

Hormese induzida por glifosato em cultivares de *Urochloa* com aplicação sequencial

Glyphosate induced hormesis in *Urochloa* cultivars with sequential application

Luciane da Cunha Codognoto^{1*} , Glaucia Amorim Faria² , Katia Luciene Maltoni² , Thassiane Telles Conde¹ 

¹Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), Ariquemes, Rondônia, Brasil

²Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (UNESP), Ilha Solteira, São Paulo, Brasil

*Autor correspondente: luciane.codognoto@ifro.edu.br

Resumo

Após a aplicação do herbicida glifosato para controle de plantas daninhas em cultivo agrícola, constata-se que a deriva do produto pode estimular crescimento e/ou rendimento produtivo em plantas não-alvo, localizadas nas adjacências do tratamento, caracterizando efeito hormese. Entretanto, os efeitos horméticos por glifosato podem ser diferentes para uma determinada espécie vegetal, o que depende da dose e do estágio de desenvolvimento da planta. Pressupondo estímulo de produção de biomassa de forragem para alimentação animal, o trabalho teve por objetivo avaliar o efeito hormese por aplicações sucessivas de subdose de glifosato em cultivares do gênero *Urochloa*. Foram avaliadas as respostas produtivas aérea e radicular em três cultivares de gramíneas (*Urochloa brizantha* cv. Marandu, *U. brizantha* cv. Piatã e *U. ruziziensis* cv. Ruziziensis) por aplicação foliar das subdoses do equivalente ácido (e.a.) de glifosato (5,40; 10,80; 21,60; 43,20; e, 86,40 g e.a. ha⁻¹) e controle. Foram avaliadas quatro colheitas sequenciais, realizadas com frequência de 21 dias, em esquema fatorial 6 x 3 x 4, com três repetições, em delineamento inteiramente casualizado. Dose igual e superior a 43,2 g e.a. ha⁻¹ de glifosato, em duas aplicações sequenciais, prejudicaram a produção de biomassa das forrageiras avaliadas. Dentre os cultivares, Ruziziensis foi mais susceptível ao efeito fitotóxico. Aplicações sequenciais das subdoses 5,40 e 10,80 g e.a. ha⁻¹ de glifosato, caracterizaram efeito hormético, promovendo a produção de biomassa aérea e radicular das forrageiras Marandu, Piatã e Ruziziensis.

Palavras-chave: deriva; equivalente ácido; forragem; hormese; *Urochloa*

Abstract

Glyphosate is the most widely used herbicide and is responsible for a significant technical/productive advance in world agriculture. Glyphosate drift after its application to control weeds in agricultural fields can stimulate growth and/or productive performance in non-target plants, located adjacent to the treatment, characterizing the hormesis effect. However, the hormesis effect of glyphosate may be different depending on the plant species, its stage of development, and the applied dose. Considering the stimulus of forage biomass production for animal feed, this study aimed to assess the hormesis effect by successive applications of low glyphosate doses to cultivars of the genus *Urochloa*. The shoot and root productive responses of three grass cultivars (*Urochloa brizantha* cv. Marandu, *U. brizantha* cv. Piatã, and *U. ruziziensis* cv. Ruziziensis) were assessed in pots through leaf applications of subdoses of the acid equivalent (ae) of glyphosate (5.40, 10.80, 21.60, 43.20, and 86.40 g ae ha⁻¹) and a control (no glyphosate application). Four sequential harvests, conducted with a frequency of 21 days in a completely randomized design and a 6 x 3 x 4 factorial arrangement, with three replications, were assessed. Doses equal to or higher than 43.20 g ae ha⁻¹ of glyphosate, applied in two sequential applications impaired the biomass production of the assessed forages. Ruziziensis was the most susceptible cultivar to the phytotoxic effect. Sequential applications of the subdoses 5.40 and 10.80 g ae ha⁻¹ of glyphosate characterized the hormesis effect, promoting the shoot and root biomass production of the forage plants *U. brizantha* cv. Marandu, *U. brizantha* cv. Piatã, and *U. ruziziensis* cv. Ruziziensis.

Keywords: Drift; acid equivalent; forage; hormesis; *Urochloa*.

1. Introdução

Dentre os defensivos agrícolas, o glifosato é o produto fitossanitário mais utilizado e responsável por um dos maiores avanços da agricultura mundial ⁽¹⁾. O glifosato é um herbicida sistêmico e não seletivo, empregado em diferentes cultivos, na dessecção em pré-plantio, em pós-emergência para controle de plantas infestantes e em cultivos

geneticamente modificados (como soja, milho e algodão); usado também em pré-colheita da soja como dessecante, em áreas em pousio, como maturador da cana-de-açúcar, entre outros usos não agrícolas ^(2,3).

O manejo das plantas daninhas com aplicação de herbicida é fundamental à agricultura, priorizando o desenvolvimento inicial rápido e vigoroso da cultura de

Recebido: 5 de março de 2023. Aceito: 31 de julho de 2023. Publicado: 2 de outubro de 2023.



Este é um artigo de Acesso Aberto distribuído sob os termos da Creative Commons Attribution License, que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

<https://revistas.ufg.br/vet/index>

interesse produtivo ⁽⁵⁾. Quando ocorre deriva, por erros durante a aplicação, ou pela ação do vento e arraste de névoa do glifosato para outras áreas, pode parecer efeito estimulatório involuntário, sob absorção de baixas doses na planta ⁽⁶⁾. A deriva em cultivos não alvos pode apresentar estímulo produtivo ou alterações nas plantas de forma qualitativa, como teores de proteína ⁽⁷⁾, lignina ^(8,9), açúcares ⁽¹⁰⁾, ou; quantitativa, como altura ⁽¹¹⁾, comprimento de folhas e raízes ⁽¹²⁾, caracterizando o efeito denominado hormese.

