALID; SIDDIQUI, 2014).

Cyperus rotundus, popularmente conhecida como tiririca, pertence à família Cyperaceae, caracteriza-se como planta perene (LORENZI, 2014), de porte ereto, glabra, podendo atingir altura entre 7 e 40 cm, apresenta produção prolífica de rizomas e tubérculos (STOLLER; SWEET, 1987). A reprodução sexual em *C. rotundus* é rara, portanto, de menor importância (THULLEN; KEELEY, 1979). A reprodução por tubérculos capacita o desenvolvimento da planta sob diversas condições ecológicas (RAHNAVARD et al., 2010).

Os tubérculos de *C. rotundus* apresentam forma ovalada oblonga, variando entre 10 e 35 mm de comprimento, e cor amarelada, tornando-se pretos na maturidade (PEERZADA, 2017). Esses tubérculos possuem domínio apical (NELSON E RENNER, 2002; WEBSTER et al., 2008) e permanecem viáveis em condições adversas (WEBSTER; GREY; FERRELL, 2017). Eles apresentam grande capacidade de brotação em campos agrícolas, quando quebrados por fracionamento decorrente de práticas mecânicas de revolvimento do solo. Além disso, a dormência dos tubérculos no início do verão pode ser superada por flutuações de temperatura diurnas e aumento da temperatura (PEERZADA, 2017). Em áreas agrícolas com presença de tubérculos bem desenvolvidos e longevos, o uso de herbicidas sistêmicos no controle torna-se menos eficiente (NEESER; AGUERO; SWANTON, 1997).

A espécie possui rota fotossintética C4 que permite maior assimilação de CO₂ em altas temperaturas e intensidades de luz (SANTOS et al., 1997) necessitando estar em boas condições de temperatura e luminosidade para pleno desenvolvimento, desta forma, quando exposta a condições de restrição luminosa têm suas taxas fotossintéticas reduzidas (UBIERNA et al., 2013), diminuindo assim o seu poder de competição.

Os métodos mais eficazes de controle de *C. rotundus* devem visar à redução na densidade e na viabilidade de tubérculos, a fim de promover a redução de sua população, uma vez que os tubérculos podem permanecer dormentes no solo por longos períodos (CHAND et al., 2014). Nesse sentido, estudos apontam o manejo cultural como boa opção para o controle dessa espécie daninha (JAKELAITIS et al., 2003).

3.2 Manejo cultural de *C. rotundus*

O manejo cultural é um método de controle de plantas daninhas que consiste no uso de práticas comuns ao ambiente agrícola, como: utilização de cultivares adaptadas e certificadas nas condições edafoclimáticas favoráveis; preparo e fertilização adequada do solo; resultados positivos da rotação,

consórcio ou sucessão de culturas; uniformidade de semeadura e de distribuição espacial das plantas; irrigação; uso de matéria orgânica; manejo correto de pragas e doenças; entre muitos outros manejos que buscam o estabelecimento e o desenvolvimento das culturas (MACIEL, 2014).

O controle cultural visa ao adequado manejo da água e do solo, por meio da adoção de rotação de culturas, variação no espaçamento e na densidade de cultivos e uso de coberturas verdes. Tais práticas favorecem a redução de bancos de sementes de espécies daninhas, prevenindo o aumento das populações de espécies mais adaptáveis que determinada cultura (LORENZI, 2014; SILVA et al., 2007).

O controle cultural baseia-se em dois princípios gerais: plantas que ocupam uma determinada área primeiramente tendem a obter vantagens na captura de recursos disponíveis no meio, e espécies mais bem adaptadas ao ambiente tendem a dominar as demais (FLECK 1992).

Técnicas culturais podem ser empregadas a fim de reduzir a quantidade de luz disponível para as plantas daninhas, uma vez que a qualidade e a quantidade de luz abaixo do dossel variam conforme a natureza das culturas e o arranjo espacial das plantas, gerando competição pelos recursos, principalmente luz (YASIN et al., 2019).

Alterações na intensidade da luz sobre a superfície do solo promovem a redução da germinação de sementes fotoblásticas positivas, as quais requerem adequado comprimento de onda para germinar (MONQUERO et al., 2009). Além disso, o sombreamento reduz a temperatura na superfície do solo, podendo interferir na germinação de sementes que necessitam de maior amplitude térmica para início do processo germinativo (MONQUERO et al., 2009).

Segundo Machado et al. (2005) a temperatura do solo é considerada fator ambiental importante que influencia na germinação de tubérculos de *C. rotundus* sob umidade adequada. Os autores relatam que a germinação dos tubérculos aumenta linearmente em temperaturas do solo constantes, porém é máxima quando as temperaturas são alternadas. Dessa forma, o uso de coberturas vegetais sobre o solo reduz a incidência dos raios solares, diminuindo a alternância de temperatura na superfície do solo e, conseqüentemente, promovendo menor germinação de tubérculos de *C. rotundus*.

3.3 Cobertura vegetal como prática de manejo cultural de plantas daninhas

Dentre as práticas de controle cultural de plantas daninhas, o uso de espécies de cobertura vegetal é prática importante. Uma das abordagens é o uso de espécies de cobertura que sejam competitivas e com capacidade de supressão de espécies de plantas daninhas, como um componente do manejo integrado (LEMESSA; WAKJIRA, 2015).

As culturas de cobertura vegetal podem ser usadas para diminuir populações de plantas daninhas problema, conciliando benefícios ao ecossistema, como a proteção contra erosão do solo, melhoria na qualidade da água e do solo e redução na perda de nutrientes (BLANCO-CANQUI et al., 2015; GFELLER et al., 2018; WITTEWER et al., 2017). O emprego de culturas de cobertura resulta em alterações na quantidade e na qualidade de luz disponível abaixo do dossel, o que promove alterações no desenvolvimento e nas características morfológicas e fisiológicas das plantas daninhas (COLBACH; GARDARIN; MOREAU, 2019; YASIN et al., 2019; YASIN; ROSENQVIST; ANDREASEN, 2017).

Diferentes espécies de coberturas verdes têm sido estudadas quanto ao efeito na supressão de plantas daninhas, dentre as quais as leguminosas, como *Canavalia ensiformis* (RECALDE et al., 2015; RUGARE; PIETERSE; MABASA, 2020; VARGAS; PASSOS; KARAM, 2018); e *Crotalaria juncea* (BLAISE et al., 2020; LAMEGO et al., 2015). Gramíneas forrageiras também apresentaram efeitos sobre a supressão de plantas daninhas, como *Urochloa ruziziensis* (FERREIRA et al., 2018; JUNIOR GIMENES et al., 2011; TIMOSSI et al., 2018) e *U. decumbens* (FERREIRA et al., 2018; FONSECA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2016).

C. ensiformis, uma leguminosa anual, semiereta e de crescimento espesso, é comumente utilizada como uma cultura de cobertura na prevenção da erosão do solo (EMEBIRI, 1996). Além disso, apresenta efeitos na melhoria da qualidade do solo em termos nutricionais e de remediação (MADALÃO et al., 2017; SANTANA et al., 2019) e produz uma grande quantidade de biomassa (SANTANA et al., 2018). *C. ensiformis* atua na inibição da germinação de plantas daninhas por conter compostos fitotóxicos em sua composição (SANTOS; MORAES; REZENDE, 2010). O uso de extratos aquosos de feijão de porco e/ou sua cobertura mostrou-se eficiente no controle de plantas daninhas. (RUGARE; PIETERSE; MABASA, 2020).

C. juncea, uma leguminosa de crescimento rápido, com alto potencial de produção de biomassa em condições adequadas de chuvas (FONTANÉTTI et al., 2010), auxilia na capacidade de fixação de nitrogênio, na ciclagem de nutrientes e na melhoria da fertilidade do solo (BLANCO-CANQUI et al., 2011). Ela está entre as espécies de cobertura mais empregadas em todo o mundo (ADETUNJI et al., 2020) e apresenta efeitos consistentes na germinação e no crescimento de plantas daninhas, sendo esses associados aos aleloquímicos liberados pela decomposição da biomassa da cultura (BLAISE et al., 2020).

U. ruziziensis é uma gramínea que tem sido empregada dentre as espécies de cobertura (FERREIRA et al., 2018; JUNIOR GIMENES et al., 2011; TIMOSSI et al., 2018). Apresenta alta tolerância ao déficit hídrico, perfilhamento (DUARTE et al., 2019) e facilidade de cobertura do solo (MACHADO e ASSIS, 2010), além de ser facilmente controlada por herbicidas recomendados durante a dessecação (SILVA et al., 2013).

O cultivo de culturas de verão como o gergelim, milheto e amendoim reduziu a densidade de plantas de *C. rotundus* entre 69 e 86% em condições de vasos, demonstrando que a competição de culturas de cobertura pode desempenhar um papel importante para o manejo de plantas daninhas (IQBAL et al., 2019).

Plantas utilizadas em cobertura verde do solo são eficientes na supressão de espécies daninhas, porém o efeito é dependente da espécie, podendo algumas plantas de cobertura serem mais eficazes na supressão de espécies daninhas específicas (LAMEGO et al., 2015; MONQUERO et al., 2009). Isso indica a importância de estudos com diferentes espécies de cobertura, a fim de identificar os efeitos sobre plantas daninhas específicas de interesse.

3.4 Controle químico de *Cyperus rotundus*

O método de controle químico, atualmente, apresenta-se como principal método no manejo de *C. rotundus*. O principal herbicida empregado para o controle dessa espécie é o halosulfuron methyl, especialmente no cultivo de cana-de-açúcar, arroz, milho e gramados (AGROFIT 2020; DEVI et al., 2019; WANG et al., 2020; WEBSTER e GREY, 2014).

O halosulfuron methyl é um herbicida pós-emergente do grupo das sulfonilureias, que inibe a ação da enzima acetolactate synthase (ALS), responsável pela síntese dos aminoácidos de cadeia ramificada – valina, leucina e isoleucina (RODRIGUES E ALMEIDA, 2018). O halosulfuron methyl é facilmente translocado por toda a planta (CHAND et al., 2014; SARIGÜL; INAM; ABOUL-ENEIN, 2010) e a inibição da síntese de aminoácidos dificulta a produção de proteínas durante a mitose celular e interfere no crescimento das plantas (LI et al., 2020), tornando-se letal (NTOANIDOU et al., 2016).

O uso de herbicidas inibidores de ALS é amplo nos sistemas de cultivo, devido à eficiência em baixas doses, à flexibilidade de uso e à baixa toxicidade para mamíferos (TAN et al., 2005). No manejo de *C. rotundus*, a aplicação de halosulfuron methyl promove taxas de controle de manifestações epigeas superiores a 90% (CHAND et al., 2014; SOLTANI; SHROPSHIRE; SIKKEMA, 2018; WEBSTER; GREY, 2014).

Outros herbicidas também têm sido empregados no manejo de *C. rotundus*, reduzindo, de forma eficiente, a densidade de plantas em diferentes sistemas de cultivo em todo o mundo. Dentre os herbicidas empregados, destacam-se imazapic (GRICHAR; JORDAN; PROSTKO, 2012; WEBSTER; GREY; FERRELL, 2017), glyphosate (REDDY; BRYSON, 2009; SANTOS JUNIOR et al., 2013), flazasulfuron (BOYD; DITTMAR, 2018), ametryn + atrazine (MOHAMED; ALI; ELAMIN, 2011), S-metolachlor (TRAVLOS et al., 2020) e fomesafen (REED; BOYD; DITTMAR, 2016). Herbicidas apresentam-se eficientes em controlar o crescimento de *C. rotundus*, porém são limitados em reduzir a capacidade de brotação e a viabilidade dos tubérculos a longo prazo (PEERZADA, 2017).

3.5 Efeitos da restrição luminosa sobre as plantas daninhas e ação dos herbicidas

Variações na disponibilidade de luz no ambiente de cultivo podem ser provocadas pelo dossel de plantas de porte superior, como em cultivos florestais, de fruteiras ou gramíneas, como a cana de açúcar e o milho ou mesmo por outras plantas daninhas. Tais variações induzem alterações nas características de crescimento e desenvolvimento das plantas (COLBACH; GARDARIN; MOREAU, 2019; LI et al., 2019), com modificações em sua anatomia (COSTA et al., 2020; SANTOS et al., 2016) e morfofisiologia (FENG et al., 2019; RIBEIRO et al., 2019; YAO et al., 2017). Em ambientes sombreados ocorrem aumentos no índice e na densidade de estômatos (TAIZ et al., 2017), aumento na área foliar (COSTA et al., 2018), deposição de cutina e de cera em folhas (COSTA et al., 2020; NØDSKOV GIESE, 1975), alterações na taxa fotossintética (FENG et al., 2019; SANTOS et al., 2015) e na partição de matéria seca (ARTRU et al., 2018; SEVILLANO et al., 2016), e atraso no tempo de floração de espécies daninhas (YASIN et al., 2019).

O sombreamento promove aumento na área e redução na espessura da lâmina foliar de *C. rotundus* (SANTOS et al., 2015). Essas alterações promovidas pela restrição luminosa influenciam a interceptação, a penetração e a absorção de herbicidas aplicados nas folhas, tornando as plantas

submetidas às condições de estresse luminoso mais sensíveis aos herbicidas aplicados em pós-emergência (COSTA et al., 2020; SANTOS et al., 2015).

A maior sensibilidade das plantas daninhas em condições de sombreamento pode levar à diminuição das doses de herbicidas necessárias para o seu manejo. A redução de doses tem impacto positivo na mitigação do uso de herbicidas no ambiente (DE FREITAS-SILVA et al., 2020; DUPONT; STRANDBERG; DAMGAARD, 2018; LA CECILIA et al., 2018).

A restrição luminosa torna as plantas de *C. rotundus* mais suscetíveis à ação do glyphosate, com redução de dose comparada à dose comercial recomendada (SANTOS JUNIOR et al., 2013). Essa constatação também foi feita para outras espécies: *Macroptilium atropurpureum*, cultivada sob sombreamento, é mais suscetível ao glyphosate aplicado isoladamente ou em combinação com carfentrazone-ethyl (COSTA et al., 2018, 2020), do mesmo modo que plantas de *Commelina benghalensis*, quando cultivadas em ambientes sombreados, são mais sensíveis ao saflufenacil (SANTOS JUNIOR et al., 2019).

Condições de restrição luminosa podem ainda interferir no tempo de ação de herbicidas. A translocação de herbicidas inibidores de ALS pode ser reduzida em condições de sombreamento, interferindo no seu tempo de ação nas plantas (CAMARGO et al., 2012), o que pode implicar atraso ou até mesmo baixa eficiência no controle pelo herbicida.

3.6 Manejo de plantas daninhas em áreas de cultivos olerícolas

O manejo de plantas daninhas em áreas de cultivos olerícolas apresenta restrições em relação aos métodos de controle empregados. O sistema produtivo de hortaliças destaca-se pela diversidade de espécies cultivadas, caracteriza-se pelo intenso revolvimento do solo através de práticas mecânicas, cultivos sucessivos na mesma área, além do uso constante de níveis elevados de adubações químicas e orgânicas e irrigação abundante (RONCHI et al., 2010). Tais características contribuem para o desenvolvimento de populações de plantas daninhas de difícil controle, como *C. rotundus* que, quando tem os tubérculos quebrados por fracionamento, decorrente de práticas mecânicas de revolvimento do solo, decorre em intensa propagação da espécie.

Cyperus rotundus está entre as plantas daninhas mais prejudiciais no mundo (WANG; WAN, 2020), e tem como principal método de controle a aplicação do herbicida halosulfuron methyl (AGROFIT 2020; DEVI et al., 2019; WANG et al., 2020; WEBSTER; GREY, 2014). No Brasil este herbicida não tem registro para seu uso em cultivos hortícolas (AGROFIT 2020), contribuindo para as restrições no manejo desta espécie. Atualmente existe uma grande preocupação global com a preservação ambiental buscando-se por uma produção sustentável. Nos últimos anos, têm-se promovido pesquisas para o manejo de plantas daninhas, de modo a minimizar o uso de herbicidas (GFELLER et al., 2018; MELANDER et al., 2013).

Aliado à busca por uma produção sustentável a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Ministério da Agricultura do Brasil regulamentaram a cadeia produtiva de produtos vegetais através da Instrução Normativa Conjunta nº 02/2018 (BRASIL, 2018). De acordo com a norma os produtores de vegetais frescos, dentre estes as hortaliças, devem adotar a rastreabilidade ao longo da

cadeia produtiva para fins de monitoramento e controle de resíduos de agrotóxicos. A norma estabelece ainda que todos os insumos agrícolas, bem como os herbicidas utilizados no processo produtivo sejam mantidos registrados, juntamente com a sua recomendação técnica. Desta forma, o emprego de herbicidas e demais produtos fitossanitários de forma irregular, será fiscalizada. A adoção da Instrução normativa passou a ser obrigatória para hortaliças a partir de agosto de 2020.

Diante a busca por uma produção sustentável e preservação ambiental, aliados às normas estabelecidas pela Anvisa e Ministério da Agricultura (INC 2/2018) o emprego de técnicas que diminuam a dependência de herbicidas sintéticos, como o sombreamento e o convívio com culturas de coberturas vegetais, apresenta-se interessante para o manejo de *C. rotundus*.

3.7 Referências

ADETUNJI, A. T. et al. Management impact and benefit of cover crops on soil quality: A review. **Soil and Tillage Research**, v. 204, p. 104717, 2020.

