UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

LUCIANE DA CUNHA CODOGNOTO

DERIVA DE GLIFOSATO EM CAPIM MARANDU:
produção e qualidade da forragem

Ilha Solteira
2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUCIANE DA CUNHA CODOGNOTO
Engenheira Agrônoma

DERIVA DE GLIFOSATO EM CAPIM MARANDU: produção e qualidade da forragem

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção.

Profª Drª Glaucia Amorim Faria
Orientadora

Ilha Solteira
2020

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C671d

Codognoto, Luciane da Cunha.
Deriva de glifosato em capim marandu: produção e qualidade da forragem / Luciane Da Cunha Codognoto. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2020
86 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2020

Orientador: Glaucia Amorim Faria
Inclui bibliografia

1. Herbicida. 2. Hormese. 3. Deriva. 4. *Brachiaria brizantha*.

Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DERIVA DE GLIFOSATO EM CAPIM MARANDU: produção e qualidade da forragem

AUTORA: LUCIANE DA CUNHA CODOGNOTO
ORIENTADORA: GLAUCIA AMORIM FARIA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Profª. Drª. GLAUCIA AMORIM FARIA
Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Profª. Drª. KÁTIA LUCIENE MALTONI
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Profª. Drª. JUCILENE CAVALI
Departamento de Zootecnia / Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR

Prof. Dr. ELVINO FERREIRA
Departamento de Medicina Veterinária / Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR

Ilha Solteira, 30 de junho de 2020

DEDICATÓRIA

Às “personalidades” mais significativas da minha vida:

Izabel da Cunha Codognoto;

Laudenei Codognoto; e,

Osmar Codognoto.

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha confiança constante em todos os momentos.

Aos meus pais, Izabel e Osmar, e ao irmão, Laudenei, pelo apoio, companheirismo e incentivo. Meu porto seguro!

Às professoras Glaucia e Katia, por sua paciência e apoio nos momentos de dúvidas e por me apascentar nas situações difíceis.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de cursar o Doutorado e suporte técnico-científico oferecido.

Aos Professores do Programa, pelo apoio e ensinamentos.

Ao IFRO-Campus Ariquemes, por fomentar a capacitação de pessoal e o desenvolvimento de atividades científicas.

Não menos especial, Thassiane Telles Conde, irmã que o mestrado apresentou. Ela que me ajudou e proporcionou momentos fortalecedores durante os últimos anos; além de paciência, caráter, cumplicidade e experiência. Ser humano de fundamental importância na realização de mais uma etapa de minha vida!

“Eu não sou quem eu gostaria de ser;
eu não sou quem eu poderia ser, ainda,
eu não sou quem eu deveria ser.

Mas graças a Deus
eu não sou mais quem eu era!”

Martin Luther King

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar respostas produtivas e qualitativas de *Brachiaria brizantha* cv Marandu (capim marandu) em de quatro aplicações sucessivas de subdoses de glifosato. As avaliações foram obtidas a partir de quatro estudos, em esquema fatorial, em que os níveis de glifosato corresponderam as parcelas principais, e as subparcelas, constituíram o fator tempo, totalizando 4 colheitas avaliativas sequenciais. Os ensaios 1 e 2 foram realizados em casa de vegetação, sendo as unidades experimentais vasos com volume 7 dm^3, em delineamento inteiramente casualizado; e, os experimentos a campos foram realizados em delineamento em blocos casualizados, em parcelas experimentais com área útil de 7,5 m^2. No experimento 1 foram aplicados quatro subdoses de equivalente ácido (e.a.) de glifosato (4, 10, 14 e 20 g ha^{-1}) e controle, com cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais (vasos). No experimento 2, analisou-se sete subdoses de glifosato (5,40, 10,80, 21,60, 43,20, 64,80, 86,40 e 108,00 g e.a. ha^{-1}) e controle, sob ausência e presença de manganês à calda de pulverização, na concentração de 1.000 g ha^{-1}, totalizando 64 vasos. No experimento 3, foram avaliadas quatro subdoses de glifosato (5,40, 21,60, 64,80 e 108,00 g e.a. ha^{-1}) e controle, com adição de fertilizante foliar a base de manganês (Mn), na concentração de 1.000 g ha^{-1}, à calda de pulverização, totalizando 20 parcelas experimentais. Nas 24 parcelas do experimento 4, avaliou-se o efeito de seis subdoses de glifosato (21,60, 43,20, 64,80, 86,40 e 108,00 g e.a. ha^{-1}) e controle. As coletas consistiram do recolhimento do material vegetal a 0,20 m da superfície, compreendendo folhas e pseudocolmos (colmo e bainha foliar) para determinação da produção de matéria seca e de atributos químico-bromatológicos da forragem. Os resultados evidenciaram que subdoses de glifosato, em avaliações sucessivas, caracterizaram prejuízo ao rendimento produtivo aéreo de capim marandu. No entanto, promoveram a qualidade da forragem para relação folha/colmo, teores de proteína bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e lignina, por efeito das aplicações periódicas e/ou associados ao fator corte. De modo geral, os resultados apresentaram-se adequados para qualidade da fibra alimentar, caracterizando efeito hormese, assegurando melhoria na qualidade alimentar da forrageira.