A forma mais utilizada para quantificação do efeito da deriva é por meio da aplicação de subdoses do produto; porém, existe reduzida literatura acerca do efeito hormese em gramíneas forrageiras. Devido a limitação de material de estudo, os efeitos de subdoses de glifosato ainda não apresentam muita praticidade para implementação tecnológica. Porém, tem-se verificado uma possível indução de crescimento vegetal, com a aplicação de subdoses de glifosato em variadas espécies de plantas. E o fato de serem necessárias baixas doses por área para se obter resposta, o preço desses produtos ser acessível e por existir ingrediente ativo disponibilizado no mercado em elevado número, têm contribuído para a recomendação do uso do glifosato como estimulante para o crescimento e/ou desenvolvimento vegetal ⁽¹¹⁻¹³⁾.

A produção de biomassa de forragem para alimentação animal altera de forma significativa a capacidade de suporte da pastagem, que é influenciada pela fertilidade e pelo manejo do solo e da forragem, bem como pelas condições climáticas; enquanto o valor nutritivo interfere no ganho de peso do animal e depende, principalmente, da idade planta, da espécie vegetal e altura de pastejo ⁽¹⁴⁾. As pastagens desempenham papel fundamental na pecuária bovina brasileira, por ser a forma mais econômica e prática de produzir e oferecer alimentos aos animais, com baixo custo de produção.

Para que a hormese possa ser implementada, é necessário pesquisas sobre seus efeitos em gramíneas forrageiras. Diante do exposto, o trabalho teve por objetivo avaliar a produção de biomassa forrageira após aplicação sequencial de subdoses de glifosato em gramíneas do gênero *Urochloa* (sinonímia *Brachiaria*).

2. Material e métodos

Com gramíneas do gênero *Urochloa*, experimento em vasos foi conduzido em casa de vegetação no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), Câmpus Ariquemes, no período de março a agosto de 2019.

O experimento apresentou o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três repetições, em esquema fatorial 6 x 3 x 4. Com base nas recomendações de Silveira et al. ⁽¹⁵⁾, em que doses superiores a 90 g ha⁻¹ do equivalente ácido (e.a.) de glifosato permite o controle efetivo do crescimento inicial das principais forrageiras, os

níveis do fator glifosato, limitaram-se a cinco subdoses. Assim, as parcelas principais consistiram da aplicação foliar do herbicida glifosato, concentração comercial 360 g L⁻¹, em cinco subdoses (5,40; 10,80; 21,60; 43,20; e, 86,40 g e.a. ha⁻¹) e controle (sem herbicida); em três cultivares: *Urochloa brizantha* cv. Marandu; *U. brizantha* cv. Piatã; e, *U. ruziziensis* cv. Ruziense. As medidas foram repetidas no tempo, com frequência de colheita de 21 dias, totalizando 4 avaliações sequenciais.

Sementes das cultivares foram obtidas de amostra de lote comercial, safra 2018/2019 e semeadas em 17 de março de 2019. O substrato constituiu da homogeneização, na proporção de 60, 26 e 14%, respectivamente de: solo de barranco (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico), areia lavada e material orgânico derivado de compostagem. Foi realizada a análise da fertilidade e textura do substrato, obtendo-se os seguintes valores: pH (em água) = 7,6; carbono orgânico = 1,0 dag kg⁻¹; P e K (Mehlich 1) = 440 e 55 mg dm⁻³, respectivamente; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ (KCl 1 mol L⁻¹) = 5,0, 1,2 e 0,0 cmol_c dm⁻³, respectivamente; Mn e Fe = 104,9 e 133 mg dm⁻³; saturação por bases = 100; e, textura franco argiloso arenosa (353, 77 e 580 g kg⁻¹, respectivamente de argila, silte e areia). As unidades experimentais foram constituídas por vasos, com capacidade de 7 dm³ (área superficial de 0,0314 m²), o substrato foi acomodado considerando densidade média de 1,1 kg dm⁻³ e manutenção da umidade em torno de 60% da capacidade de campo, por gravimetria.

Aos 15 dias após semeadura (DAS) foi realizado o desbaste, limitando-se a quatro plantas da forrageira por vaso. Aos 55 DAS (11 de março de 2019) realizou-se o corte de uniformização da forrageira em todas as parcelas experimentais, colhendo-se o material vegetal aéreo, com intensidade de desfolha de 20 cm do nível da superfície do substrato ⁽¹⁶⁾, visando obter porção da forrageira com área foliar residual e gemas basais e laterais para rebrota ⁽¹⁷⁾. Nesta ocasião do corte de uniformização e dos três primeiros cortes avaliativos, foram parceladas as adubações nitrogenadas (ureia) e potássicas (cloreto de potássio), respectivamente, totalizando 50 kg ha⁻¹ de N e 40 kg ha⁻¹ de K₂O ⁽¹⁸⁾. Ao 7º dia após o corte de uniformização e dos três primeiros cortes foram realizadas as aplicações das subdoses de glifosato, nome comercial Glifosato Nortox SL® (360 g e.a. L⁻¹), nas parcelas experimentais (Figura 1). As aplicações foram realizadas utilizando pulverizador manual de compressão prévia por CO₂, proporcionando volume de calda de 100 L ha⁻¹, correspondendo a 3,2 mL vaso⁻¹, de modo que a calda atingisse completamente o dossel da forragem.