AGROFIT (Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil. 2020 http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons.

ARTRU, S. et al. Sugar beet development under dynamic shade environments in temperate conditions. **European Journal of Agronomy**, v. 97, p. 38–47, 1 jul. 2018.

BLAISE, D. et al. Allelopathic intercrops and its mulch as an integrated weed management strategy for rainfed Bt-transgenic cotton hybrids. **Crop Protection**, v. 135, p. 105214, 1 set. 2020.

BLANCO-CANQUI, H. et al. Addition of cover crops enhances no-till potential for improving soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, v. 75, n. 4. p. 1471-1482, 2011.

BLANCO-CANQUI, H. et al. Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2449–2474, 1 nov. 2015.

BOYD, N. S.; DITTMAR, P. Evaluation of postemergence-directed herbicides for purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) control in fresh-market tomato. **Weed Technology**, v. 32, n. 3, p. 260–266, 1 jun. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa Conjunta nº 02 de 07 de fevereiro de 2018. Estabelece os procedimentos para a aplicação da rastreabilidade ao longo da cadeia produtiva de produtos vegetais frescos destinados à alimentação humana. **Diário Oficial da União**. Brasília, 08 fev. 2018, Seção 1, p. 148.

CAMARGO, E. R. et al. Interaction between saflufenacil and imazethapyr in red rice (*Oryza ssp.*) and hemp sesbania (*Sesbania exaltata*) as affected by light intensity. **Pest Management Science**, v. 68, n. 7, p. 1010–1018, 1 jul. 2012.

CHAND, M. et al. Halosulfuron Methyl: a new post emergence herbicide in india for effective control of *Cyperus rotundus* in sugarcane and its residual effects on the succeeding crops. **Sugar Tech**, v. 16, n. 1,

p. 67–74, 28 mar. 2014.

COLBACH, N.; GARDARIN, A.; MOREAU, D. The response of weed and crop species to shading: Which parameters explain weed impacts on crop production? **Field Crops Research**, v. 238, p. 45–55, 15 maio 2019.

COSTA, G. A. et al. Levels of shading and application of glyphosate and carfentrazone-ethyl in the control of *Macroptilium atropurpureum*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 12, p. 819–824, 2018.

COSTA, G. A. et al. Efficiency of glyphosate and carfentrazone-ethyl in the control of *Macroptilium atropurpureum* (DC.) Urb. under different light intensities. **South African Journal of Botany**, v. 131, p. 302–309, 1 jul. 2020.

DE FREITAS-SILVA, L. et al. Evaluation of morphological and metabolic responses to glyphosate exposure in two neotropical plant species. **Ecological Indicators**, v. 113, p. 106246, 1 jun. 2020.

DEVI, R. et al. Degradation dynamics of halosulfuron-methyl in two textured soils. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 102, n. 2, p. 246–251, 15 fev. 2019.

DUARTE, C. F. D. et al. Morfogênese de braquiárias sob estresse hídrico. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 71, n. 5, p. 1669–1676, out. 2019.

DUPONT, Y. L.; STRANDBERG, B.; DAMGAARD, C. Effects of herbicide and nitrogen fertilizer on non-target plant reproduction and indirect effects on pollination in *Tanacetum vulgare* (Asteraceae). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 262, p. 76–82, 15 jul. 2018.

EMEBIRI, L. C. Evaluation of Jackbean (*Canavalia ensiformis*) Lines Derived from Natural Crossing with Swordbean (*Canavalia gladiata*). Biological Agriculture & Horticulture, v. 12, n. 4, p. 319–325, jan. 1996.

FENG, L. et al. The influence of light intensity and leaf movement on photosynthesis characteristics and carbon balance of Soybean. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 8 jan. 2019.

FERREIRA, A. C. DE B. et al. Suppressive effects on weeds and dry matter yields of cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 5, p. 566–574, maio 2018

FLECK, N.G. **Princípios do controle de plantas daninhas**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. 352 p.

FONSECA, W. L. et al. Influence of different cover crops on the emergence and development of “*Digitaria horizontalis*” . **Australian Journal of Crop Science**, Vol. 10, No. 9, Sep 2016: 1244-1248

FONTANÉTTI, A. et al. Adubação verde na produção orgânica de alface americana e repolho. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 146–150, jun. 2006.

GFELLER, A. et al. Explanations for *Amaranthus retroflexus* growth suppression by cover crops. **Crop Protection**, v. 104, p. 11–20, 1 fev. 2018.

GRICHAR, W. J.; JORDAN, D. L.; PROSTKO, E. P. Weed control and peanut (*Arachis hypogaea* L.) response to formulations of imazapic. **Crop Protection**, v. 36, p. 31–36, 1 jun. 2012.

- IQBAL, J. et al. Purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) control through interference by summer crops. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 21, p. 1083–1088, 2019.
- JAKELAITIS, A. et al. Efeitos de sistemas de manejo sobre a população de tiririca. **Planta Daninha**, v. 21, n. 1, p. 89–95, abr. 2003.
- JUNIOR GIMENES, B. et al. Interferência de *Brachiaria Ruziziensis* sobre plantas daninhas em sistema de consórcio com milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 3, p. 931–938, 2011.
- KHALID, S.; SIDDIQUI, S.-U. Weeds of Pakistan: Cyperaceae. **Pakistan Journal of Weed Science Research**, v. 20, n. 2, p. 233-263, 2014.
- LA CECILIA, D. et al. Glyphosate dispersion, degradation, and aquifer contamination in vineyards and wheat fields in the Po Valley, Italy. **Water Research**, v. 146, p. 37–54, 1 dez. 2018.
- LAMEGO, F. P. et al. Potential of weed suppression by summer cover crops. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p. 97–105, 31 mar. 2015.
- LEMESSA, F.; WAKJIRA, M. Cover crops as a means of ecological weed management in agroecosystems. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 18, n. 2, p. 123–135, jun. 2015.
- LI, T. et al. Topical shading substantially inhibits vegetative branching by altering leaf photosynthesis and hormone contents of cotton plants. **Field Crops Research**, v. 238, p. 18–26, 15 maio 2019.
- LI, Z. et al. Variation in mutations providing resistance to acetohydroxyacid synthase inhibitors in *Cyperus difformis* in China. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 166, p. 104571, 1 jun. 2020.
- LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. Nova Odessa, SP: Instituto Platarum, 7 ed. 2014. 383 p.
- MACHADO, A.F.L. et al. J Population dynamics of weeds in no-tillage and conventional crop systems. **Journal of Environmental Science and Health**. B40:119-128. 2005
- MACHADO, L. A. Z.; ASSIS, P. G. G. DE. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 4, p. 415–422, abr. 2010.
- MACIEL, C. D. G. Métodos de controle de plantas daninhas. In: MONQUERO, P. A. (org) **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. (Ed). São Carlos: RiMa, 2014. Cap. 6, p. 129-144.
- MADALÃO, J. C. et al. Action of *Canavalia ensiformis* in remediation of contaminated soil with sulfentrazone. **Bragantia**, v. 76, n. 2, p. 292–299, 15 maio 2017.
- MARÍ, A. I. et al. Purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) control with biodegradable mulches and its effect on fresh pepper production. **Scientia Horticulturae**, v. 263, p. 109111, 15 mar. 2020.
- MELANDER, B. et al. European perspectives on the adoption of nonchemical weed management in reduced-tillage systems for arable crops. **Weed Technology**, v. 27, n. 1, p. 231–240, mar. 2013.
- MOHAMED, A. H. M.; ALI, E. E.; ELAMIN, S. E. Efficacy of some herbicides on growth, tuber production and viability of purple nut-sedge (*Cyperus rotundus* L.). **Univ Khartoum J. Agric. Sci.**v. 19, p. 64-77,

2011.

MONQUERO, P. A. et al. Effect of green fertilizers on the suppression of different species of weeds. **Planta Daninha**, v. 27, n. 1, p. 85–95, 2009.

NEESER, C.; AGUERO, R.; SWANTON, C. J. Survival and dormancy of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) tubers. **Weed Science**, v. 45, n. 6, p. 784–790, 1997.

NELSON, K. A.; RENNER, K. A. Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus*) control and tuber production with glyphosate and ALS-Inhibiting herbicides 1. **Weed Technology**, v. 16, n. 3, p. 512–519, 1 jul. 2002.

NØDSKOV GIESE, B. Effects of light and temperature on the composition of epicuticular wax of barley leaves. **Phytochemistry**, v. 14, n. 4, p. 921–929, 1 abr. 1975.

NTOANIDOU, S. et al. Molecular basis of *Cyperus difformis* cross-resistance to ALS-inhibiting herbicides. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 127, p. 38–45, 1 fev. 2016.

OLIVEIRA, J. DA S. O. et al. The influence of cover crops on erva de touro (*Tridax procumbens*). **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 40, p. 4015–4020, 6 out. 2016.

PEERZADA, A. M. Biology, agricultural impact, and management of *Cyperus rotundus* L.: the world's most tenacious weed. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, n. 12, p. 270, dez. 2017

RAHNAVARD, A. et al. Effect of different herbicides on control of purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.). **Pakistan Journal of Weed Science Research**, v. 16, n. 1, p. 57-66, 2010.

RECALDE, K. M. G. et al. Weed suppression by green manure in an agroecological system. **Revista Ceres**, v. 62, n. 6, p. 546–552, 2015.

REDDY, K. N.; BRYSON, C. T. In-Crop and autumn-applied glyphosate reduced purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) density in no-till glyphosate-resistant corn and soybean. **Weed Technology**, v. 23, n. 3, p. 384–390, set. 2009.

REED, T. V.; BOYD, N. S.; DITTMAR, P. J. Application timing influences purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) and yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) susceptibility to EPTC and fomesafen. **Weed Technology**, v. 30, n. 3, p. 743–750, set. 2016.

RIBEIRO, J. E. DA S. et al. Morphophysiological aspects of young *Calotropis procera* plants submitted to different shading levels. **Scientia Plena**, v. 15, n. 11, 15 dez. 2019.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. L. S. **Guia de herbicidas**. 7. ed. Londrina, 2018.

RONCHI, C. P. et al. Manejo de plantas daninhas na cultura do tomateiro. *Planta Daninha*. v.28, n.1, p. 215-228, 2010.

RUGARE, J. T.; PIETERSE, P. J.; MABASA, S. Effects of green manure cover crops (*Canavalia ensiformis* L. and *Mucuna pruriens* L.) on seed germination and seedling growth of maize and *Eleusine indica* L. and *Bidens pilosa* L. weeds. **Allelopathy Journal**, v. 50, n. 1, p. 121–140, 2020.

SANTANA, N. A. et al. Vermicompost dose and mycorrhization determine the efficiency of copper

- phytoremediation by *Canavalia ensiformis*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 13, p. 12663–12677, maio 2018.
- SANTANA, N. A. et al. Earthworms and mycorrhization increase copper phytoextraction by *Canavalia ensiformis* in sandy soil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 182, p. 109383, out. 2019.
- SANTOS, B. M. et al. Effects of shading on the growth of nutsedges (*Cyperus* spp.). **Weed Science**, v. 45, n. 5, p. 670–673, 1997.
- SANTOS, S.; MORAES, M. L. L.; REZENDE, M. O. O. Determination of polyamines in organic extracts from roots of *Canavalia ensiformis* by capillary electrophoresis. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 45, n. 4, p. 325–329, 14 abr. 2010
- SANTOS, S. A. DOS et al. Influence of shading on the leaf morphoanatomy and tolerance to glyphosate in *Commelina benghalensis* L. and *Cyperus rotundus* L. **Australian Journal of Crop Science**.v. 9, n. 2, p.135-142, 2015.
- SANTOS, J. I. et al. Can light intensity influence the tolerance of *Synedrellopsis grisebachii* to glyphosate? **Weed Biology and Management**, v. 16, n. 1, p. 3–15, 1 mar. 2016.
- SANTOS JUNIOR, A. et al. Management of *Commelina benghalensis* with saflufenacil in shaded environments. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.
- SANTOS JUNIOR, A. et al. Manejo de tiririca e trapoeraba com glyphosate em ambientes sombreados. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 213–214, jan. 2013.
- SARIGÜL, T.; INAM, R.; ABOUL-ENEIN, H. Y. Electro-oxidation of herbicide halosulfuron methyl on glassy carbon electrode and applications. **Talanta**, v. 82, n. 5, p. 1814–1819, 15 out. 2010.
- SEVILLANO, I. et al. Effects of light availability on morphology, growth and biomass allocation of *Fagus sylvatica* and *Quercus robur* seedlings. **Forest Ecology and Management**, v. 374, p. 11–19, 15 ago. 2016.
- SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A.; FERREIRA, L.R.; SANTOS, J.B. . Métodos de controle de plantas daninhas. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 367 p.
- SILVA, U. R. DA et al. Eficácia do glyphosate na dessecação de espécies de *Urochloa*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 2, p. 202, 10 ago. 2013.
- SOLTANI, N.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, P. H. Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) control in corn with various rates of halosulfuron. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 98, n. 3, p. 628–632, 1 jun. 2018.
- SRIVASTAVA, R. K.; SINGH, A.; SHUKLA, S. V. Chemical investigation and pharmaceutical action of *Cyperus rotundus* - A Review. **Journal of Biologically Active Products from Nature**, v. 3, n. 3, p. 166–172, 1 jun. 2013.
- STOLLER, E. W.; SWEET, R. D. Biology and life cycle of purple and yellow nutsedges (*Cyperus*

rotundus and *C. esculentus*) . **Weed Technology**, v. 1, n. 1, p. 66–73, jan. 1987.

TAIZ L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6th. ed. Porto Alegre, Artmed, 2017. 858p.

TAN, S. et al. Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. **Pest Management Science**, v. 61, n. 3, p. 246–257, mar. 2005.

THULLEN, R. J.; KEELEY, P. E. Seed Production and Germination in *Cyperus esculentus* and *C. rotundus* . **Weed Science**, v. 27, n. 5, p. 502–505, set. 1979.

TIMOSSI, P. C. et al. Weed management with *Urochloa ruziziensis* in three sowing methods. **Planta Daninha**, v. 36, 2018.

TRAVLOS, I. et al. Weed management in soybean with a special focus on the control of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*). **Agronomy Research**, v. 18, n. 2, p. 595–602, 2020.

UBIERNA, N. et al. The efficiency of C₄ photosynthesis under low light conditions in *Zea mays* , *Miscanthus x giganteus* and *Flaveria bidentis*. **Plant, Cell & Environment**, v. 36, n. 2, p. 365–381, 1 fev. 2013.

VARGAS, L. A.; PASSOS, A. M. A.; KARAM, D. Allelopathic potential of cover crops in control of shrubby false buttonweed (*Spermacoce verticillata*). **Planta Daninha**, v. 36, 2018.

WANG, C. J.; WAN, J. Z. Assessing the habitat suitability of 10 serious weed species in global croplands. **Global Ecology and Conservation**, v. 23, p. e01142, 1 set. 2020.

WANG, Y. et al. Halosulfuron methyl did not have a significant effect on diversity and community of sugarcane rhizosphere microflora. **Journal of Hazardous Materials**, v. 399, p. 123040, 15 nov. 2020.

WEBSTER, T. M. et al. Glyphosate hinders purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) and yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) tuber production . **Weed Science**, v. 56, n. 5, p. 735–742, out. 2008.

WEBSTER, T. M.; GREY, T. L. Halosulfuron reduced purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) tuber production and viability . **Weed Science**, v. 62, n. 4, p. 637–646, dez. 2014.

WEBSTER, T. M.; GREY, T. L.; FERRELL, J. A. Purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) tuber production and viability are reduced by imazapic. **Weed Science**, v. 65, p. 97–106, 2017.

WITTEWER, R. A. et al. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–12, 3 fev. 2017.

YAO, X. et al. Effect of shade on leaf photosynthetic capacity, light-intercepting, electron transfer and energy distribution of soybeans. **Plant Growth Regulation**, v. 83, n. 3, p. 409–416, 1 dez. 2017.

YASIN, M. et al. The importance of reduced light intensity on the growth and development of six weed species. **Weed Research**, v. 59, n. 2, p. 130–144, 1 abr. 2019.

YASIN, M.; ROSENQVIST, E.; ANDREASEN, C. The effect of reduced light intensity on grass weeds. **Weed Science**, v. 65, n. 5, p. 603–613, 14 set. 2017.

4 ARTIGOS

4.1 Artigo 1 - Restrição luminosa associada ao halosulfuron methyl apresenta eficiência na redução no número e na massa de tubérculos de *Cyperus rotundus*

Este artigo foi elaborado conforme normas da Revista Environment Technology and Innovation

Restrição luminosa associada ao halosulfuron methyl apresenta eficiência na redução no número e na massa de tubérculos de *Cyperus rotundus*

Resumo: O ambiente de cultivo influencia o crescimento, o desenvolvimento e a morfofisiologia de plantas daninhas, e tais alterações podem interferir na eficiência do halosulfuron methyl. Objetivou-se avaliar o efeito da disponibilidade luminosa no ambiente de cultivo e a aplicação de doses de halosulfuron methyl no manejo de *Cyperus rotundus*. O experimento foi arranjado em esquema fatorial 2 x 6, sendo o primeiro fator dois níveis de disponibilidade luminosa – 1180,39 e 411,62 $\mu\text{mols m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiação fotossinteticamente ativa, e o segundo, doses de 28,13 a 140,62 g ha^{-1} de halosulfuron methyl. Eficiência do fotossistema, alocação de biomassa, acúmulo de amido em tubérculos e percentual de controle de *C. rotundus* foram avaliados entre 7 e 28 dias após a aplicação do herbicida. Doses superiores a 70,30 g ha^{-1} de halosulfuron methyl controlaram *C. rotundus*, independentemente da disponibilidade de luz testada. Contudo, a evolução do controle dessa planta daninha pelo herbicida foi mais rápida no pleno sol. Eficiência do fotossistema, acúmulo de amido e formação de biomassa diminuíram com o aumento nas doses de halosulfuron methyl. Em ambiente sombreado, a dose de 28,13 g ha^{-1} foi suficiente para redução de 96,74% na massa seca remanescente e 91,33 % no número de tubérculos de *C. rotundus*. A diminuição da intensidade luminosa associada ao uso do halosulfuron methyl representa prática interessante no controle de *C. rotundus*.