Palavras-chave: Herbicida. Hormese. Deriva. *Brachiaria brizantha*.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate productive and qualitative responses of Brachiaria brizantha cv Marandu (marandu grass) in four successive applications of glyphosate underdoses. The evaluations were obtained from four studies, in a factorial scheme, in which the glyphosate levels corresponded to the main plots, and the subplots, constituted the time factor, totaling 4 sequential evaluative harvests. Tests 1 and 2 were carried out in a greenhouse, with the experimental units being vessels with a volume of 7 dm^3, in a completely randomized design; and, the field experiments were carried out in a randomized block design, in experimental plots with a useful area of 7.5 m^2. In experiment 1, four sub-doses of glyphosate acid equivalent (a.e.) (4, 10, 14 and 20 g ha^{-1}) were applied and control, with five replications, totaling 20 experimental units (vessels). In experiment 2, seven sub-doses of glyphosate (5.40, 10.80, 21.60, 43.20, 64.80, 86.40 and 108.00 g ea ha^{-1}) and control, under absence and presence of manganese in the spray syrup, at a concentration of 1,000 g ha^{-1}, totaling 64 pots. In experiment 3, four sub-doses of glyphosate (5.40, 21.60, 64.80 and 108.00 g ea ha^{-1}) and control were evaluated, with the addition of manganese-based foliar fertilizer (Mn), in the concentration 1,000 g ha^{-1}, to the spray solution, totaling 20 experimental plots. In the 24 plots of experiment 4, the effect of six sub-doses of glyphosate (21.60, 43.20, 64.80, 86.40 and 108.00 g a.a. ha^{-1}) and control was evaluated. The collections consisted of collecting plant material at 0.20 m from the surface, comprising leaves and pseudocolmos (stem and leaf sheath) to determine the production of dry matter and chemical-bromatological attributes of the forage. The results showed that glyphosate underdoses, in successive evaluations, characterized damage to the aerial productive yield of marandu grass. However, they promoted the quality of forage for leaf / stem ratio, crude protein content, neutral detergent fiber, acid detergent fiber and lignin, due to the periodic applications and / or associated with the cut factor. In general, the results were adequate for the quality of the dietary fiber, featuring a hormone effect, ensuring improvement in the food quality of the forage.

Keywords: Herbicide. Hormese. Drift. *Brachiaria brizantha*.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10