As avaliações foram realizadas aos 76 (1º corte), 97 (2º corte), 118 (3º corte) e 138 DAS (4º corte), colhendo-se a massa total da forragem verde dos vasos, a 20 cm da superfície. Para determinar produção de massa seca (PMS), a massa fresca aérea, constituída de folhas e pseudocolmo, as amostras foram submetidas a secagem em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas, método INCT-CA

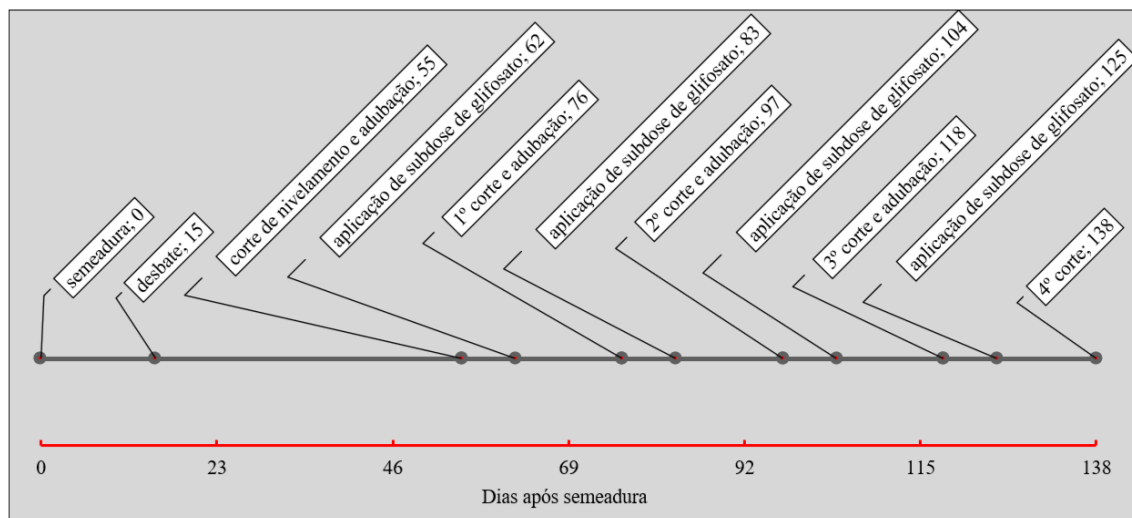


Figura 1. Cronograma de condução do experimento.

G-001/2⁽¹⁹⁾.

A massa seca de raiz (MSR) foi obtida de medida única, no 4º corte avaliativo. As plantas foram retiradas dos vasos e, com auxílio de água corrente, as raízes foram lavadas sobre peneiras, seguido por secagem em estufa com circulação forçada, a 55°C, até massa constante. Neste caso, seguiu análise em delineamento inteiramente casualizado, constituído das subdoses de glifosato e testemunha, com três repetições, totalizando 54 unidades experimentais.

Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste F para detectar as diferenças entre os níveis dos fatores. Constatado efeito significativo, as médias dos fatores quantitativos foram submetidos à análise de regressão, em que a qualidade de ajuste dos modelos foi verificada a partir do p-valor do desvio da regressão (não significativo) e, os modelos de regressão polinomial selecionados foram baseados nos coeficientes de determinação (R^2) superiores, dentre as regressões significativas pelo teste F; e, as médias para os fatores qualitativos foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, utilizando o software SISVAR⁽²⁰⁾.

3. Resultados e discussão

O teste F da análise de variância (Tabela 1) identificou interação significativa para dosagem (D), cultivares de *Urochloa* (B) e cortes (C), caracterizando interdependência entre os fatores. Os desdobramentos da variável quantitativa (D), identificou significância somente para a cultivar *U. brizantha* cv. Marandu (Tabela 1), caracterizando comportamento polinomial. Nas demais cultivares (*U. brizantha* cv. Piatã e *U. ruzizensis* cv.

Ruzizensis) os modelos testados (linear e polinomial de 2º e 3º ordem) não se ajustaram aos dados (Tabela 1), sendo considerado avaliar modelos matemáticos específicos⁽²¹⁾.

Para Marandu, 1º e 2º cortes adequaram-se ao modelo polinomial quadrático (Figura 2). No 1º corte, a dosagem 86,40 g e.a. ha⁻¹ de glifosato apresentou máxima produção de forragem (1,76 g vaso⁻¹), superior ao tratamento controle, equivalente a 11,82%. No entanto, no 2º corte, a dosagem (86,40 g e.a. ha⁻¹) reduziu a biomassa em 35,22%, com produção de 1,14 g vaso⁻¹. Em avaliação aos 21 dias após aplicação (DAA), utilizando volume de calda menos concentrada (200 L ha⁻¹), MORAES et al.⁽²²⁾ observaram que dosagem entre 30 e 62 g e.a. ha⁻¹ do herbicida reduziu em 50% o crescimento de *U. decumbens*, sem caracterizar sintomas de fitotoxicidade. CARBONARI et al.⁽²³⁾ ao avaliarem os efeitos da aplicação de diferentes subdoses de glifosato no crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) constataram que aplicação de dosagem superior a 72 g e.a. ha⁻¹ comprometeu significativamente a produção de biomassa.

A literatura tem caracterizado dificuldade em estipular uma dosagem adequada para hormone, evidenciando amplitudes, uma vez que fatores ambientais afetam a eficácia de aplicação, assim como a interação entre ambiente e características morfológicas e fenológicas das plantas⁽²⁴⁾. Ao avaliarem a produção de capim Marandu, NASCENTES et al.⁽²⁵⁾ encontraram máxima produção de forragem com a subdose 12,62 g e.a. ha⁻¹, aos 30 DAA, obtendo-se 2.862,2 kg ha⁻¹ de MS (massa seca), com incremento equivalente a 21,8% em relação ao controle. Para cana-de-açúcar, NASCENTES

Tabela 1. Valores de F calculado da análise de variância, da análise de regressão e significância para produção de matéria seca de três cultivares de *Urochloa* (B), tratadas com subdose de glifosato (D), em quatro cortes avaliativos (C)