Palavras-chave: Eficiência fotoquímica do fotossistema II, manejo integrado de plantas daninhas; taxa de transporte de elétrons.

Light restriction associated with halosulfuron methyl application efficiently reduces the number and mass of tubers of *Cyperus rotundus*

Abstract: The cultivation environment affects growth, development, and morphophysiology of weeds, and such changes can interfere with the efficiency of the herbicides. The objective of this study was to evaluate the effect of light availability in the culture environment and the application of a post emergence herbicide, halosulfuron methyl, on the management of *Cyperus rotundus*. The experiment was arranged in a 2 × 6 factorial design; the first factor was two levels of light availability: photosynthetically active radiation at 1180.4 and 411.6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and the second factor was halosulfuron methyl doses from 28.13 to 140.62 g ha^{-1} . Photosynthetic efficiency, biomass allocation, accumulation of starch in tubers, and percentage control of *C. rotundus* were evaluated from 7 to 28 days after herbicide application. Doses greater than 70.30 g ha^{-1} of halosulfuron methyl were efficient to control *C. rotundus*, regardless of light availability. However, *C. rotundus* was managed faster under full sunlight than under shading. The efficiency of the photosystem, starch accumulation, and biomass formation decreased with increasing doses of halosulfuron methyl. In a shaded environment, a dose of 28.13 g ha^{-1} was sufficient to reduce 96.74% of the dry mass and 91.33% of the number of *C. rotundus* tubers. The decrease in light intensity associated with the use of halosulfuron methyl represents a promising practice for the control of *C. rotundus*.

Keywords: Electron transport rate, Herbicide, Photochemical efficiency of photosystem II, Weed management.

Introdução

A restrição luminosa promovida pelo dossel das culturas ou mesmo pelo sombreamento artificial altera as características morfológicas e fisiológicas das plantas daninhas presentes no sub-bosque (Colbach et al., 2019; Yasin et al., 2019, 2017). Algumas dessas alterações, como o aumento na área foliar (Ajmi et al., 2018; Santos et al., 2015), a redução na quantidade de cera das folhas (Costa et al., 2020; Nørdskov Giese, 1975), as alterações na partição e alocação de matéria seca (Artru et al., 2018; Sevillano et al., 2016) e as alterações nas taxas fotossintética e de transpiração (Li et al., 2019; Tuffi Santos et al., 2015) podem interferir na ação dos herbicidas aplicados via foliar e nos aspectos biológicos relacionados à propagação das plantas daninhas.

A tiririca (*Cyperus rotundus* L.) é uma planta daninha nativa da Ásia e amplamente adaptada em países da África, América do Sul, Ásia e Europa Central (Peerzada, 2017; Srivastava et al., 2013). Essa espécie está entre as 10 espécies mais prejudiciais às áreas agrícolas e não agrícolas, com alto índice de adaptação em diferentes habitats (Wang and Wan, 2020). Em altos níveis de infestação, a *C. rotundus* provoca perdas na produtividade de culturas (Marí et al., 2020; Travlos et al., 2020), restringindo o uso da terra para certas atividades agrícolas. É uma planta de difícil controle, que se multiplica por vias semínifera e principalmente por tubérculos que permanecem viáveis no solo em condições adversas (Webster et al., 2017). O halosulfuron methyl é um dos principais herbicidas empregados no mundo para o controle de *C. rotundus* em culturas como cana-de-açúcar, arroz, milho e gramados (AGROFIT 2020; Devi et al., 2019; Wang et al., 2020; Webster and Grey, 2014). Halosulfuron methyl é um herbicida do grupo das sulfoniluréias que inibe a ação da enzima acetolactate synthase (ALS), responsável pela síntese dos aminoácidos de cadeia ramificada valina, leucina e isoleucina (Chand et al., 2014). A inibição da síntese desses aminoácidos dificulta a produção de proteínas durante a mitose celular e interfere no crescimento das plantas (Li et al., 2020), tornando-se letal (Ntoanidou et al., 2016). Halosulfuron methyl é facilmente translocado por toda a planta (Chand et al., 2014; Sarigül et al., 2010) porém, em condições de restrição luminosa, a translocação pode ser reduzida, interferindo no seu tempo de ação nas plantas (Camargo et al., 2012).

A restrição luminosa torna as plantas de tiririca mais suscetíveis à ação de alguns herbicidas como o glyphosate, possibilitando o controle com menor dose (Santos Junior et al., 2013). Esse comportamento também foi observado em outras espécies (Costa et al., 2018, 2020; Santos Junior et al., 2019).

A relação entre o controle de *C. rotundus* em ambiente com restrição luminosa para o crescimento e a aplicação de halosulfuron methyl não é conhecida. A interferência da restrição luminosa aliada ao controle químico é conhecimento fundamental para a recomendação de doses de herbicidas, o que pode proporcionar aumento da eficiência de controle da espécie, reduções no impacto ambiental e nos custos de produção. Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito da disponibilidade luminosa no ambiente de cultivo e a aplicação de doses de halosulfuron methyl no manejo de *C. rotundus*.

Materiais e Métodos

2.1 Delineamento experimental e descrição dos ambientes de cultivo

O experimento foi conduzido no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros-MG, Brasil, localizado na longitude de 43°51'53" W, na latitude de 16°44'13" S e a 650 m. de altitude. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical com inverno seco e verão chuvoso (CLIMATE-DATA, 2020).

O ensaio foi montado em vasos plásticos com capacidade de 5 litros preenchido com substrato preparado na proporção 3:1:1 (amostra do solo de textura média: areia: esterco bovino). As características físicas e químicas da camada 0-20 cm do solo são apresentadas na Tabela 1. Em cada vaso, foram plantados quatro tubérculos de *Cyperus rotundus* previamente selecionados, com o tamanho padrão de 1,4 cm. de comprimento. Os tubérculos foram coletados em área de horticultura com população monitorada de *C. rotundus*, sem a presença de outras Cyperaceas.

Tabela 1. Características físicas e químicas da camada 0-20 cm do solo utilizado no experimento.

pH em água	MO g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Ca cmol _c dm ⁻³	Mg cmol _c dm ⁻³	Al cmol _c dm ⁻³	H+Al cmol _c dm ⁻³	CTC cmol _c dm ⁻³	V	Areia %	Silte %	Argila %
6,3	3,1	1,8	34,9	6,7	2,1	0	1,8	8,9	83	48	24	32

MO – Matéria Orgânica; P e K, extrator Mehlich-1; CTC – Capacidade de trocas de cátions; V – Saturação por bases.

O experimento foi arranjado em esquema fatorial 2 x 6, sendo o primeiro fator dois níveis de luminosidade, pleno sol e 65 ± 0.60 % de sombreamento, e combinado com as doses 0; 28,13; 56,25; 84,37; 112,50 e 140,62 g ha⁻¹ de halosulfuron methyl (Sempra®, Monsanto Company, USA). Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados com quatro repetições, sendo cada parcela constituída por um vaso com quatro plantas de *C. rotundus*.

Para obtenção do ambiente sombreado foi utilizada tela comercial tipo sombrite de polipropileno, cor preta. A incidência de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) nos ambientes foi aferida utilizando-se o aparelho Y (II) meter (OPTI-SCIENCES, Hudson, USA), obtendo-se 1180,39 ± 10,86 e 411,62 ± 10,59 μmols m⁻² s⁻¹ para pleno sol e 65% de sombreamento, respectivamente.

2.2 Aplicação do herbicida

Após 35 dias de emergência das plântulas, foi realizada a aplicação da calda herbicida. Utilizou-se pulverizador costal pressurizado a CO₂, com pressão constante a 300 kPa, equipado com ponta modelo AVI11002 (Jacto, Pompéia, Brazil), regulado para aplicação de volume de 130 L ha⁻¹ de calda. No momento da aplicação, as plantas de *C. rotundus* apresentaram 14,00 ± 1,03 e 20,88 ± 0,60 cm de altura nos ambientes a pleno sol e com 65% de sombra, respectivamente, e pleno desenvolvimento vegetativo.

2.3 Avaliações e métodos

As avaliações de controle foram realizadas aos 07, 14, 21 e 28 dias após a aplicação do herbicida (DAH), por meio de observações visuais, em que se adota escala de 0 a 100%, sendo 0 a

ausência de intoxicação causada pelo herbicida e 100 a morte da planta. Foram utilizados três avaliadores para darem notas de controle. Os valores por parcela foram determinados pela média aritmética das três observações.

Aos 7 DAH foram analisadas a eficiência fotoquímica do fotossistema II (Φ_{PSII}) e a taxa de transporte de elétrons (ETR), com auxílio do aparelho fluorômetro Y (II) meter (OPTI-SCIENCES, Hudson, USA). As leituras foram realizadas entre 08:00 e 10:00 horas da manhã. No terço médio de folhas totalmente desenvolvidas, foram avaliadas três folhas de plantas diferentes em cada vaso experimental. Os valores por parcela foram determinados pela média aritmética das três leituras.

A vegetação viva remanescente no vaso aos 28 DAH foi coletada e colocada em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingir massa constante, e pesada para determinação da massa seca da parte aérea.

Posteriormente foi realizada avaliação do número de tubérculos por vaso. O solo em cada vaso foi destorroado manualmente e peneirado para separar os tubérculos, os quais foram lavados em água corrente e contados. Após contagem, os tubérculos foram acondicionados em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem massa constante, com posterior mensuração com balança de precisão.

Uma amostra de tubérculos foi destinada para determinação do teor de amido, seguindo metodologia adaptada de McCready et al. (1950). Foi pesado 0,2 g da amostra de tubérculos de *C. rotundus* seca e moída com auxílio de moinho tipo Willey. Foram adicionados 1,5 mL de etanol 80% em ebulição para remoção de açúcares solúveis, mono, di e trissacarídeos. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 10 min. Esse procedimento foi repetido por quatro vezes e os sobrenadantes descartados. O precipitado foi ressuspenso em 1,5 mL de ácido perclórico a 30%, agitado por 2 min em turbilhador e deixado em repouso por 30 min., seguido de centrifugação a 3000 rpm por 10 min. Esse procedimento foi repetido por três vezes. Os sobrenadantes foram coletados em balão volumétrico de 100 mL e completados com água destilada. A quantificação dos teores de amido foi realizada pela reação com antrona (Fales, 1951), por análise usando um espectrofotômetro Cary 60 UV-Vis (Agilent, Mulgrave, Austrália), com leituras em 620 nm.

2.4 Análise estatística dos dados

Os dados de massa seca da parte aérea e de tubérculos e número de tubérculos foram analisados de forma descritiva, por não atenderem aos pressupostos da análise de variância. Os dados das demais variáveis foram submetidos à análise de variância pelo teste F. O efeito das doses do herbicida foi analisado por meio de análise de regressão, escolhendo-se os modelos adequados para representá-los em função do seu comportamento biológico, da significância dos coeficientes do modelo e do valor do coeficiente de determinação (R^2). Foi realizada análise de correlação de Pearson entre as variáveis controle aos 28 DAH, massa seca de parte aérea, número de tubérculos, massa seca de tubérculos, acúmulo de amido dos tubérculos, Φ_{PSII} e taxa de transporte de elétrons. As análises estatísticas do trabalho foram realizadas por meio do software R (R CORE TEAM, 2019).

Resultados

3.1 Avaliações de controle

Os ambientes de cultivo e as doses de halosulfuron methyl influenciaram na manifestação dos sintomas de controle de *C. rotundus* aos 07, 14 e 21 DAH (Figura 1). Em ambos os ambientes de cultivo, as doses de halosulfuron methyl promoveram baixas taxas de controle de *C. rotundus* até aos 14 DAH, com valores inferiores a 50%. Nas avaliações realizadas aos 7, 14 e 21 DAH, observou-se que as plantas cultivadas em ambiente a pleno sol apresentaram rápida evolução nos sintomas de intoxicação em comparação às plantas sombreadas. Porém, aos 28 DAH, os ambientes de cultivo não influenciaram no controle de *C. rotundus*. Os níveis de controle obtidos foram superiores a 90%, quando aplicadas doses acima de 70,30 g ha⁻¹ de halosulfuron methyl (Figura 1).

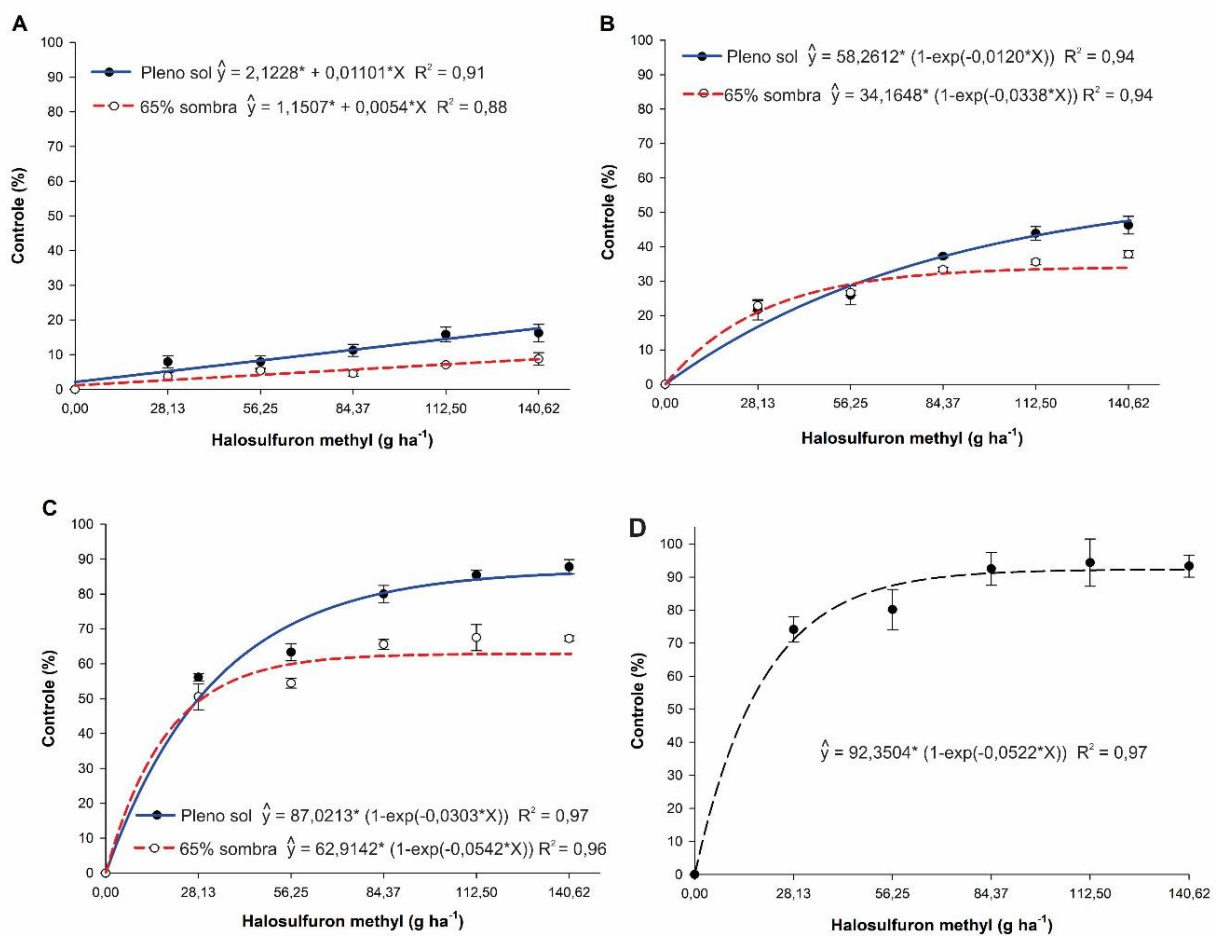


Figura 1. Controle (%) de *C. rotundus* após aplicação de doses de halosulfuron methyl em ambientes com diferentes intensidades de luz, aos 7 (A), 14 (B), 21 (C) e 28 (D) dias após a aplicação. Barras = erro padrão da média. * significativo a 0,01.

O ambiente de cultivo influenciou a massa seca de parte aérea das plantas e tubérculos de *C. rotundus* na testemunha sem aplicação de herbicida e após a aplicação de halosulfuron methyl (Figura 2 A e B). Plantas cultivadas em ambiente com 65% de sombreamento apresentaram valor de massa seca de parte aérea 14,71% superior a plantas de pleno sol (Figura 2A). Em contrapartida, as plantas cultivadas a pleno sol apresentaram massa seca de tubérculos 62,67% superior às de sombra (Figura

2B). Não foi observada diferença entre as doses aplicadas de halosulfuron methyl e a massa seca de parte aérea e de tubérculos de *C. rotundus*. Com a aplicação de halosulfuron methyl, houve redução de 80,30 e 90,66% da massa seca de parte aérea (Figura 2A) e redução de 94,50 e 96,74 na massa seca de tubérculos em plantas cultivadas a pleno sol e a 65% de sombra, respectivamente (Figura 2B).

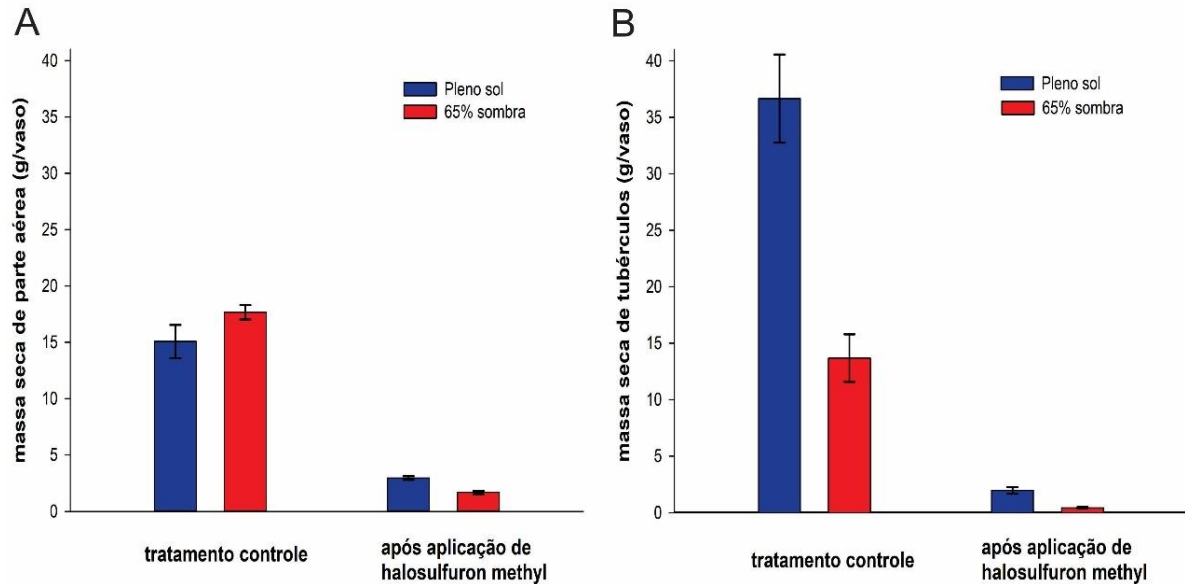


Figura 2. Massa seca de parte aérea (A) e massa seca de tubérculos (B) (g / vaso) em plantas de *C. rotundus* 28 dias após a aplicação de doses de halosulfuron methyl em ambientes com diferentes intensidades de luz. Barras = erro padrão da média.

3.2 Parâmetros fisiológicos de *C. rotundus*

A restrição luminosa aumentou a Φ_{PSII} de *C. rotundus* (Tabela 2). O aumento das doses de halosulfuron methyl reduziu a Φ_{PSII} de *C. rotundus*, independentemente do ambiente de cultivo (Figura 3). Para essa variável, não houve interação entre os fatores. O aumento nas doses de halosulfuron methyl reduziu a ETR de *C. rotundus* em ambos os ambientes de cultivo (Figura 4). As plantas cultivadas a pleno sol apresentaram maior ETR nas doses 0, 28,13 e 56,25 g ha⁻¹, com a ETR semelhante para os ambientes nas demais doses testadas (Figura 4).

Tabela 2. Eficiência fotoquímica do PSII (Φ PSII) de *C. rotundus* em ambientes com diferentes intensidades luminosas.

Ambientes	Φ PSII
Pleno sol	0,171 b
65% sombreamento	0,476 a
CV (%)	17,17

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste F ($p \leq 0.05$).

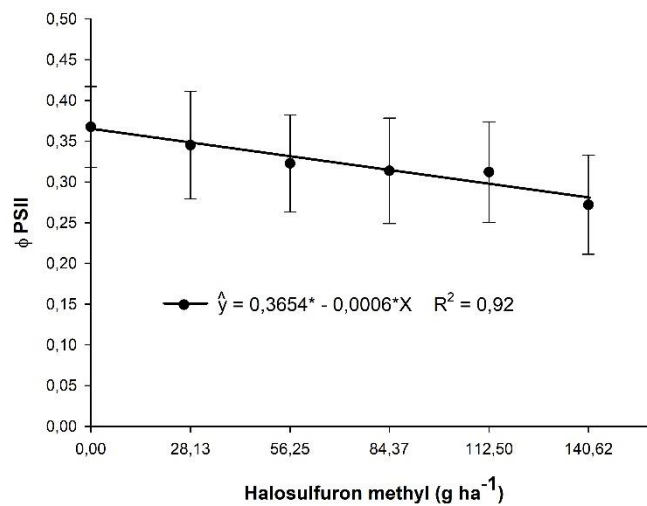


Figura 3. Eficiência fotoquímica do PSII (Φ PSII) de *C. rotundus* em diferentes doses de halosulfuron methyl. Barras = erro padrão da média. * significativo a 0,01.

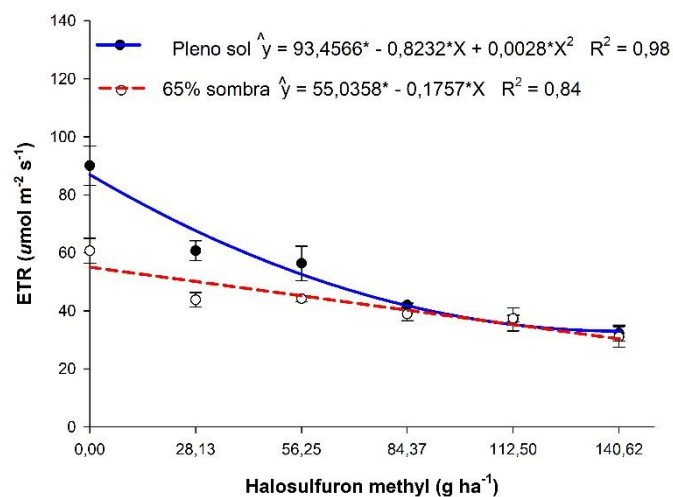


Figura 4. Taxa de transporte de elétrons (ETR - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de *C. rotundus* após a aplicação de doses de halosulfuron methyl em ambientes com diferentes intensidades de luz. Barras = erro padrão da média. * significativo a 0,01.

3.3 Número e acúmulo de amido em tubérculos de *C. rotundus*

As plantas de *C. rotundus* cultivadas a pleno sol apresentaram maior produção de tubérculos (Figura 6). O sombreamento promoveu redução de 45,60% na produção de tubérculos em plantas de sombra sem aplicação de herbicida. Foi observado que a aplicação do halosulfuron methyl promoveu redução drástica na produção de tubérculos em ambos os ambientes de cultivo (Figura 5), evidenciada já a partir da menor dose aplicada. Houve uma redução máxima de 85,84% e 91,33% nos ambientes a pleno sol e sombra, respectivamente.

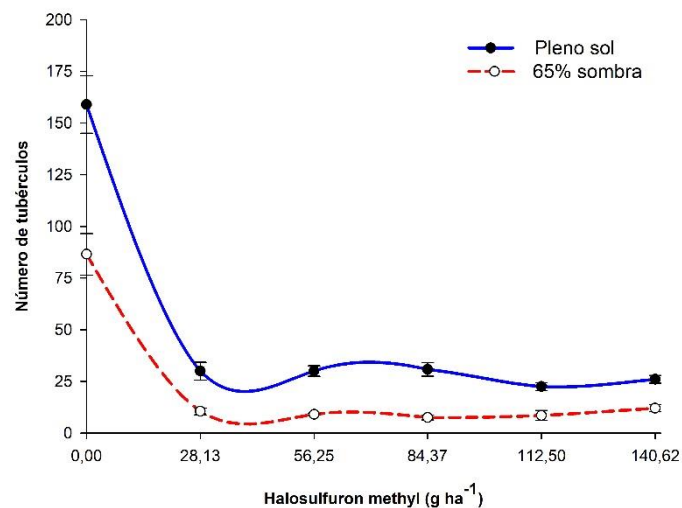


Figura 5. Número de tubérculos de *C. rotundus* 28 dias após a aplicação de doses de halosulfuron methyl em ambientes com diferentes intensidades de luz. População inicial: quatro tubérculos. Barras = erro padrão da média.

Plantas de *C. rotundus* cultivadas em ambiente a pleno sol acumularam maior quantidade de amido nos tubérculos, com exceção de plantas submetidas à aplicação da dose 84,37 g ha⁻¹ de halosulfuron methyl (Figura 6). O sombreamento reduziu em 36,60% as reservas de amido em plantas sem a aplicação de halosulfuron methyl. O aumento nas doses de herbicida promoveu o decréscimo no acúmulo de amido em ambos os ambientes de cultivo (Figura 6).

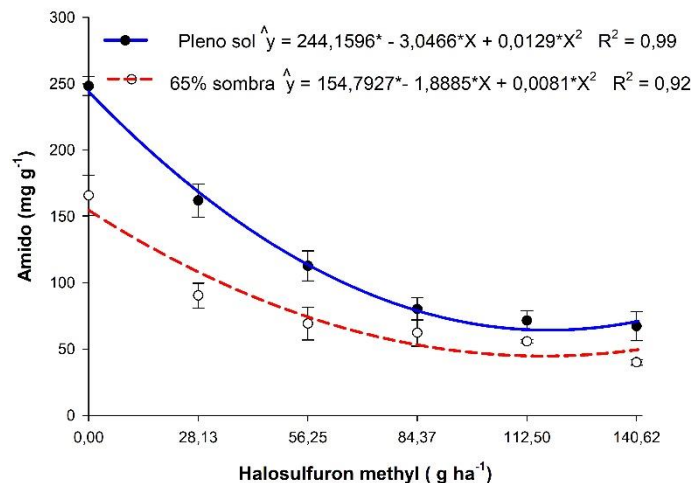


Figura 6. Acúmulo de amido em tubérculos de *C. rotundus* após aplicação de doses de halosulfuron methyl em ambientes com diferentes intensidades de luz. Barras = erro padrão da média. * significativo a 0,01.

3.4 Análise de correlação

As estimativas de correlações foram significativas entre a maioria das variáveis analisadas. Entretanto a Φ PSII não apresentou correlação significativa com nenhuma das demais variáveis. As

correlações variaram de $r = -0,94$ (controle e biomassa remanescente) a $r = 0,97$ (amido e taxa de transporte de elétrons) (Figura 7). Observou-se correlação negativa significativa entre a variável controle e as demais características, destacando-se controle e massa seca da parte aérea ($r = -0,94$). Entre as demais variáveis os maiores valores de correlação positiva foram observados entre as variáveis massa seca e número de tubérculos (0,98), amido e taxa de transporte de elétrons ($r = 0,97$) e amido e número de tubérculos ($r = 0,90$).

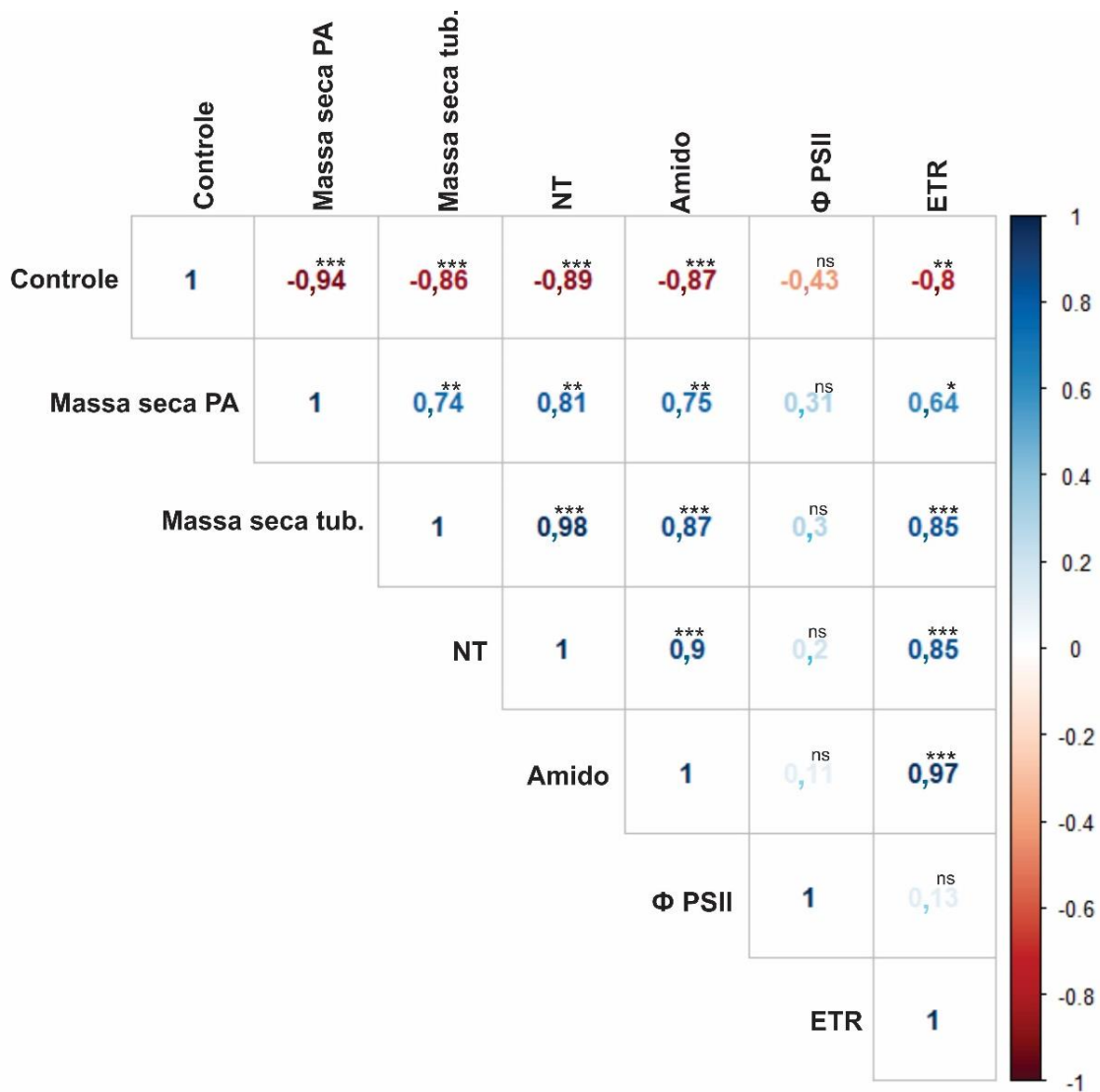


Figura 7. Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis controle aos 28 DAH, massa seca da parte aérea, massa seca de tubérculos (BST), número (NT) e acúmulo de amido em tubérculos, eficiência fotoquímica de PSII (Φ PSII) e taxa de transporte de elétrons (ETR). As correlações são significativas pelo teste t em 0,05 (*), 0,01 (**) ou 0,001 (***). ns = não significativo.

Discussão

O halosulfuron methyl, herbicida inibidor da acetolactato sintase (ALS), controla lentamente as plantas daninhas, bloqueando a síntese dos aminoácidos leucina, isoleucina e valina (Chand et al., 2014). No presente estudo, a evolução do controle de *C. rotundus* também foi lenta, apresentando resultados satisfatórios apenas a partir dos 21 DAH (Figura 1). Embora lento, aos 7,14 e 21 DAH, os

sintomas de intoxicação foram maiores no ambiente a pleno sol (Figura 1). O maior acúmulo de amido em *C. rotundus* a pleno sol (Figura 6) pode ser um indicativo de maior taxa fotossintética, que, por sua vez, pode ter aumentado a velocidade do carregamento do herbicida no floema e a sua translocação na planta, aumentando a velocidade da evolução dos sintomas em comparação aos em sombreamento. Camargo et al., (2012) identificaram translocação rápida de imazethapyr, também um inibidor da acetolactato sintase, em *Oryza ssp.* em pleno sol, e translocação lenta em condições de baixa intensidade luminosa.

Embora exista diferença na velocidade de ação do herbicida em função da intensidade de luz até os 21 DAH, não houve diferença no controle aos 28 DAH entre os ambientes (Figura 1), independentemente da dose de halosulfuron methyl aplicada. Os resultados de controle comprovaram a eficiência do halosulfuron methyl a partir da dose 70,30 g ha⁻¹ para o controle de *C. rotundus*, crescida em ambientes sombreados e a pleno sol (Figura 1 D). Resultados similares foram encontrados por Soltani et al. (2018) e Webster and Grey (2014), que observaram controle superior a 90% com a aplicação das doses 73 e 208 g ha⁻¹, respectivamente, desse herbicida em ambiente a pleno sol.