Fatores	Dose (D)	Cultivar (B)	Corte (C)	D × B	B × C	D × C	D × B × C
Valor de F	410,357**	30,962**	94,766**	6,253**	5,862**	94,281**	4,210**
GL ⁽¹⁾	5	2	3	10	6	15	30
	Coeficiente de variação: 15,93%			Média geral: 1,37 g vaso ⁻¹			
Regressões	1º corte	2º corte		3º corte		4º corte	
	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu						
Linear	4,846*	51,947**		229,976**		424,150**	
Quadrática	24,596**	56,907**		36,872**		17,799**	
Cúbica	0,237 ^{ns}	2,368 ^{ns}		11,980**		139,197**	
Desvio	2,123 ^{ns}	0,923 ^{ns}		0,466 ^{ns}		0,608 ^{ns}	
	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã						
Linear	0,760 ^{ns}	54,423**		261,818**		637,119**	
Quadrática	41,497**	71,668**		33,916**		42,853**	
Cúbica	6,669*	7,099**		28,647**		176,724**	
Desvio	7,791**	13,249**		6,950**		16,320**	
	<i>Urochloa ruziziensis</i> cv. Ruziziensis						
Linear	0,201 ^{ns}	60,695**		147,080**		432,866**	
Quadrática	82,817**	72,062**		33,368**		70,024**	
Cúbica	13,541**	33,947**		7,804**		63,981**	
Desvio	14,068**	3,272*		12,895**		57,678**	

** , * e ^{ns}, significativo a 1%, 5% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F. ⁽¹⁾ Grau de liberdade.

et al. ⁽²⁶⁾ evidenciaram efeito hormese na amplitude de 5 e 9 g e.a. ha⁻¹ de glifosato. Assim, as subdoses mais baixas, 5,40 e 10,80 g e.a. ha⁻¹, expressaram produção superior (Figura 2), evidenciando efeito hormese.

Em Marandu, as dosagens 5,40 e 10,80 g e.a. ha⁻¹ de glifosato proporcionaram máxima produção de forragem (Figura 1), especialmente nos 3º e 4º cortes, em que o modelo matemático ajustado caracterizou comportamento polinomial cúbico (Tabela 1 e Figura 2). No entanto, nestes cortes, dosagens igual e superior a 43,20 g e.a. ha⁻¹ do herbicida caracterizaram estresse ao resíduo da gramínea (Figura 2), em que a baixa eficiência fotossintética das folhas remanescentes não proporcionaram crescimento da forragem, prejudicando a produção de biomassa aérea. Nesta situação, raízes e a base do colmo, presentes na massa de resíduo, redirecionam reservas orgânicas (carboidratos/proteínas) para o restabelecimento da forrageira, caracterizando balanço de energia negativo, pois a fotossíntese das folhas remanescentes é menor que a respiração, além do gasto energético para a síntese de novas folhas ⁽²⁷⁾.

Piatã e Ruziziensis não caracterizaram modelo matemático ajustado (Tabela 1), e pulverização com subdosagens de glifosato igual e superior a 43,20 g e.a. ha⁻¹ evidenciou efeito herbicida nos últimos dois cortes, por não haver produção de forragem acima do resíduo (Figura 2).

Outros autores identificaram efeito hormese de glifosato em plantas ⁽¹¹⁻²⁸⁻²⁹⁾. Entretanto, convém destacar

que os estudos restringem à aplicação única. Para dosagens até 60 g e.a. ha⁻¹, o efeito hormese se estende por 40 ⁽³⁰⁾ ou até 60 dias ⁽²⁶⁾, caracterizando crescimento induzido de plantas por ação de subdose do herbicida glifosato, com potencial para ser utilizado no manejo de forrageiras ⁽³¹⁾. Assim, frequência de 21 dias entre aplicações de glifosato, neste experimento, pode não ter sido adequado para expressão da hormese.

Aplicações sequenciais intencionais de subdose de glifosato não evidenciaram efeito promotor à produção forrageira no período experimental (4 cortes), especialmente para subdosagens igual e superior a 43,20 g e.a. ha⁻¹ de glifosato (Figura 2). Neste caso, é evidente que estímulo hormese contumaz não acarreta benefícios produtivos, por estresse contínuo à planta. Perturbação constante interfere significativamente nos mecanismos biológicos que asseguram os processos adaptativos compensatórios de restabelecimento das funções celular e fisiológica dos tecidos da planta, que caracterizam a homeostase adaptativa ⁽³²⁻³³⁾. A desfolha, seguida de estresse hormético, resulta em exaustão energético e oxidativo por perturbação da toxina à planta. Portanto, aplicação frequente de subdose de glifosato não expressa resposta adaptativa, pois as plantas forrageiras são submetidas a colheita rotineira na produção animal.

Dentre as proporções avaliadas, a subdose 43,20 g e.a. ha⁻¹ de glifosato caracterizou reduzida PMS (Tabela 2). Nos 3º e 4º cortes, nas subdoses 43,20 e 86,40 g e.a. ha⁻¹ de glifosato, não foi observada rebrota das plantas de