Diferentemente de vários trabalhos que identificaram maior eficiência de glyphosate no controle de plantas daninhas em sombreamento, inclusive sobre *C. rotundus* (Costa et al., 2020, 2018; Santos et al., 2015; Santos Junior et al., 2019; Santos Junior et al., 2013), o presente estudo não encontrou aumento na sensibilidade de *C. rotundus* ao halosulfuron methyl. O comportamento diferencial de *C. rotundus* ao glyphosate e ao halosulfuron methyl em sombreamento mostra que a indicação de doses não pode ser generalizada e deve ser realizada de forma criteriosa para cada molécula herbicida. A aplicação de doses reduzidas que não levem ao controle satisfatório da população de plantas daninhas pode resultar no surgimento de resistência poligênica, como demonstrado por Busi and Powles (2009) e Tehranchian et al. (2017).

Embora o controle final de *C. rotundus* com halosulfuron methyl não tenha sido influenciado pela intensidade de luz, a massa seca remanescente de parte aérea, o número, massa seca e o acúmulo de amido de tubérculos foram reduzidos pelo sombreamento (Figura 2, 5 e 6). Portanto, sendo que a principal forma de propagação de *C. rotundus* é vegetativa (Peerzada 2017), o sombreamento promovido pelas culturas pode ser considerado importante componente do controle cultural. A maior produção e o maior acúmulo de amido em tubérculos em plantas de *C. rotundus* cultivadas a pleno sol demonstra maior investimento de fotoassimilados para as estruturas de reserva em relação à parte aérea, em comparação às plantas crescidas em ambientes sombreados. Outras espécies, quando submetidas ao sombreamento, investem maior quantidade de fotoassimilados na produção de parte aérea, para maior aproveitamento da luminosidade restrita (Feng et al., 2019; Santos Junior et al., 2019; Taiz et al., 2017), conforme observado no presente estudo.

As variações na partição de fotoassimilados entre parte aérea e os tubérculos de *C. rotundus* em função da disponibilidade de luz no ambiente demonstra uma plasticidade fenotípica da espécie, importante para adaptação ecológica aos diferentes ambientes onde ela é considerada infestante (Marí et al., 2020; Travlos et al., 2020; Wang and Wan, 2020). Quando submetidas a uma condição de restrição luminosa, plantas C4 como *C. rotundus* têm suas taxas fotossintéticas reduzidas (Ubierna et al.,

2013) diminuindo a produção de fotoassimilados. No presente estudo, foi observado que plantas de *C. rotundus* cultivadas em ambiente sombreado apresentam maior produtividade quântica no PSII (Tabela 02); porém, essa eficiência no aproveitamento da luz não é capaz de compensar a redução drástica na quantidade de luz fornecida, observada na maior ETR de plantas cultivadas a pleno sol (Figura 4). Essas alterações no aparato fotossintético estão relacionadas ao rearranjo na alocação dos fotoassimilados para a parte aérea, decorrente da demanda da planta em obter energia luminosa (Feng et al., 2019). Tais observações evidenciam as altas correlações positivas obtidas entre as variáveis taxa de transporte de elétrons, número de tubérculos e acúmulo de amido nessas estruturas (Figura 8).

Em ambientes com alta intensidade luminosa, as plantas podem ser expostas a uma quantidade maior de energia do que a necessária para sua fotossíntese. *Nonphotochemical quenching* (NPQ) é um processo de fotoproteção empregado pelas plantas para dissipar o excesso de energia luminosa na forma de calor (Pinnola et al., 2013). A alta intensidade luminosa aumenta o NPQ e reduz a Φ_{PSII} (Ashraf and Harris, 2013; Hazrati et al., 2016; Janka et al., 2015; Zha et al., 2017), o que corrobora a menor Φ_{PSII} encontrada neste estudo em plantas de *C. rotundus* sob maior intensidade luminosa.

Apesar de o halosulfuron methyl não apresentar ação direta no fotossistema, seu modo de ação promoveu danos na Φ_{PSII} de *C. rotundus*. Baker (2008) sugere que a redução no fluxo de elétrons para herbicidas que atuam fora do fotossistema se deve à eficiência de energia para assimilação de carbono durante a fotossíntese. Evidências da alteração da cinética da fluorescência por herbicidas inibidores da ALS (Barbagallo et al., 2003) podem explicar os danos no aparelho fotossintético, atuando em um local secundário de ações (Hassannejad et al., 2020; Yuan et al., 2014). Xu et al. (2019) e Yuan et al. (2014) também observaram que o aumento das taxas de aplicação de herbicidas inibidores de ALS promoveu redução na Φ_{PSII} em plantas de *Hordeum vulgare* e *Isatis indigotica*, respectivamente.

A ETR pode ser utilizada para indicar o nível de intoxicação nas plantas daninhas quando submetidas à aplicação de herbicidas (Araldi et al., 2011). A obtenção da ETR permite a detecção do efeito indireto dos herbicidas (Abbaspoor et al., 2006; Ferreira et al., 2015), corroborando os resultados de redução da ETR de *C. rotundus* com o aumento das doses de halosulfuron methyl aplicadas sobre as plantas nos dois ambientes de cultivo (Figura 4). Além disso, o déficit luminoso reduz a eficiência do aparato fotossintético (Taiz et al., 2017), o que ocasionou a menor taxa de transporte de elétrons em plantas cultivadas em ambiente sombreado até a dose testada de 84,37 g ha⁻¹. A partir dessa dose, torna-se evidente o dano pelo halosulfuron methyl no aparato fotossintético de *C. rotundus* em ambos os ambientes de cultivo, não havendo diferenças na ETR (Figura 4). A ETR apresentou boa correlação com o controle do halosulfuron methyl sobre *C. rotundus* e possibilitou o melhor entendimento do efeito do ambiente sobre a ação do herbicida.

As implicações dos resultados do presente estudo no manejo de *C. rotundus* são relevantes não só pela diminuição do custo de controle, mas também pela maior sustentabilidade ambiental dos cultivos onde se recomenda o halosulfuron methyl, uma vez que resíduos ambientais serão diminuídos.

Conclusões

A aplicação de halosulfuron methyl a partir da dose 70,30 g ha⁻¹ é eficiente no controle de *C. rotundus* cultivada em ambiente com 1180.39 ± 10.86 e 411.62 ± 10.59 μmols m⁻² s⁻¹ de radiação fotossinteticamente ativa, não sendo observada diferença entre os ambientes.

A restrição luminosa aumenta a eficiência fotoquímica do fotossistema II e reduz a taxa de transporte de elétrons de *C. rotundus*. A aplicação de halosulfuron methyl provoca reduções na eficiência fotoquímica do fotossistema II, independentemente do ambiente de cultivo, e na taxa de transporte de elétrons, indicando estresse causado pelo herbicida, com alta correlação da ETR com o controle.

A redução de 65% da radiação fotossinteticamente ativa representa prática interessante na supressão de *C. rotundus* e potencializa a ação de controle do halosulfuron methyl quanto à produção e ao vigor dos tubérculos, seus principais propágulos.

Referências

- Abbaspoor, M., Teicher, H., Streibig, J., 2006. The effect of root-absorbed PSII inhibitors on Kautsky curve parameters in sugar beet. *Weed Res.* 46, 226–235. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2006.00498.x>
- AGROFIT (Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários). 2020. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil. http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons.
- Araldi, R., Velini, E.D., Giroto, M., Carbonari, C.A., Jasper, S.P., Trindade, M.L.B., 2011. Efeitos na taxa de transporte de elétrons de plantas daninhas após aplicação de amicarbazone. *Planta Daninha* 29, 647–653. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000300019>
- Ashraf, M., Harris, P.J.C., 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6>
- Baker, N.R., 2008. Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59, 89–113. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759>
- Barbagallo, R.P., Oxborough, K., Pallett, K.E., Baker, N.R., 2003. Rapid, noninvasive screening for perturbations of metabolism and plant growth using chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiol.* 132, 485–493. <https://doi.org/10.1104/pp.102.018093>
- Camargo, E.R., Senseman, S.A., McCauley, G.N., Bowe, S., Harden, J., Guice, J.B., 2012. Interaction between saflufenacil and imazethapyr in red rice (*Oryza ssp.*) and hemp sesbania (*Sesbania exaltata*) as affected by light intensity. *Pest Manag. Sci.* 68, 1010–1018. <https://doi.org/10.1002/ps.3260>
- Chand, M., Singh, S., Bir, D., Singh, N., Kumar, V., 2014. Halosulfuron Methyl: A New Post Emergence Herbicide in India for Effective Control of *Cyperus rotundus* in Sugarcane and Its Residual Effects

- on the Succeeding Crops. Sugar Tech 16, 67–74. <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0263-4>
- CLIMATE-DATA. ORG, 2020. Dados climáticos para cidades mundiais. <https://pt.climate-data.org/>
- Colbach, N., Gardarin, A., Moreau, D., 2019. The response of weed and crop species to shading: Which parameters explain weed impacts on crop production? F. Crop. Res. 238, 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.008>
- Costa, G.A., Santos, L.D.T., De, G.A., Ferreira, P., Da Cruz, L.R., Machado, V.D., Rocha, L.M., 2018. Levels of shading and application of glyphosate and carfentrazone-ethyl in the control of *Macroptilium atropurpureum*. Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient. 22, 819–824. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n12p819-824>
- Costa, G.A., Tuffi-Santos, L.D., Santos, S.A. dos, da Cruz, L.R., Sant'Anna-Santos, B.F., Santos, I.T. dos, Tanaka, F.A.O., 2020. Efficiency of glyphosate and carfentrazone-ethyl in the control of *Macroptilium atropurpureum* (DC.) Urb. under different light intensities. South African J. Bot. 131, 302–309. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.02.028>
- Devi, R., Duhan, A., Punia, S.S., Yadav, D.B., 2019. Degradation Dynamics of Halosulfuron-methyl in Two Textured Soils. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 102, 246–251. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2526-y>
- Fales, F.W., 1951. The assimilation and degradation of carbohydrates by yeast cells - PubMed. J. Biol. Chem. 193, 113–124.
- Feng, L., Raza, M.A., Li, Z., Chen, Y., Khalid, M.H. Bin, Du, J., Liu, W., Wu, X., Song, C., Yu, L., Zhang, Z., Yuan, S., Yang, W., Yang, F., 2019. The influence of light intensity and leaf movement on photosynthesis characteristics and carbon balance of Soybean. Front. Plant Sci. 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01952>
- Fernandez, O., Ishihara, H., George, G.M., Mengin, V., Flis, A., Sumner, D., Arrivault, S., Feil, R., Lunn, J.E., Zeeman, S.C., Smith, A.M., Stitt, M., 2017. Leaf starch turnover occurs in long days and in falling light at the end of the day. Plant Physiol. 174, 2199–2212. <https://doi.org/10.1104/pp.17.00601>
- Ferreira, E.A., De Matos, C. da C., Barbosa, E.A., Silva, D.V., Dos Santos, J.B., Mendes Pereira, G.A., Faria, A.T., Da Silva, C.T., 2015. Respostas fisiológicas da mandioca à aplicação de herbicidas. Semin. Agrar. 36, 645–656. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p645>
- Han, C., Yu, M., Wang, Q., Wang, L., Yang, H., Zhao, Y., Dong, H., 2020. Leaf structure and seed histochemistry analyses provided structural insights into the improved yield and quality of tree peony seed under light shading conditions. Sci. Rep. 10, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61366-8>
- Hassannejad, S., Porheidar Ghafarbi, S., Lotfi, R., 2020. The effect of nicosulfuron and bentazon on photosynthetic performance of common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.). Environ. Sustain. Indic. 6, 100026. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100026>
- Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Nicola, S., 2016.

- Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. *Plant Physiol. Biochem.* 106, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.04.046>
- Janka, E., Körner, O., Rosenqvist, E., Ottosen, C.O., 2015. Using the quantum yields of photosystem II and the rate of net photosynthesis to monitor high irradiance and temperature stress in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora*). *Plant Physiol. Biochem.* 90, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.02.019>
- Li, T., Dai, J., Zhang, Y., Kong, X., Li, C., Dong, H., 2019. Topical shading substantially inhibits vegetative branching by altering leaf photosynthesis and hormone contents of cotton plants. *F. Crop. Res.* 238, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.019>
- Li, Z., Li, X., Chen, J., Peng, L., Wang, J., Cui, H., 2020. Variation in mutations providing resistance to acetohydroxyacid synthase inhibitors in *Cyperus difformis* in China. *Pestic. Biochem. Physiol.* 166, 104571. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104571>
- Marí, A.I., Pardo, G., Aibar, J., Cirujeda, A., 2020. Purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) control with biodegradable mulches and its effect on fresh pepper production. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 263, 109111. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109111>
- McCready, R.M., Guggolz, J., Silveira, V., Owens, H.S., 1950. Determination of Starch and Amylose in Vegetables. *Anal. Chem.* 22, 1156–1158. <https://doi.org/10.1021/ac60045a016>
- Ntoanidou, S., Kaloumenos, N., Diamantidis, G., Madesis, P., Eleftherohorinos, I., 2016. Molecular basis of *Cyperus difformis* cross-resistance to ALS-inhibiting herbicides. *Pestic. Biochem. Physiol.* 127, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.09.004>
- Peerzada, A.M., 2017. Biology, agricultural impact, and management of *Cyperus rotundus* L.: the world's most tenacious weed. *Acta Physiol. Plant.* 39, 270 <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2574-7>
- Pinnola, A., Dall'Osto, L., Gerotto, C., Morosinotto, T., Bassi, R., Alboresi, A., 2013. Zeaxanthin binds to light-harvesting complex stress-related protein to enhance nonphotochemical quenching in *Physcomitrella patens*. *Plant Cell* 25, 3519–3534. <https://doi.org/10.1105/tpc.113.114538>
- Pires, M.V., de Almeida, A.A.F., Abreu, P.P., da Costa Silva, D., 2012. Does shading explain variation in morphophysiological traits of tropical epiphytic orchids grown in artificial conditions? *Acta Physiol. Plant.* 34, 2155–2164. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1016-9>
- Ribeiro, J.E. da S., Figueiredo, F.R.A., Coêlho, E.D.S., Albuquerque, M.B. de, 2019. Morphophysiological aspects of young *Calotropis procera* plants submitted to different shading levels. *Sci. Plena* 15. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.112401>
- R Core Team, 2019. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Santos, S.A. dos, David Tuffi-Santos, L., Francisco Sant, B., André Ossamu Tanaka, F., Freitas Silva, L., dos Santos Junior, A., 2015. Influence of shading on the leaf morphoanatomy and tolerance to glyphosate in *Commelina benghalensis* L. and *Cyperus rotundus* L, *Australian Journal of Crop*

Science. 9, 135-142

- Santos, J.I., Amaral, C.L., Alves, P.L.C.A., Gasparino, E.C., 2016. Can light intensity influence the tolerance of *Synedrellopsis grisebachii* to glyphosate? *Weed Biol. Manag.* 16, 3–15. <https://doi.org/10.1111/wbm.12085>
- Santos Junior, A., Freitas, F.C.L., Santos, I.T., Silva, D.C., Paixão, G.P., Sedyama, C.S., 2019. Management of *Commelina benghalensis* with saflufenacil in shaded environments. *Planta Daninha* 37. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100051>
- Santos Junior, A., Tuffi Santos, L.D., Costa, G.A., Barbosa, E.A., Leite, G.L.D., MacHado, V.D., Cruz, L.R., 2013. Manejo de tiririca e trapoeraba com glyphosate em ambientes sombreados. *Planta Daninha* 31, 213–214. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000100023>
- Sarigül, T., Inam, R., Aboul-Enein, H.Y., 2010. Electro-oxidation of herbicide halosulfuron methyl on glassy carbon electrode and applications. *Talanta* 82, 1814–1819. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.07.085>
- Soltani, N., Shropshire, C., Sikkema, P.H., 2018. Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) control in corn with various rates of halosulfuron. *Can. J. Plant Sci.* 98, 628–632. <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0229>
- Srivastava, R.K., Singh, A., Shukla, S. V., 2013. Chemical Investigation and Pharmaceutical Action of *Cyperus rotundus* - A Review. *J. Biol. Act. Prod. from Nat.* 3, 166–172. <https://doi.org/10.1080/22311866.2013.833381>
- Stitt, M., Zeeman, S.C., 2012. Starch turnover: Pathways, regulation and role in growth. *Curr. Opin. Plant Biol.* <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2012.03.016>
- Taiz L., Zeiger E, Møller IM, Murphy A. 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6th. ed. Porto Alegre, Artmed, 858p.
- Travlos, I., Tataridas, A., Kanatas, P., Kakabouki, I., Papastylianou, P., 2020. Weed management in soybean with a special focus on the control of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*). *Agron. Res.* 18, 595–602. <https://doi.org/10.15159/AR.20.037>
- Tuffi Santos, L.D., Da Cruz, L.R., Dos Santos, S.A., Sant'anna-Santos, B.F., Dos Santos, I.T., De Oliveira, A.M., Barros, R.E., Santos, M. V., Faria, R.M., 2015. Phenotypic plasticity of *Neonotonia wightii* and *Pueraria phaseoloides* grown under different light intensities. *An. Acad. Bras. Cienc.* 87, 519–528. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520140017>
- Ubierna, N., Sun, W., Kramer, D.M., Cousins, A.B., 2013. The efficiency of C₄ photosynthesis under low light conditions in *Zea mays*, *Miscanthus x giganteus* and *Flaveria bidentis*. *Plant. Cell Environ.* 36, 365–381. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02579.x>
- Wang, C.J., Wan, J.Z., 2020. Assessing the habitat suitability of 10 serious weed species in global croplands. *Glob. Ecol. Conserv.* 23, e01142. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01142>

- Wang, Yanhui, Du, L., Liu, H., Long, D., Huang, M., Wang, Yuting, Huang, S., Jin, D., 2020. Halosulfuron methyl did not have a significant effect on diversity and community of sugarcane rhizosphere microflora. *J. Hazard. Mater.* 399, 123040. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123040>
- Webster, T.M., Grey, T.L., 2014. Halosulfuron Reduced Purple Nutsedge (*Cyperus rotundus*) Tuber Production and Viability . *Weed Sci.* 62, 637–646. <https://doi.org/10.1614/ws-d-14-00032.1>
- Webster, T.M., Grey, T.L., Ferrell, J.A., 2017. Purple Nutsedge (*Cyperus rotundus*) Tuber Production and Viability Are Reduced by Imazapic. *Weed Sci.* 65, 97–106. <https://doi.org/10.1614/WS-D-16-00088.1>
- Xu, L., Shou, J. yao, Gill, R.A., Guo, X., Najeeb, U., Zhou, W. jun, 2019. Effects of ZJ0273 on barley and growth recovery of herbicide-stressed seedlings through application of branched-chain amino acids. *J. Zhejiang Univ. Sci. B* 20, 71–83. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1700375>
- Yao, X., Li, C., Li, S., Zhu, Q., Zhang, H., Wang, H., Yu, C., St. Martin, S.K., Xie, F., 2017. Effect of shade on leaf photosynthetic capacity, light-intercepting, electron transfer and energy distribution of soybeans. *Plant Growth Regul.* 83, 409–416. <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0307-y>
- Yuan, X., Zhang, L., Ning, N., Wen, Y., Dong, S., Yin, M., Guo, M., Wang, B., Feng, L., Guo, P., 2014. Photosynthetic Physiological Response of *Radix isatidis* (*Isatis indigotica* Fort.) Seedlings to Nicosulfuron. *PLoS One* 9, e105310. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105310>
- Zha, T.S., Wu, Y.J., Jia, X., Zhang, M.Y., Bai, Y.J., Liu, P., Ma, J.Y., Bourque, C.P.A., Peltola, H., 2017. Diurnal response of effective quantum yield of PSII photochemistry to irradiance as an indicator of photosynthetic acclimation to stressed environments revealed in a xerophytic species. *Ecol. Indic.* 74, 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.027>

4.2 Artigo 2 – Coberturas vegetais são eficientes no manejo de *Cyperus rotundus*?

Este artigo foi elaborado conforme normas da Revista Ciência e Agrotecnologia

Coberturas vegetais são eficientes no manejo de *Cyperus rotundus*?

RESUMO: As práticas de manejo de *Cyperus rotundus*, uma das plantas daninhas mais importantes no mundo, devem visar à redução da densidade da espécie e da viabilidade de seus tubérculos. Objetivou-se avaliar a interferência de plantas de cobertura sobre a população de *C. rotundus*. O experimento foi montado em delineamento de blocos casualizados, consistindo em três culturas de cobertura: *Urochloa ruziziensis*; *Canavalia ensiformis* e *Crotalaria juncea*; capina manual com enxada; aplicação de herbicida halosulfuron methyl e pousio. Avaliou-se na população de *C. rotundus* densidade e massa seca das manifestações epígeas; número, biomassa fresca e emergência de tubérculos; eficiência fotoquímica do fotossistema II e taxa de transporte de elétrons. O cultivo de *U. ruziziensis* manteve os valores de densidade de manifestações epígeas semelhantes à população inicial. A aplicação de halosulfuron methyl reduziu densidade e massa seca de manifestações epígeas de *C. rotundus*, em relação à população inicial. A capina manual proporcionou maior número e biomassa fresca de tubérculos, sendo superior 52,97 e 43,33% em relação a população inicial, respectivamente. As culturas de cobertura *U. ruziziensis*, *C. ensiformis* e *C. juncea* apresentaram resultados satisfatórios no manejo da propagação vegetativa de *C. rotundus*. Plantas de *C. rotundus* em convivência com *U. ruziziensis*, *C. juncea* e *C. ensiformis* apresentaram redução nos valores de eficiência fotoquímica do fotossistema II e aumento nos valores da taxa de transporte de elétrons.

Palavras-chave: densidade populacional; espécies de cobertura; fluorescência da clorofila; manejo de plantas daninhas; tiririca.

Are vegetable coverings efficient in the management of *Cyperus rotundus*?

ABSTRACT: The management practices of *Cyperus rotundus*, one of the most important weeds in the world, should aim at reducing the density of the species and the viability of its tubers. The objective was to evaluate the interference of cover crops on the population of *C. rotundus*. The experiment was set up in a randomized block design, consisting of three cover crops: *Urochloa ruziziensis*, *Canavalia ensiformis*, and *Crotalaria juncea*; manual weeding hoe; application of halosulfuron methyl herbicide and fallow. In the population of *C. rotundus*, the density and dry biomass of epigeal manifestations were evaluated; number, fresh weight, and emergence of tubers; photochemical efficiency of photosystem II and electron transport rate. The cultivation of *U. ruziziensis* maintained the values of density of epigeal manifestations similar to the initial community. The application of halosulfuron methyl reduced the density and dry biomass of shoots of *C. rotundus* in relation to the initial population. Manual weeding provided a greater number and fresh biomass of tubers, 52.97 and 43.33% higher than the initial population. The cover crops *U. ruziziensis*, *C. ensiformis* and *C. juncea* present satisfactory results in the management of vegetative propagation of *C. rotundus*. Plants of *C. rotundus* living with *U. ruziziensis*, *C. juncea* and *C. ensiformis* show a reduction in the photochemical efficiency values of the FSII and an increase in the electron transport rate values.

Keywords: cover crops; chlorophyll fluorescence; population density; purple nutsedge; weed management.

INTRODUÇÃO

Cyperus rotundus é atualmente classificada dentre as 10 espécies daninhas mais prejudiciais em áreas agrícolas do mundo; uma planta altamente dominante e prolífica, com adaptação em diferentes habitats (Wang e Wan, 2020). Essa espécie é capaz de infestar culturas agrícolas e gerar grandes perdas na produtividade (Marí et al., 2020; Peerzada, 2017; Travlos et al., 2020). Ela apresenta difícil controle, devido a sua forma de propagação seminífera e vegetativa (Peerzada, 2017), produzindo tubérculos que podem permanecer viáveis no solo em condições adversas (Webster; Grey; Ferrell, 2017). Os tubérculos possuem forte domínio apical (Nelson; Renner, 2002; Webster et al., 2008), que, quando quebrado por fracionamento, decorrente de práticas mecânicas de revolvimento do solo, levam à intensa propagação da espécie.

Diante a preocupação global com a preservação ambiental, nos últimos anos tem-se buscado pesquisas para o manejo de plantas daninhas que visem minimizar o uso de herbicidas (Gfeller et al., 2018; Melander et al., 2013). Além disto, a legislação brasileira incorporou a rastreabilidade para produção de olerícolas para fins de monitoramento e controle de resíduos de agrotóxicos (Brasil, 2018). Desta forma, o emprego de técnicas que diminuam a dependência de herbicidas sintéticos, como o sombreamento e o convívio com culturas de coberturas vegetais, apresenta-se interessante para o manejo de *C. rotundus*.

As culturas de cobertura vegetal podem ser usadas para diminuir populações de plantas daninhas, conciliando benefícios ao ecossistema, como a proteção contra erosão do solo, melhoria na qualidade da água e do solo e redução na perda de nutrientes (Blanco-Canqui et al., 2015; Gfeller et al., 2018; Wittwer et al., 2017). O emprego de culturas de cobertura resulta em alterações na quantidade e na qualidade de luz disponível abaixo do dossel o que promove alterações no desenvolvimento e nas características morfológicas e fisiológicas das plantas daninhas (Colbach; Gardarin; Moreau, 2019; Yasin et al., 2019; Yasin; Rosenqvist; Andreasen, 2017). O cultivo de culturas de verão reduziu a densidade de plantas de *C. rotundus* entre 69 e 86% em condições de vasos, demonstrando que a competição de culturas de cobertura pode desempenhar papel importante para o manejo de plantas daninhas (Iqbal et al., 2019).

Atualmente, o uso de herbicidas se destaca nas recomendações de controle de *C. rotundus*, sendo o principal produto empregado no mundo o halosulfuron methyl, especialmente no cultivo de cana-de-açúcar, arroz, milho e gramados (AGROFIT 2020; Devi et al., 2019; Wang et al., 2020; Webster e Grey, 2014). Esse é um herbicida inibidor da acetolactate synthase (ALS) (Chand et al., 2014). Sua ação dificulta a síntese de proteínas, interferindo no crescimento vegetal e tornando-se letal às plantas sensíveis (Li et al., 2020; Ntoanidou et al., 2016). A aplicação de halosulfuron methyl promove controle de *C. rotundus* superior a 90% (Soltani; Shropshire; Sikkema, 2018; Webster e Grey, 2014).

Os métodos mais eficazes de manejo para *C. rotundus* devem visar à redução na densidade da espécie e da viabilidade de seus tubérculos, a fim de promover o controle de sua população. O conhecimento relacionado à interferência de cultivos de plantas de cobertura sobre plantas daninhas pode direcionar para práticas culturais que favoreçam o manejo racional e eficiente, em termos de redução da infestação de *C. rotundus*. Dessa forma, objetivou-se avaliar a eficiência de plantas de cobertura sobre o controle populacional de *C. rotundus*.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em dois ciclos de cultivo entre os anos de 2018 e 2019, em condições de campo, na Fazenda Experimental Hamilton de Abreu Navarro, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, em Montes Claros-MG, Brasil (16° 41'S, 43° 50'O, altitude 646 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, considerado tropical de savana, com inverno seco e verão chuvoso (CLIMATE-DATA, 2020). Os dados de precipitação e de temperatura durante a condução do experimento são apresentados na Figura 1 e foram obtidos em estação meteorológica convencional do INMET, localizada a cerca de 1,0 Km da área experimental. O solo da área experimental apresentou as seguintes características químicas: pH em água de 7,3; P de 270 mg dm⁻³; K de 324 mg dm⁻³; Ca de 8,10 cmol_c dm⁻³; Mg de 2,44 cmol_c dm⁻³; Al de 0 cmol_c dm⁻³; H + Al de 0,93 cmol_c dm⁻³; SB de 11,37 cmol_c dm⁻³; t de 11,37 cmol_c dm⁻³; V de 92% e teor de matéria orgânica de 5,38 dag kg⁻¹. Essa área já havia sido cultivada com espécies hortícolas, mandioca e milho-verde, com histórico de alta infestação por *C. rotundus*. A população inicial de *C. rotundus* consistiu de 850 manifestações epígeas/m² e 2153 tubérculos/m².

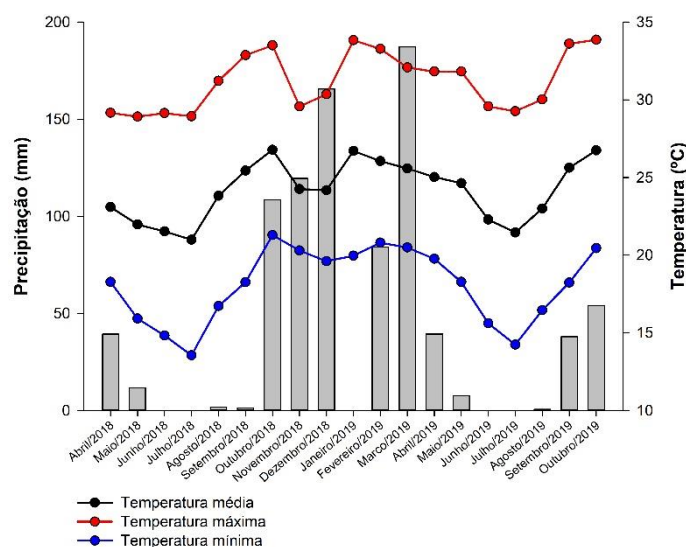


Figura 1. Dados climáticos na área experimental durante a condução do experimento em Montes Claros, Minas Gerais, Brasil.

Ao longo dos dois ciclos de cultivo, as principais plantas daninhas presentes na área experimental, além de *C. rotundus*, com seus respectivos índices de valor de importância (IVI) foram: *Amaranthus* sp. (35,8), *Eleusine indica* (16,95), *Commelina bengalensis* (7,85) e *Sorghum arundinaceum* (5,85).

Delineamento experimental e aplicação dos tratamentos

Foi adotado delineamento em blocos casualizados, com 6 tratamentos e 4 repetições. A área de cada parcela foi de 4 m² (2 x 2 m.), as quais eram separadas entre si por bordas de 1 m.

Os tratamentos consistiram em três culturas de cobertura: *Urochloa ruziziensis* (capim-braquiaria); *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco) e *Crotalaria juncea* (crotalária); capina manual com enxada; aplicação de 112,5 g ha⁻¹ de halosulfuron methyl (Sempra®, Monsanto Company, USA); e pousio manejado.

A área experimental foi previamente roçada e gradeada. As parcelas foram adubadas com 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na formulação superfosfato simples. A semeadura das espécies foi realizada no mês de março em cada ano, em espaçamento de 0,50 m. entre linhas. Foram semeadas 5 e 25 sementes por metro de *Canavalia ensiformis* e *Crotalaria juncea*, respectivamente, e 3 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis de *Urochloa ruziziensis*. Uma adubação de cobertura com 50 kg ha⁻¹ de N foi realizada após 30 dias do plantio das espécies, a fim de suprir a demanda das espécies de cobertura.

A irrigação na área experimental foi realizada por aspersão convencional, aspersor STF S11-1, com lâmina diária média ao longo do experimento de 6,5 mm., mantendo o solo próximo à capacidade de campo.

Aos 50 dias após o preparo do solo na área experimental, foram realizados os tratamentos de capina manual com auxílio de enxada e aplicação da calda de halosulfuron methyl. Utilizou-se pulverizador costal pressurizado a CO₂, com pressão constante a 300 kPa, equipado com ponta modelo AVI11002 (Jacto, Pompéia, Brazil), regulado para aplicação de volume de 150 L ha⁻¹ de calda.

Após 90 dias de semeadura das plantas de cobertura, toda a área experimental foi dessecada com a aplicação de 1.850 g ha⁻¹ de glyphosate (Roundup Original® DI, 370 g ae L⁻¹, Monsanto), período em que as plantas de cobertura estavam no início de florescimento. Aos 15 dias após a dessecação, as plantas de cobertura foram roçadas, formando-se assim uma palhada sobre o solo. Amostras da palhada das espécies de cobertura foram coletadas 30 dias após a dessecação, por meio de quadrado metálico de dimensões 0,50 x 0,50 m, levadas à estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas e pesadas para determinação da produção de biomassa seca (Figura 2). A palhada foi mantida sobre o solo por período de 75 dias, sem realização de nenhum tipo de manejo. O esquema gráfico do manejo adotado durante o ciclo de cultivo é apresentado na Figura 3.

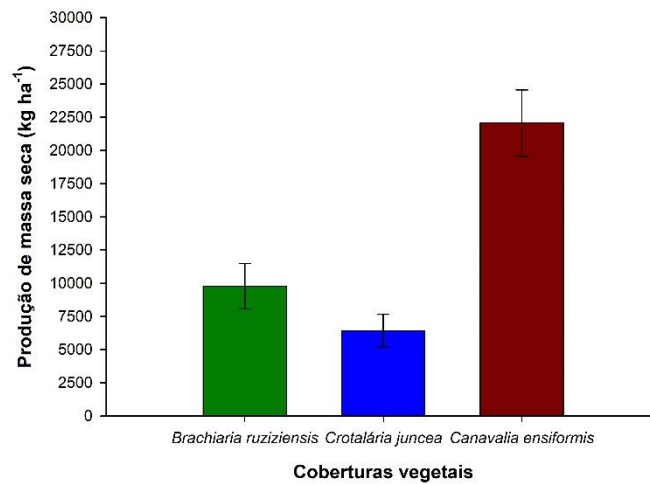


Figura 2. Produção de massa seca 15 dias após dessecação das espécies de cobertura *Urochloa ruziziensis*, *Canavalia ensiformis* e *Crotalaria juncea*. Barras = erro padrão da média.

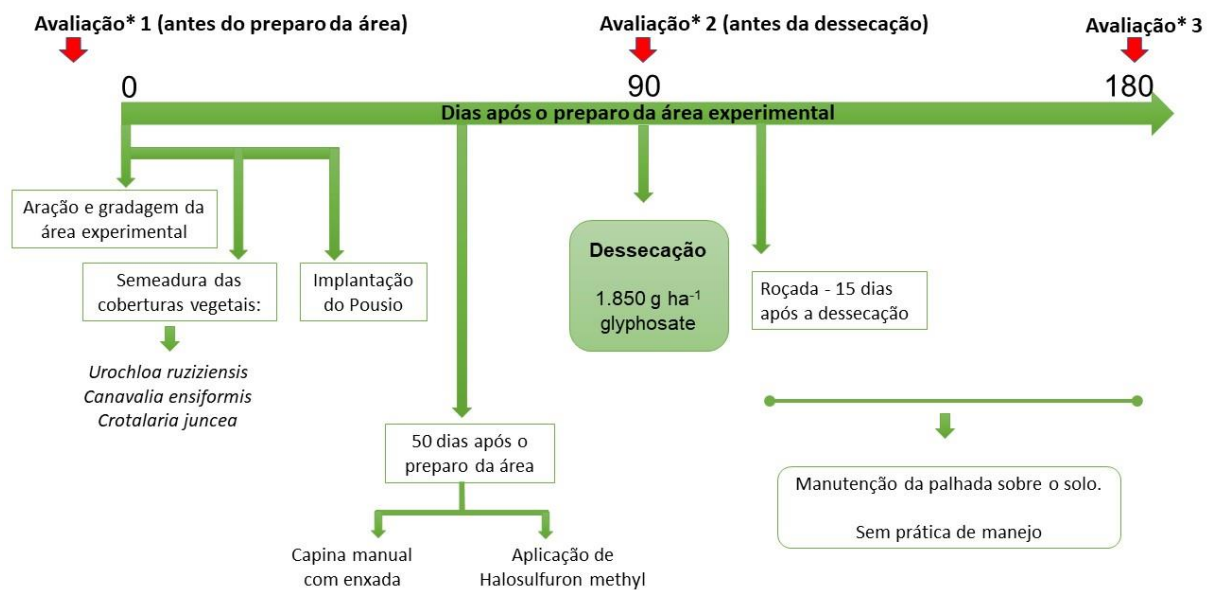


Figura 3. Esquema gráfico do manejo realizado durante os ciclos de cultivo.