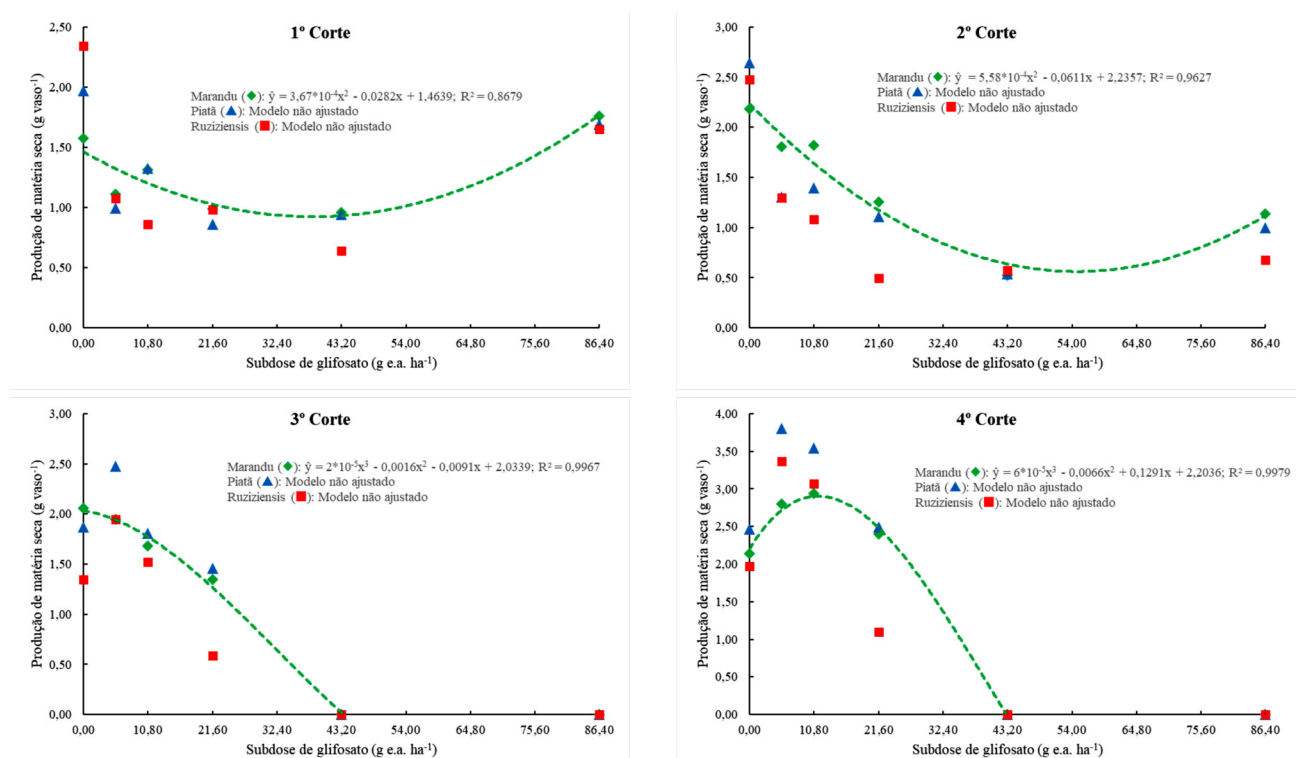


Figura 2. Equação de regressão para produção de matéria seca de três cultivares de *Urochloa* tratadas com subdose de glifosato, em quatro cortes avaliativos.

forragem acima do resíduo nos cultivares avaliados, diferindo significativamente das subdoses mais baixas (5,40, 10,80 e 21,60 g e.a. ha⁻¹ de glifosato).

Para as forrageiras testadas, subdoses mais baixas evidenciaram máxima PMS no 4º corte, especialmente sobre o 1º corte avaliativo (Tabela 2). Para as subdoses 5,40, 10,80 e 21,60 g e.a. ha⁻¹ de glifosato, respectivamente, o incremento produtivo proporcional do 4º corte sobre o inicial, correspondeu a 2,5, 3,83 e 3,13 vezes, para Marandu; 2,24, 2,67 e 3,57 vezes, para Piatã; e, 2,43, 2,89 e 1,12 vezes para Ruziziensis. Para estas subdosagens houve efeito promotor de crescimento vegetativo, em que o estresse causado, resultou em efeito hormese. Já o tratamento testemunha, a PMS obtida no 4º corte em relação ao inicial (1º corte) correspondeu a incrementos mais modestos (de 1,36 e 1,25, respectivamente, para Marandu e Piatã) ou depressor (0,84, para Ruziziensis) (Tabela 2). MORAES et al. (22) utilizando volume de calda menos concentrada (200 L ha⁻¹) constataram que a dose 62 g e.a. ha⁻¹ reduziu em 50% o crescimento das plantas de *U. decumbens*, ainda, possibilitando produção forrageira.

Para as subdoses avaliadas, Ruziziensis apresentou-se mais susceptível à fitotoxicidade por consequentemente, morte da planta (37).

Para produção de massa seca de raiz (MSR) houve interação entre subdoses de glifosato (D) e cultivares de

glifosato, estando de acordo com a análise de variância (Tabela 1). BRIGHENTI et al. (34) observaram variabilidade entre as espécies de *Urochloa* quanto à suscetibilidade ao herbicida glifosato; e, *U. ruziziensis* é a mais suscetível, permitindo economia de 12 a 16% da dose utilizada para controle, 360 g e.a. ha⁻¹ (35). SILVEIRA et al. (15) apontaram necessidade de estudos avaliando o controle de forrageiras *Urochloa* em estádios iniciais de desenvolvimento, para dosagens inferiores a 90 g e.a. ha⁻¹ de glifosato. MATIAS et al. (36) observaram que subdoses superiores a 58 g e.a. ha⁻¹ caracterizaram potencial para utilização na supressão de Ruziziensis, desde que as aplicações sejam realizadas em estádios iniciais de desenvolvimento, com até 5 a 7 perfilhos.

Subdoses do herbicida pode promover reposta de susceptibilidade diferenciada nas gramíneas. Assim, constatou-se que subdoses igual e superior a 43,20 g e.a. ha⁻¹ de glifosato, em até duas aplicações sequenciais, foram efetivas à supressão produtiva das forrageiras Marandu, Piatã e Ruziziensis (Tabela 2), por paralisar totalmente o crescimento vegetativo do dossel forrageiro, extinguindo a PMS potencial para alimentação animal. Pois, doses inferiores a 90 g e.a. ha⁻¹ de glifosato não são capazes de produzir os sintomas de amarelecimento, necrose foliar e, *Urochloa* (B) (Tabela 3). As interações mostraram efeitos significativos, como indicativo de dependência mútua dos fatores D e B.

Tabela 2. Médias de produção de matéria seca de três cultivares de *Urochloa*, tratadas com subdose de glifosato, em quatro cortes avaliativos

Cortes	Subdose de glifosato (g e.a. ha ⁻¹)					
	0,0	5,4	10,8	21,6	43,2	86,4
<i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu Produção de matéria seca (g vaso ⁻¹)						
1º	1,57 abB ⁽¹⁾	1,11 bcC	1,31 abcC	0,99 cB	0,96 cA	1,76 aA
2º	2,18 aA	1,81 aB	1,82 aB	1,25 bB	0,53 cA	1,14 bB
3º	2,06 aA	1,94 aB	1,68 abAB	1,34 bB	0,00 cB	0,00 cC
4º	2,14 cA	2,80 abA	2,94 aA	2,40 bcA	0,00 dB	0,00 dC
<i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã Produção de matéria seca (g vaso ⁻¹)						
1º	1,97 aB	0,99 cC	1,32 bcC	0,86 cC	0,94 cA	1,69 abA
2º	2,65 aA	1,31 bC	1,40 bBC	1,11 bBC	0,54 cA	1,00 bcB
3º	1,87 bB	2,47 aB	1,81 bB	1,46 bB	0,00 cB	0,00 cC
4º	2,46 bA	3,80 aA	3,55 aA	2,49 bA	0,00 cB	0,00 cC
<i>Urochloa ruziziensis</i> cv. Ruziziensis Produção de matéria seca (g vaso ⁻¹)						
1º	2,34 aAB	1,08 cC	0,86 cC	0,98 cAB	0,64 cA	1,65 bA
2º	2,47 aA	1,30 bC	1,08 bcBC	0,49 dC	0,57 cdA	0,68 cdB
3º	1,34 bC	1,94 aB	1,52 abB	0,58cBC	0,00 dB	0,00 dC
4º	1,97 bB	3,37 aA	3,07 aA	1,10 cA	0,00 cB	0,00cC

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si (p<0,05) pelo teste de Tukey.

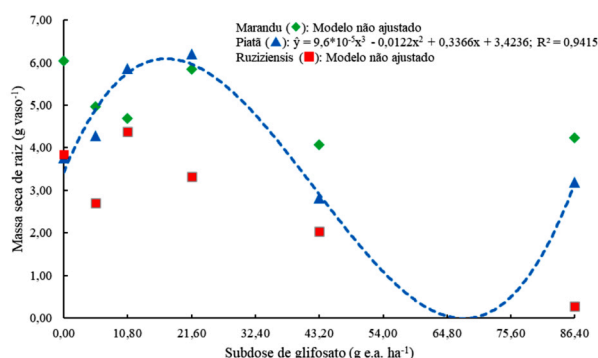
Tabela 3. Valores de F calculado da análise de variância, da análise de regressão e significância para massa seca de raiz (MSR) de três cultivares de *Urochloa* (B), tratadas com subdose de glifosato (D)

Fatores	Dose (D)	Cultivar (B)	D x B
Valor de F	21,343**	56,438**	4,997**
GL ⁽¹⁾	5	2	10
Coefficiente de variação: 16,39%	Média geral: 4,06 g vaso ⁻¹		
Regressões	Marandu	Piatã	Ruziziensis
Linear	7,855**	15,908**	59,912**
Quadrática	0,053 ^{ns}	1,663 ^{ns}	0,776 ^{ns}
Cúbica	0,049 ^{ns}	44,707**	1,925 ^{ns}
Desvio	4,801*	1,936 ^{ns}	5,183*

** , * e ^{ns}, significativo a 1%, 5% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
⁽¹⁾ Grau de liberdade.

Os desdobramentos da variável quantitativa não identificaram significância para Marandu e Ruziziensis (Tabela 1), e os modelos testados não se ajustaram aos dados de MSR. Somente Piatã caracterizou comportamento polinomial de 3ª ordem, em que o modelo matemático ajustado expressa 94,15% dos dados obtidos (Figura 3), com amplitude de máxima MSR para subdoses entre 10,8 e 21,6 g e.a. ha⁻¹ de glifosato.

Em doses mais altas (43,20 e 86,40 g e.a. ha⁻¹), embora as plantas não apresentassem produção aérea, a MSR caracteriza capacidade de rebrote das plantas a partir das gemas basais e laterais ⁽¹⁷⁾, pois os tratamentos receberam irrigação e adubação em conformidade aos demais. Ainda, até o início da fase experimental, o volume do vaso (7 dm³) e a altura de corte da forrageira a 0,20 m, promoveram o desenvolvimento do sistema radicular, conferindo reservas de carboidratos para a rebrota das plantas ⁽³⁸⁾.

**Figura 3.** Equação de regressão para massa seca de raiz de três cultivares de *Urochloa* tratadas com subdose de glifosato.

O cultivar influenciou a eficácia do herbicida nas diferentes subdoses avaliadas. Ruziziensis apresentou menor MSR, diferindo significativamente dos cultivares Piatã e Marandu (Tabela 4). A produção de raiz é um indicativo da capacidade de reconstituir o cultivo após restabelecimento da homeostase das plantas.

Tabela 4. Médias de massa seca de raiz de três cultivares de *Urochloa*, tratadas com subdose de glifosato

Subdose de glifosato (g ha ⁻¹ e.a.)	Marandu	Piatã	Ruziziensis
	Massa seca de raiz (g vaso ⁻¹)		
0,0	6,03 a ⁽¹⁾	3,84 b	3,77 b
5,4	4,96 a	4,29 a	2,70 b
10,8	4,68 ab	5,86 a	4,38 b
21,6	5,85 a	6,20 a	3,33 b
43,2	4,62 a	2,82 b	2,04 b
86,4	4,24 a	3,19 a	0,28 b

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem entre si (p<0,05) pelo teste de Tukey.

O glifosato é rapidamente translocado das folhas para os tecidos meristemáticos e de reserva/armazenagem⁽³⁹⁾. Assim, cabe destacar que o efeito das doses varia em função da espécie forrageira⁽³⁴⁾, idade/estágio da planta⁽¹⁵⁾, volume do vaso⁽³⁸⁾ e da concentração da calda de pulverização⁽³⁷⁾.