*Avaliação: População de *C. rotundus*: número e massa seca de manifestações epígeas; número, biomassa fresca e emergência de tubérculos.

Após a última coleta para avaliações, a área experimental permaneceu em intervalo por 120 dias sem a adoção de nenhuma prática de manejo. Após esse período, a área de pesquisa foi roçada e gradeada e implantados os tratamentos nas mesmas condições e parcelas do ano anterior, constituindo o ciclo no ano de 2019. Todo o manejo adotado foi semelhante ao primeiro ciclo de cultivo.

Características avaliadas

População de *C. rotundus*

A população de *C. rotundus* foi avaliada em três épocas ao longo dos dois ciclos de cultivo: (E1) antes do preparo do solo, com gradagem para instalação dos experimentos; (E2) 90 dias após o preparo do solo; (E3) 180 dias após o preparo do solo.

As manifestações epígeas foram coletadas em uma amostra aleatória dentro de cada parcela (0,25 m²), contadas, e levadas para secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas, sendo determinadas a densidade (número de indivíduos/m²) e a massa seca (g m⁻²).

Os tubérculos foram recolhidos na profundidade de 0,20 m. a partir das mesmas amostras para manifestações epígeas. Esses foram separados das outras estruturas subterrâneas da planta, contados e pesados, sendo determinados o número de tubérculos/m² e a biomassa fresca de tubérculos. Depois de pesados, 20 tubérculos inteiros de cada amostra, sem lesões mecânicas, rígidos e aparentemente viáveis, foram selecionados e plantados em vasos plásticos contendo 2 kg de substrato de areia umedecida com água. Aos 30 dias após o plantio, as manifestações epígeas foram contadas e os valores expressos em porcentagem de emergência em relação ao número de tubérculos de plantas.

Parâmetros fisiológicos de *C. rotundus*

Foram analisadas a eficiência fotoquímica do fotossistema II (Φ_{PSII}) e a taxa de transporte de elétrons (ETR) nas plantas de *C. rotundus* existentes em cada parcela, com auxílio do aparelho fluorômetro Y (II) meter (OPTI-SCIENCES, Hudson, USA). Essa avaliação foi realizada nos dois anos de cultivo. Para as parcelas que receberam o herbicida halosulfuron methyl, as avaliações ocorreram aos sete dias após a aplicação, ou seja, aos 57 dias após preparo da área e a implantação do experimento. As leituras foram realizadas entre 08:00 e 10:00 horas da manhã. No terço médio de folhas totalmente desenvolvidas de *C. rotundus*, foram avaliadas três folhas de plantas diferentes em cada parcela experimental. Os valores por parcela foram determinados pela média aritmética das três leituras.

Análise estatística

Os dados referentes à população de *C. rotundus* foram analisados de forma descritiva, sendo apresentadas a média e o desvio padrão da média ao longo dos dois ciclos de cultivo. As características referentes à fluorescência da clorofila foram analisadas de forma conjunta entre os dois ciclos de cultivo, foram submetidas à análise de variância pelo teste F, e as médias entre os métodos de controle agrupadas pelo critério de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). As análises estatísticas do trabalho foram realizadas por meio do software R (R CORE TEAM, 2019).

RESULTADOS

População de *Cyperus rotundus* L.

Os métodos de controle promoveram alterações na população de *C. rotundus* ao longo dos ciclos de cultivo (Figuras 4, 5, 6 e 7).

As espécies de cobertura vegetal, pousio e halosulfuron methyl promoveram maiores reduções no número de massa seca de manifestações epígeas de *C. rotundus* durante os 90 dias iniciais do ciclo de

avaliação, não diferindo entre si, com exceção da capina manual (Figuras 4 e 5). Após os 90 dias, quando se realizou a dessecação da área experimental com glyphosate, observou-se recuperação da população de *C. rotundus* nas áreas com o cultivo das espécies de cobertura e em pousio, com um aumento no número das manifestações epígeas e, conseqüentemente, aumento na massa seca (Figuras 4 e 5). Nas parcelas tratadas com halosulfuron methyl observou-se menor recuperação da população de *C. rotundus*, comparada a dos demais métodos de controle. Ao final do primeiro ciclo de cultivo, a capina manual reduziu as manifestações epígeas em comparação à população inicial (Figura 4), porém aumentou a massa seca de *C. rotundus* (Figura 5).

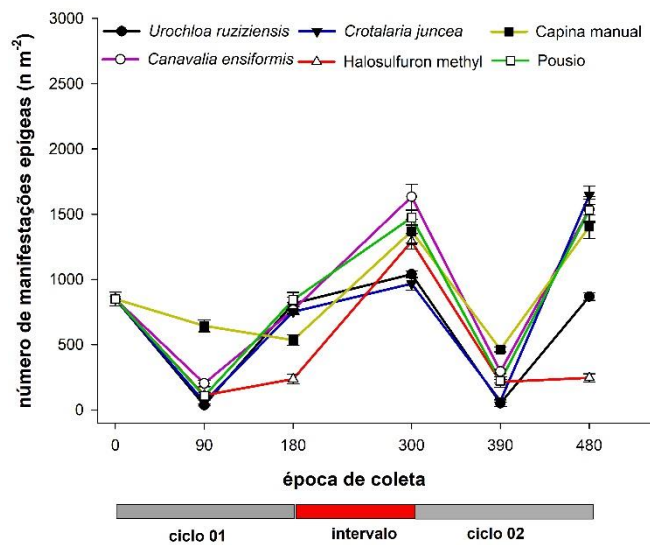


Figura 4. Evolução do número de manifestações epígeas de *C. rotundus* sob diferentes métodos de controle, em dois ciclos de cultivo. Barras = erro padrão da média.

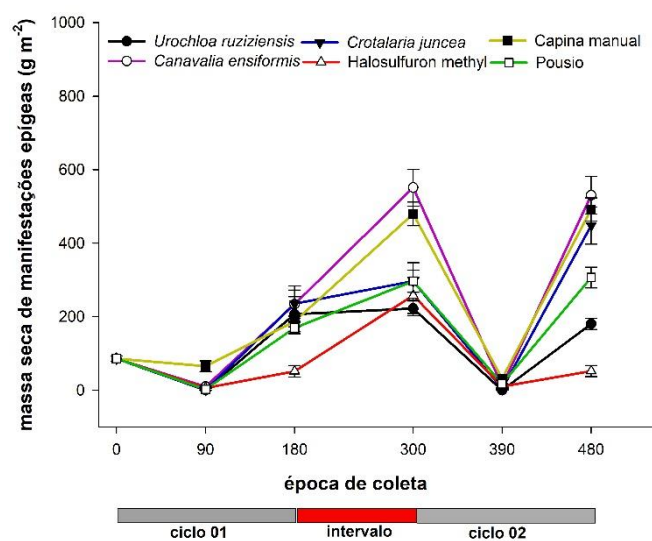


Figura 5. Evolução da massa seca de manifestações epígeas de *C. rotundus* sob diferentes métodos de controle, em dois ciclos de cultivo. Barras = erro padrão da média.

Ao final do primeiro ciclo de cultivo (180 dias), o pousio manejado restabeleceu a uniformidade de *C. rotundus* na área experimental, promovendo incremento no número e na massa seca das manifestações epígeas (Figuras 4 e 5). Após 90 dias de implantação dos tratamentos, no segundo ciclo de cultivo, as coberturas *U. ruziziensis* e *C. juncea* resultaram nas menores médias para número de manifestações epígeas de *C. rotundus* (Figura 4); porém, os métodos de controle não diferiram quanto à massa seca da infestante (Figura 5). Ao final do segundo ciclo de cultivo, o halosulfuron methyl proporcionou menor densidade e massa seca de manifestações epígeas, seguido pelo cultivo de *U. ruziziensis*. Os demais métodos não diferiram entre si, resultando em maiores densidades e massa seca (Figuras 4 e 5). Apenas em áreas tratadas com o halosulfuron methyl observou-se número de manifestações epígeas inferior aos valores iniciais ao final dos dois ciclos (Figura 4), indicando redução na população de *C. rotundus*.

No primeiro ciclo de cultivo, as coberturas vegetais, o halosulfuron methyl e o pousio promoveram redução no número de tubérculos nos 90 dias iniciais, com destaque para *C. ensiformis*, que proporcionou menor número de tubérculos, e a capina manual, que aumentou o número de tubérculos de *C. rotundus* (Figura 5). Após a dessecação da área experimental, capina manual e *C. juncea* promoveram redução no número de tubérculos (Figura 6). Assim como no número de manifestações epígeas (Figura 4), após o intervalo de 120 dias, o número de tubérculos foi restabelecido, todos os métodos de controle promoveram incremento na população, sendo a capina manual e *C. ensiformis* responsáveis pelos maiores valores (Figura 6). Posteriormente, após a implantação do segundo ciclo de cultivo, todos os métodos de manejo resultaram em reduções no número de tubérculos de *C. rotundus*. No entanto, a capina manual proporcionou maior número de tubérculos, sendo os demais métodos de controle semelhantes entre si (Figura 6).

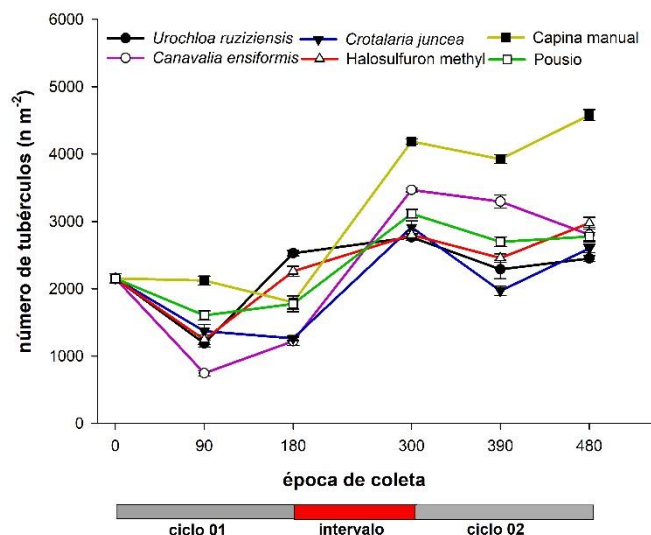


Figura 6. Evolução do banco de tubérculos de *C. rotundus* coletados na camada de 0-20 cm de solo sob diferentes métodos de controle, em dois ciclos de cultivo. Barras = erro padrão da média.

No primeiro ciclo de cultivo, nos 90 dias iniciais, os métodos de controle promoveram redução na biomassa fresca de tubérculos (Figura 7). Após a dessecação da área experimental, aos 90 dias, apenas

C. juncea e capina manual propiciaram redução da biomassa fresca de tubérculos (Figura 7). Como nas demais características, o intervalo entre os ciclos de cultivo promoveu aumento na biomassa fresca dos tubérculos, com posterior redução nos 90 dias iniciais de cultivo. Após a dessecação, apenas *C. ensiformis* reduziu a biomassa fresca de tubérculos. Ao final do segundo ciclo de cultivo, todos os métodos de controle avaliados promoveram incrementos na biomassa fresca de tubérculos em relação a população inicial (Figura 7).

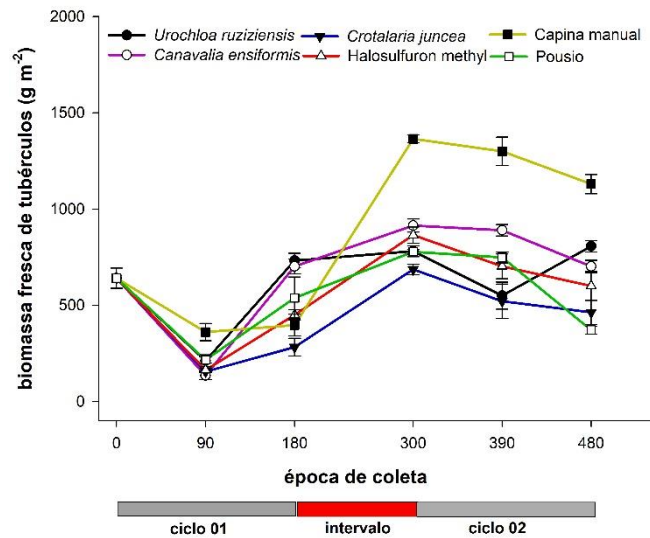


Figura 7. Evolução da biomassa fresca de tubérculos de *C. rotundus* sob diferentes métodos de controle, em dois ciclos de cultivo. Barras = erro padrão da média.

Os tubérculos de *C. rotundus* apresentaram taxa de emergência inicial de tubérculos de 87% (Figura 8). Ao longo dos ciclos de cultivo, a adoção dos métodos de controle ocasionou poucas variações na taxa de emergência dos tubérculos. Nos dois ciclos, nos 90 dias iniciais de cultivo, *U. ruziziensis* promoveu menor taxa de emergência que *C. ensiformis*, capina manual e pousio (Figura 8). Ao final do segundo ciclo de cultivo, com 480 dias após o primeiro preparo da área, os métodos de manejo empregados não se diferenciaram quanto à taxa de emergência de tubérculos de *C. rotundus*, porém, com valores inferiores à população inicial nas parcelas cultivadas com *U. ruziziensis* (Figura 7).

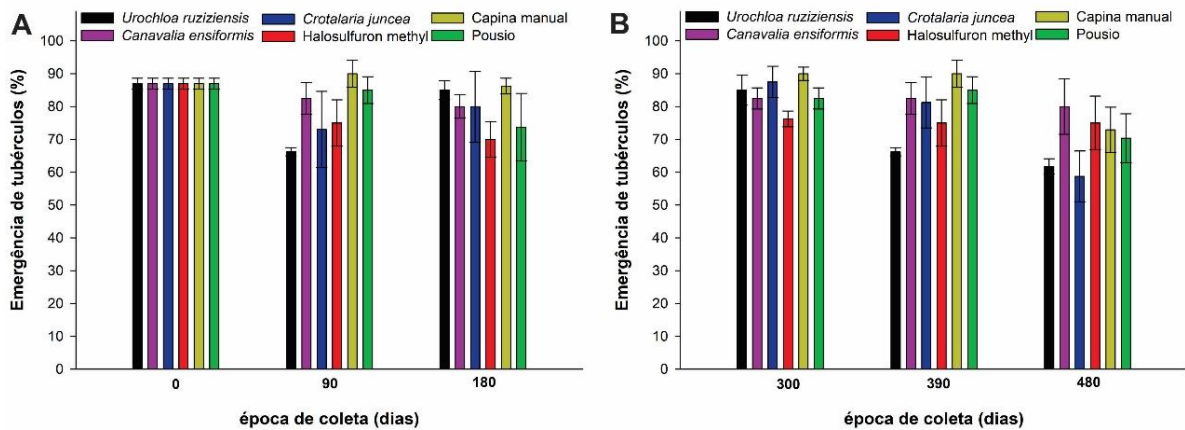


Figura 8. Emergência de tubérculos de *C. rotundus* coletados em área sob diferentes métodos de controle, em dois ciclos de cultivo: (A) ciclo 1 e (B) ciclo 2. Barras = erro padrão da média.

Parâmetros fisiológicos de *C. rotundus*

Os métodos de controle influenciaram na Φ PSII e na ETR de plantas de *C. rotundus* (Tabela 1). As três espécies de cobertura e o pousio proporcionaram os maiores valores de Φ PSII nas plantas de *C. rotundus*, enquanto o método capina manual, seguido da aplicação de halosulfuron methyl, promoveram os maiores valores de ETR em plantas de *C. rotundus*.

Tabela 1. Eficiência fotoquímica do PSII (Φ PSII) e taxa de transporte de elétrons (ETR - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de *C. rotundus* submetidas a diferentes manejos de controle em dois ciclos de cultivo.