4. Conclusão

Aplicações sequenciais com subdoses 5,40 e 10,80 g e.a. ha⁻¹ de glifosato promoveram a produção de biomassa das forrageiras *Urochloa brizantha* cv. Marandu, *U. brizantha* cv. Piatã e *U. ruziziensis* cv. Ruziziensis. Subdose igual e superior a 43,2 g e.a. ha⁻¹ de glifosato, em duas aplicações sequenciais, prejudicam a produção de biomassa aérea das forrageiras *Urochloa brizantha* cv. Marandu, *U. brizantha* cv. Piatã e *U. ruziziensis* cv. Ruziziensis. *U. ruziziensis* cv. Ruziziensis destacou-se mais susceptível à fitotoxicidade por glifosato, afetando a produção de massa seca de raiz, limitando o potencial de restabelecimento do cultivo forrageiro.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesses.

Contribuições do autor

Conceituação: Codognoto L.L. **Investigação:** Codognoto L.L e Conde T.T. **Curadoria de dados:** Faria G.A. **Supervisão:** Maltoni K.L. **Redação (esboço original):** Codognoto L.L. **Redação (Revisão e edição):** Codognoto L.L, Conde T.T, Faria G.A e Maltoni K.L.

Referências

1. Associação Brasileira de Defensivos Pós-Patente. Saiba quais são os princípios ativos dos agrotóxicos mais vendidos no mundo. Disponível em: https://www.aenda.org.br/noticia_imprensa/saiba-quais-sao-os-principios-ativos-dos-agrotoxicos-mais-vendidos-no-mundo/
2. Amarante Junior OP, Santos TCR, Brito NM, Ribeiro ML. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. Química Nova. 2002; 25(4):589–93. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000400014>
3. Yamada T, Castro PRC. Efeito do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agronômicas. Peachtree Corners: IPNI – International Plant Nutrition Institute, 2007; 32p. (Informações Agronômicas, n. 119). Disponível em: <https://www.ipni.net/publication/ia-brasil.html>
4. Calabrese EJ, Baldwin LA. Applications of hormesis in toxicology, risk assessment and chemotherapeutics. Trends Pharmacol Science. 2002; 23(7):323–331. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0165-6147\(02\)02034-5](https://doi.org/10.1016/S0165-6147(02)02034-5)
5. Carvalho, LBD, Alves, PLCA, Duke, SO. Hormesis with glyphosate depends on coffee growth stage. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 2013, 85(2): 813–822. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652013005000027>
6. Felisberto P, Timossi P, Felisberto G, Ramos, A. Subdoses de glyphosate não reduzem a produtividade da cultura do milho. Revista Brasileira de Herbicidas. 2016; 15(3), 290-296.

Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v15i3.482>

7. Codognoto LC, Conde TT, Maltoni KL, Faria, GA. Glyphosate in the production and forage quality of marandu grass. Semina Ciências Agrárias. 2021; 42(3, supl. 1), 1695-1706. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n3Supl1p1695>
8. Meschede D, Carbonari C, Velini E, Trindade M, Gomes G. Efeitos do glyphosate nos teores de lignina, celulose e fibra em *Brachiaria decumbens*. Revista Brasileira de Herbicidas. 2011; 10(1), 57-63. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v10i1.77>
9. Codognoto LC, Conde TT, Maltoni KL, Faria GA, Cavali J. Effects of glyphosate plus foliar manganese application on the production and quality of marandu grass. Acta Scientiarum. Animal Sciences. 2021; 43, e52796. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v43i1.52796>
10. Vital RG, Jakelaitis A, Silva FB, Batista PF, Almeida GM, Costa A C, Rodrigues AA. Physiological changes and in the carbohydrate content of sunflower plants submitted to sub-doses of glyphosate and trinexapac-ethyl. Bragantia. 2017; 76(1), 33–44. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.540>
11. Gitti DC, Arf O, Peron IBG, Portugal JR, Corsini DCDC, Rodrigues RAF. Glyphosate como regulador de crescimento em arroz de terras altas. Pesquisa Agropecuária Tropical. 2011; 41(4), 500–507. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/pat.v41i4.10160>
12. Meschede D, Velini E, Carbonari C. Baixas doses de glyphosate e seus efeitos no crescimento de *Commelina benghalensis*. Revista Brasileira de Herbicidas. 2008; 7(2), 53-58. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v7i2.61>
13. Lima SF, Pereira LS, Sousa GD, Vasconcelo SA, Jakelaitis A, Oliveira JFA. Influence of glyphosate underdoses on the suppression of *Panicum maximum* cultivars. Arquivos do Instituto Biológico. 2018; 85:e0812017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1808-1657000812017>
14. Santos N, Azenha M, Souza FH, Reis R, Ruggieri AC. Fatores ambientais e de manejo na qualidade de pastos tropicais. Enciclopédia Biosfera, 2011; 7(13). Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4143>
15. Silveira RR, Santos MV, Ferreira EA, Braz TGS, Santos JB, Andrade JCA, Costa JPR, Silva AMS, Silva L. Controle e susceptibilidade de capim-braquiária e capim-ruziensis ao glyphosate e fluazifop-p-butyl. Archivos de Zootecnia. 2019; 68(263):403-410. Disponível em: <https://doi.org/10.21071/az.v68i263.4199>
16. Dias-Filho MB. Formação e manejo de pastagens. Belém: Embrapa Amazônia Oriental; 2012. 9p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 235). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/937485/formacao-e-manejo-de-pastagens>
17. Bortoluzzi FM, Cabral CEA, Machado RAF, Abreu JG, Cabral CHA, Barros LV. Fosfato natural reativo aplicado em épocas distintas e associado a fertilizantes nitrogenados afetam a produção de capim-marandu. Boletim de Indústria Animal. 2017; 74(1):9-16. Disponível em: <https://doi.org/10.17523/bia.v74n1p9>
18. Cantarutti RB, Martins CE, Fonseca DM, Vilela H, Oliveira FTT. Pastagens. In: Ribeiro AC, Guimarães P T G, Alvarez VVH (ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5a aproximação. Viçosa, MG, CFSEMG; 1999. p. 332-341.
19. Detmann E, Costa e Silva LF, Rocha GC, Palma MNN, Ro-

drigues JPP. Métodos para análise de alimentos - INCT - Ciência Animal. Visconde do Rio Branco: Suprema; 2021. 350p.

20. Ferreira DF. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*. 2019; 37(4):529-535. Disponível em: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

21. Nweke CO, Ogbonna C. Statistical models for biphasic dose-response relationships (*hormesis*) in toxicological studies. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*. 2017; 12(1):39-55. Disponível em: <https://doi.org/10.5132/ee-c.2017.01.06>

22. Moraes CP, Tropaldi L, Brito IPFS, Carbonari CA, Velini ED. Determinação da dose de controle de *Brachiaria decumbens* pela aplicação de glyphosate. *Revista Brasileira de Herbicidas*. 2019; 18(1):e618. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v18i1.618>

23. Carbonari CA, Gomes GLGC, Velini ED, Machado RF, Simões OS, Macedo GC. Glyphosate effects on sugarcane metabolism and growth. *American Journal of Plant Sciences*. 2014; 5:3585-3593. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.524374>

24. Vidal RA, Pagnoncelli FD, Fipke MV, Queiroz AR, Bittencourt HV, Trezzi MM. Fatores ambientais que afetam a eficácia de glifosato: Síntese do conhecimento. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*. 2014; 24:43-52. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/pes.v24i1.39028>

25. Nascentes RF, Fagan EB, Soares LH, Oliveira CB, Brunelli MC. Hormesis de Glyphosate em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. *Cerrado Agrociências*. 2015; 6:55-64. Disponível em: <https://revistas.unipam.edu.br/index.php/cerradoagrociencias/issue/view/76/Edi%C3%A7%C3%A3o%20completa2015>

26. Nascentes RF, Carbonari CA, Simões PS, Brunelli MC, Velini ED, Duke SO. Low doses of glyphosate enhance growth, CO₂ assimilation, stomatal conductance and transpiration in sugarcane and eucalyptus. *Pest Management Science*. 2017; 74(5):1197-1205. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.4606>

27. Rodrigues RC, Mourão GB, Valinote AC, Herling VR. Reservas orgânicas, relação parte aérea-raiz e C-N e eliminação do meristema apical no capim-xaraés sob doses de nitrogênio e potássio. *Ciência Animal Brasileira*. 2007; 8:505-514. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/vet/article/view/1714>

28. Silva JC, Gerlach GAX, Rodrigues RAF, Arf O. Influência de doses reduzidas e épocas de aplicação sobre o efeito hormético de glyphosate em feijoeiro. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 2016; 115(2):191-199. Disponível em: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/58020>

29. Pincelli-Souza RP, Bortolheiro FPAP, Carbonari CA, Velini ED, Silva MA. Hormetic effect of glyphosate persists during the entire growth period and increases sugarcane yield. *Pest Management Science*. 2020; 76(7):2388-2394. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.5775>

30. Cedergreen, N. Is the growth stimulation by low doses of glyphosate sustained over time? *Environmental Pollution*. 2008; 156(3):1099-1104. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.04.016>

31. Lima SF, Pereira LS, Sousa GD, Oliveira GS, Jakelaitis A. Supressão de *Brachiaria brizantha* e *U. ruziziensis* por subdoses do glicosato. *Revista Caatinga*. 2019; 32(3):581-589. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n302rc>

32. Curran, S. Decline of adaptive homeostasis & hormesis in aging. *Innovation in Aging*. 2018; 2(1):428-429. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/geroni/igy023.1605>

33. Mielke KC, Silva, MGB, Paula DF, Mendes, KF. Induced Hormesis in Plants with Herbicide Underdoses. In: Mendes KF, Silva, AA (Org.). *Applied Weed and Herbicide Science*. 1ed. Berlin, Germany: Springer. 2022; 1:210-232. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-031-01938-8_6

34. Brighenti AM, Sobrinho FS, Rocha WSD, Martins CE, Demartini D, Costa TR. Suscetibilidade diferencial de espécies de braquiária ao herbicida glifosato. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2011; 46(10):1241-1246. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000018>

35. Costa NV, Peres EJJ, Ritter L, Silva PV. Doses de glyphosate na dessecação de *Urochloa ruziziensis* antecedendo o plantio do milho. *Scientia Agraria Paranaensis*. 2014; 13(2):117-125. Disponível em: <https://doi.org/10.18188/sap.v13i2.6722>

36. Matias ML, Gonçalves VO, Braz GBP, Andrade CLL, Silva AG da, Barroso AL de L. Uso de subdoses de glyphosate na supressão de espécies forrageiras consorciadas com milho. *Científica*. 2019; 47(4):380-387. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2019v47n4p380-387>

37. Codognoto LC, Conde TT, Faria GA, Maltoni KL. Doses subletais de glifosato em combinação com manganês foliar na produção de capim marandu. *Archivos de Zootecnia*. 2020; 69(267):294-299. Disponível em: <https://doi.org/10.21071/az.v69i267.5348>

38. Campos AAV, Ronchi CP. Interação entre tamanhos de vaso e doses de glifosato no controle de braquiária. *Planta Daninha*. 2015; 33(4):727-738. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000400011>

39. Brito IP, Tropaldi L, Carbonari CA, Velini ED. Hormetic effects of glyphosate on plants. *Pesticide Management Science*. 2017; 74:1064-1070. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.452>