Métodos de controle	Φ PSII	ETR
<i>Urochloa ruziziensis</i>	0,68 a	4,79 c
<i>Canavalia ensiformis</i>	0,69 a	2,94 c
<i>Crotalaria juncea</i>	0,62 a	8,60 c
Halosulfuron methyl	0,30 b	67,14 b
Capina manual	0,29 b	120,77 a
Pousio	0,63 a	5,69 c
CV (%)	10,58	29,68

Medias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

DISCUSSÃO

Nos dois ciclos de cultivo, nos 90 dias iniciais, os métodos de controle mostraram-se eficientes na supressão da densidade e do acúmulo de massa de manifestações epígeas de *C. rotundus* (Figuras 4 e 5). Esse período caracterizou-se pela convivência de *C. rotundus* com as espécies de cobertura e outras

espécies daninhas presentes no pousio, bem como o período de aplicação do halosulfuron methyl e a realização da capina manual. É importante destacar que os níveis de supressão promovidos pelas espécies de cobertura e o pousio foram semelhantes ao efeito causado pelo herbicida halosulfuron methyl, amplamente utilizado no manejo de *C. rotundus*, especialmente no cultivo de cana-de-açúcar, arroz, milho e gramados (AGROFIT 2020; Devi et al., 2019; Wang et al., 2020; Webster e Grey, 2014). Iqbal et al. (2019) relataram altos níveis de supressão na densidade de *C. rotundus* causados pela competição com gergelim, milheto e amendoim, comparáveis com os danos promovidos pela aplicação de herbicidas.

Plantas de *C. rotundus* apresentam metabolismo C4. Dessa forma, quando submetidas a condições de restrição luminosa, têm seu desenvolvimento prejudicado (Taiz et al. 2017). Assim, supressões na ocorrência da espécie e de seus tubérculos estão relacionadas à competição intraespecífica, indicando o uso mais eficaz dos recursos, principalmente pela energia luminosa, em decorrência do sombreamento promovido pelas plantas de cobertura. O efeito da biomassa das culturas de cobertura e o sombreamento promovido por estas é considerado como importante fator de supressão de plantas daninhas (Finney; White; Kaye, 2016; Wittwer et al., 2017). Entretanto, alguns relatos demonstram que o efeito alelopático das culturas de cobertura também influenciam na supressão de plantas daninhas (Blaise et al., 2020; Gfeller et al., 2018; Macías; Mejías; Molinillo, 2019).

Apesar da supressão na densidade de *C. rotundus*, os tubérculos permanecem no solo até receberem estímulo para germinar (Chand et al., 2014). Sendo assim, os métodos de controle devem visar à redução no número de tubérculos. O número de tubérculos ao final do segundo ano de cultivo foi semelhante entre as três espécies de coberturas, halosulfuron methyl e pousio (Figura 6). Em contrapartida, todos os métodos de controle proporcionaram incremento no número de tubérculos comparado à população inicial. Porém, é importante destacar que as três coberturas vegetais, halosulfuron methyl e pousio resultaram em menores taxas de incremento e de emergência de tubérculos (Figuras 6 e 8). Plantas de *C. rotundus*, quando submetidas à condição de sombreamento, reduzem a produção de fotoassimilados (Ubierna et al., 2013), o que influencia na destinação desses recursos para as estruturas subterrâneas, uma vez que algumas plantas, quando em condições de estresse luminoso, tendem a investir maior quantidade de fotoassimilados para a parte aérea, para melhor captação da luz restrita (Feng et al., 2019; Taiz et al., 2017).

Segundo Machado et al. (2005), a temperatura do solo é um fator ambiental importante que influencia na germinação de tubérculos de *C. rotundus* sob umidade adequada. Os autores relatam que a germinação dos tubérculos aumenta linearmente em temperaturas do solo constantes, porém é máxima quando as temperaturas são alternadas. Dessa forma, o uso de coberturas vegetais e palhada sobre o solo reduz a incidência dos raios solares, diminuindo a alternância de temperatura na superfície do solo e, conseqüentemente, promovendo menor germinação de tubérculos de *C. rotundus*.

Aliado ao efeito promovido pelo sombreamento e biomassa das espécies de cobertura, Blaise et al. (2020) associaram os efeitos consistentes de *C. juncea* na germinação e crescimento de plantas daninhas aos aleloquímicos liberados pela decomposição da biomassa da cultura.

O método de controle capina manual com enxada resultou no maior número de tubérculos (Figura 6). Esse resultado relaciona-se aos fracionamentos mecânicos causados nos tubérculos a partir da prática da capina. Tubérculos de *C. rotundus* apresentam forte dominância apical (Bangarwa et al., 2008). Assim, durante a prática de capina manual, os tubérculos são frequentemente cortados, liberando a dominância apical e estimulando a germinação de novas brotações. A partir da brotação do tubérculo, rizomas se alongam verticalmente e crescem em direção à superfície do solo (Peerzada, 2017), e a exposição à luz solar e as flutuações de temperatura diurna estimulam o desenvolvimento do bulbo e a formação de novos tubérculos (Machado et al., 2005). Além disso, a rápida brotação e a exposição à intensa luminosidade favorecem a atividade fotossintética de *C. rotundus*. Por ser uma espécie de propagação vegetativa, o maior número de tubérculos demonstra que a planta destinou maior parte de fotoassimilados para as estruturas subterrâneas. Este comportamento da população de *C. rotundus* quando submetida a capina manual, corrobora que este método de controle se apresenta inviável no manejo desta espécie daninha.

O período de pousio de 120 dias entre os cultivos restabeleceu a população de *C. rotundus* em toda a área experimental. Esse resultado relaciona-se às condições climáticas do período que compreendeu entre os meses de outubro de 2019 e janeiro de 2020, caracterizado por um período de chuvas e altas temperaturas (Figura 1), condições que favoreceram o desenvolvimento da população de *C. rotundus*, com produção de novos tubérculos e emergência de manifestações epigeas.

Nas parcelas cultivadas com plantas de cobertura e no pousio manejado, plantas de *C. rotundus* aumentaram a Φ PSII e reduziram a ETR (Tabela 1). Esse resultado está relacionado ao sombreamento promovido pelas espécies de cobertura e por outras espécies de plantas daninhas presentes no pousio, como o *Sorghum arundinaceum*, gramínea de porte alto, identificada com frequência nas parcelas experimentais por ocasião das avaliações fisiológicas. O método de capina manual promoveu exposição de *C. rotundus* à maior intensidade luminosa, uma vez que as demais plantas daninhas na área foram eliminadas e *C. rotundus* apresenta uma maior capacidade de rebrota, apresentando pleno desenvolvimento no momento das avaliações, o que justifica a redução no valor de Φ PSII e maior ETR.

Plantas de metabolismo C4 como *C. rotundus*, quando são submetidas a uma condição de restrição luminosa, têm seu aparato fotossintético prejudicado (Taiz et al, 2019), ocasionando redução na ETR. Em contrapartida, quando submetidas a uma condição de intensa luminosidade, as plantas desenvolvem um processo de fotoproteção denominado *nonphotochemical quenching* (NPQ), responsável por dissipar o excesso de energia na forma de calor (Pinnola et al., 2013). Dessa forma, em condições de maior intensidade luminosa, o NPQ é aumentado e reduz a Φ PSII (Ashraf e Harris, 2013; Hazrati et al., 2016; Janka et al., 2015; Zha et al., 2017), justificando a maior eficiência quântica em plantas de *C. rotundus* submetidas ao sombreamento. Entretanto, essa maior eficiência não foi capaz de compensar os danos causados pela redução na intensidade de luz, observada na maior ETR de plantas sob maior disponibilidade luminosa.

O herbicida halosulfuron methyl promoveu danos no aparato fotossintético de *C. rotundus*, reduzindo a Φ PSII e ETR. Há relatos em que herbicidas inibidores da ALS, como o halosulfuron methyl, podem alterar a indução da cinética da fluorescência (Barbagallo et al., 2003) e causar danos no

aparelho fotossintético (Hassannejad; Porheidar Ghafarbi; Lotfi, 2020; Yuan et al., 2014). Xu et al. (2019) e Yuan et al. (2014) observaram que a aplicação de herbicidas inibidores de ALS promoveu redução na Φ_{PSII} em plantas de cevada e *Isatis indigotica*, respectivamente.

A convivência entre as espécies de cobertura promoveu condição de estresse nas plantas de *C. rotundus*, interferiu na fisiologia e na dinâmica populacional. Assim, o emprego de coberturas vegetais apresenta-se como método de controle interessante no manejo dessa espécie daninha, aliado à busca em minimizar o uso de herbicidas sintéticos.

CONCLUSÕES

As culturas de cobertura *U. ruziziensis*, *C. ensiformis* e *C. juncea* proporcionaram resultados satisfatórios na supressão da propagação vegetativa de *C. rotundus*.

O halosulfuron methyl reduziu a população inicial de manifestações epígeas de *C. rotundus* e *U. ruziziensis* manteve a densidade inicial.

Plantas de *C. rotundus*, em convivência com *U. ruziziensis*, *C. juncea*, *C. ensiformis* e com outras plantas daninhas no pousio, apresentam condição de estresse fisiológico, com redução nos valores de eficiência fotoquímica do fotossistema II e aumento nos valores de taxa de transporte de elétrons.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT (Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários). 2020. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil. http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Photosynthesis under stressful environments: An overview. **Photosynthetica**, v. 51, n. 2, p. 163-190, 2013.
- BANGARWA, S. K. et al. Purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) management in an organic production system . **Weed Science**, v. 56, n. 4, p. 606–613, ago. 2008.
- BARBAGALLO, R. P. et al. Rapid, noninvasive screening for perturbations of metabolism and plant growth using chlorophyll fluorescence imaging. **Plant Physiology**, v. 132, n. 2, p. 485–493, 1 jun. 2003.
- BLAISE, D. et al. Allelopathic intercrops and its mulch as an integrated weed management strategy for rainfed Bt-transgenic cotton hybrids. **Crop Protection**, v. 135, p. 105214, 1 set. 2020.
- BLANCO-CANQUI, H. et al. Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2449–2474, 1 nov. 2015.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa Conjunta nº 02 de 07 de fevereiro de 2018. Estabelece os procedimentos para a aplicação da rastreabilidade ao longo da cadeia produtiva de produtos vegetais frescos destinados à alimentação humana. **Diário Oficial da União**. Brasília, 08 fev. 2018, Seção 1, p. 148.

CLIMATE-DATA. ORG. **Dados climáticos para cidades mundiais**. 2020.

CHAND, M. et al. Halosulfuron Methyl: a new post emergence herbicide in india for effective control of *Cyperus rotundus* in sugarcane and its residual effects on the succeeding crops. **Sugar Tech**, v. 16, n. 1, p. 67–74, 28 mar. 2014.

COLBACH, N.; GARDARIN, A.; MOREAU, D. The response of weed and crop species to shading: Which parameters explain weed impacts on crop production? **Field Crops Research**, v. 238, p. 45–55, 15 maio 2019.

DEVI, R. et al. Degradation dynamics of halosulfuron-methyl in two textured soils. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 102, n. 2, p. 246–251, 15 fev. 2019.

FENG, L. et al. The influence of light intensity and leaf movement on photosynthesis characteristics and carbon balance of Soybean. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 8 jan. 2019.

FINNEY, D. M.; WHITE, C. M.; KAYE, J. P. Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 1, p. 39–52, 1 jan. 2016.

GFELLER, A. et al. Explanations for *Amaranthus retroflexus* growth suppression by cover crops. **Crop Protection**, v. 104, p. 11–20, 1 fev. 2018.

HASSANNEJAD, S.; PORHEIDAR GHAFARBI, S.; LOTFI, R. The effect of nicosulfuron and bentazon on photosynthetic performance of common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.). **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 6, p. 100026, 1 jun. 2020.

HAZRATI, S. et al. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 106, p. 141–148, 1 set. 2016.

IQBAL, J. et al. Purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) control through interference by summer crops. **INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE & BIOLOGY**, v. 21, p. 1083–1088, 2019.

JANKA, E. et al. Using the quantum yields of photosystem II and the rate of net photosynthesis to monitor high irradiance and temperature stress in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora*). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 90, p. 14–22, 1 maio 2015.

LI, Z. et al. Variation in mutations providing resistance to acetohydroxyacid synthase inhibitors in *Cyperus difformis* in China. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 166, p. 104571, 1 jun. 2020.

MACHADO, A. et al. Population Dynamics of Weeds in No-Tillage and Conventional Crop Systems. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 40, n. 1, p. 119–128, 1 jan. 2005

MACÍAS, F. A.; MEJÍAS, F. J.; MOLINILLO, J. M. Recent advances in allelopathy for weed control: from knowledge to applications. **Pest Management Science**, v. 75, n. 9, p. 2413–2436, 1 set. 2019.

MARÍ, A. I. et al. Purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) control with biodegradable mulches and its effect on fresh pepper production. **Scientia Horticulturae**, v. 263, p. 109111, 15 mar. 2020.

MELANDER, B. et al. European perspectives on the adoption of nonchemical weed management in reduced-tillage systems for arable crops. **Weed Technology**, v. 27, n. 1, p. 231–240, mar. 2013.

NELSON, K. A.; RENNER, K. A. Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) control and tuber production with glyphosate and ALS-inhibiting herbicides 1. **Weed Technology**, v. 16, n. 3, p. 512–519, 1 jul. 2002.

NTOANIDOU, S. et al. Molecular basis of *Cyperus difformis* cross-resistance to ALS-inhibiting herbicides.

- Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 127, p. 38–45, 1 fev. 2016.
- PEERZADA, A. M. Biology, agricultural impact, and management of *Cyperus rotundus* L.: the world's most tenacious weed. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, n. 12, p. 270, 2017.
- PINNOLA, A. et al. Zeaxanthin binds to light-harvesting complex stress-related protein to enhance nonphotochemical quenching in *Physcomitrella patens*. **Plant Cell**, v. 25, n. 9, p. 3519–3534, 1 set. 2013.
- R CORE TEAM (2019). **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- SOLTANI, N.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, P. H. Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) control in corn with various rates of halosulfuron. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 98, n. 3, p. 628–632, 1 jun. 2018.
- TAIZ L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6th. ed. Porto Alegre, Artmed, 2017. 858p.
- TRAVLOS, I. et al. Weed management in soybean with a special focus on the control of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*). **Agronomy Research**, v. 18, n. 2, p. 595–602, 2020.
- UBIERNNA, N. et al. The efficiency of C₄ photosynthesis under low light conditions in *Zea mays*, *Miscanthus x giganteus* and *Flaveria bidentis*. **Plant, Cell & Environment**, v. 36, n. 2, p. 365–381, 1 fev. 2013.
- WANG, C. J.; WAN, J. Z. Assessing the habitat suitability of 10 serious weed species in global croplands. **Global Ecology and Conservation**, v. 23, p. e01142, 1 set. 2020.
- WANG, Y. et al. Halosulfuron methyl did not have a significant effect on diversity and community of sugarcane rhizosphere microflora. **Journal of Hazardous Materials**, v. 399, p. 123040, 15 nov. 2020.
- WEBSTER, T. M. et al. Glyphosate hinders purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) and yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) tuber production . **Weed Science**, v. 56, n. 5, p. 735–742, out. 2008.
- WEBSTER, T. M.; GREY, T. L. Halosulfuron reduced purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) tuber production and viability . **Weed Science**, v. 62, n. 4, p. 637–646, dez. 2014.
- WEBSTER, T. M.; GREY, T. L.; FERRELL, J. A. Purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) tuber production and viability are reduced by imazapic. **Weed Science**, v. 65, p. 97–106, 2017.
- WITTEWER, R. A. et al. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–12, 3 fev. 2017.
- XU, L. et al. Effects of ZJ0273 on barley and growth recovery of herbicide-stressed seedlings through application of branched-chain amino acids. **Journal of Zhejiang University: Science B**, v. 20, n. 1, p. 71–83, 1 jan. 2019.
- YASIN, M. et al. The importance of reduced light intensity on the growth and development of six weed species. **Weed Research**, v. 59, n. 2, p. 130–144, 1 abr. 2019.
- YASIN, M.; ROSENQVIST, E.; ANDREASEN, C. The Effect of Reduced Light Intensity on Grass Weeds. **Weed Science**, v. 65, n. 5, p. 603–613, 14 set. 2017.
- YUAN, X. et al. Photosynthetic Physiological Response of Radix Isatidis (*Isatis indigotica* Fort.) Seedlings to Nicosulfuron. **PLoS ONE**, v. 9, n. 8, p. e105310, 28 ago. 2014.

ZHA, T. S. et al. Diurnal response of effective quantum yield of PSII photochemistry to irradiance as an indicator of photosynthetic acclimation to stressed environments revealed in a xerophytic species. **Ecological Indicators**, v. 74, p. 191–197, 1 mar. 2017.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento sobre o comportamento de *Cyperus rotundus* em convivência com espécies de cobertura e condições de restrição luminosa é de grande importância para o manejo dessa espécie daninha tão agressiva em todo o mundo.

Os resultados demonstraram que o sombreamento, seja por plantas de maior porte ou artificial, é uma ferramenta de grande importância, potencializando o efeito do herbicida halosulfuron methyl, quanto à diminuição na produção de tubérculos por *C. rotundus*. Demonstraram, ainda, que a restrição luminosa interfere nos aspectos fisiológicos de *C. rotundus*, causando efeitos na dinâmica populacional, principalmente em relação ao controle da densidade de tubérculos produzidos, reduzindo a capacidade de infestação da espécie na área de cultivo. Os resultados encontrados, corroboram ainda, que o método de controle por capina manual se apresenta inviável no manejo desta espécie daninha.

Desse modo, manejos que possibilitem rápido crescimento da planta de interesse, quer seja a cultura a ser colhida ou apenas uma cultura em sucessão como cobertura do solo, ou mesmo outras plantas daninhas em condição de pousio, poderão favorecer a redução na infestação de *C. rotundus*.