2 REVISÃO DE LITERATURA 12

2.1 PRODUÇÃO PECUÁRIA BOVINA BRASILEIRA: O CAPIM MARANDU COMO GRAMÍNEA PREDOMINANTE 12

2.2 HERBICIDA GLIFOSATO E MODO DE AÇÃO EM PLANTAS 14

2.3 CONTROLE QUÍMICO E EFEITO HORMESE EM PLANTAS 17

REFERÊNCIAS 18

3 GLIFOSATO NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FORRAGEM DE CAPIM MARANDU 23

3.1 INTRODUÇÃO 24

3.2 MATERIAL E MÉTODOS 25

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 27

3.4 CONCLUSÕES 36

REFERÊNCIAS 37

4 SUBDOSES DE GLIFOSATO EM COMBINAÇÃO COM MANGANÊS FOLIAR NA PRODUÇÃO DE CAPIM MARANDU 39

4.1 INTRODUÇÃO 40

4.2 MATERIAL E MÉTODOS 41

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 43

4.4 CONCLUSÕES 49

REFERÊNCIAS 50

5 PRODUÇÃO E QUALIDADE DE CAPIM MARANDU POR DERIVA DE GLIFOSATO COM ADIÇÃO DE MANGANÊS FOLIAR À CALDA DE APLICAÇÃO 53

5.1 INTRODUÇÃO 54

5.2 MATERIAL E MÉTODOS 55

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 57

5.4 CONCLUSÕES 63

REFERÊNCIAS 63

6 EFEITO DA DERIVA DE GLIFOSATO EM PASTAGEM DE CAPIM MARANDU 67
6.1 INTRODUÇÃO 68
6.2 MATERIAL E MÉTODOS 69
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 72
6.4 CONCLUSÕES 80
REFERÊNCIAS 81

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 84

1 INTRODUÇÃO

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.

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, manejo do pasto, 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. É relevante a incidência de áreas de pastagens degradadas no País, e se apresentam como áreas com potencial para o aumento de produtividade da pecuária nacional, por recuperação.

Dentre os defensivos agrícolas (herbicidas, inseticidas, fungicidas, entre outros) o glifosato é o produto fitossanitário mais utilizado e responsável por um dos maiores avanços da agricultura mundial. Práticas de mobilização do solo, como aração e gradagem, tinham como objetivo o manejo das plantas daninhas. Com o surgimento do glifosato, este manejo passou a ser utilizado na agricultura para eliminar plantas consideradas “indesejáveis” ao processo produtivo, por competirem por nutrientes com a cultura.

O glifosato é um herbicida sistêmico e não seletivo, empregado em diferentes cultivos, na aplicação em pré-plantio, em pós-emergência das plantas daninhas e nas culturas da soja, milho e algodão geneticamente modificadas, usado também em pré-colheita da soja como dessecante, nas áreas em pousio, como maturador da cana-de-açúcar, entre outros usos não agrícolas.

Durante a aplicação de glifosato em cultivos é inevitável a ação do vento, com consequente arraste da névoa do glifosato para outras áreas. E, por se tratar de um produto hormonal, vários autores sugerem que sua deriva possa trazer estímulos ao crescimento vegetal, efeito conhecido como 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 dos efeitos hormese na agropecuária. Devido a limitação de material de estudo, os efeitos de subdoses de glifosato ainda não apresentam muita praticidade para implementação tecnológica. Porém, ultimamente, 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/desenvolvimento vegetal.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de subdoses de glifosato em gramínea do gênero *Brachiaria*, manejada sistematicamente com adubação suplementar e período de desfolha estabelecido, sobre produção, morfologia e qualidade nutricional da forragem, cultivadas em vasos e em pastagem, em 4 colheitas avaliativas. Para tanto, o trabalho foi dividido em cinco capítulos: revisão de literatura e a apresentação de quatro experimentos: dois realizados em casa de vegetação e, outros dois, em pastagem cultivada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRODUÇÃO PECUÁRIA BOVINA BRASILEIRA: O CAPIM MARANDU COMO GRAMÍNEA PREDOMINANTE

O Brasil é detentor do maior rebanho comercial, produzindo e exportando carne mundialmente (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA, 2020). A pecuária exerce papel importante no Produto Interno Bruto (PIB), representando em 2019, 23,71% do PIB total. É responsável por 21,4% do PIB do agronegócio, o que demonstra a relevância do setor (CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA, 2020). O rebanho nacional de bovinos e bubalinos é numerado em aproximadamente 245 milhões de cabeças. Quase a totalidade do rebanho bovino de corte é criado e terminado a pasto, conduzido em sistema de produção pecuária extensiva, em que o cultivo animal é realizado solto, pastejando a área de forragem.

Neste contexto, o Brasil é um dos países de maior potencial de produção pecuária a pasto, determinada, principalmente, por suas condições climáticas e vasta extensão territorial (SERAFIM; GALBIATTI, 2012). No entanto, o manejo inadequado do pasto pode prejudicar o rendimento nos sistemas de produção animal. O país possui aproximadamente 19% (162,3 milhões de hectares) da sua área ocupada por pastagens, porém a maior parte delas está degradada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC, 2020).

O sistema de produção adotado em pastagens cultivada e nativa caracterizam a principal e mais econômica fonte de nutrientes à pecuária de ruminantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2019). O baixo custo de produção da carne brasileira se dá pela forma de oferecer alimentos: a colheita é realizada pelo animal e o fornecimento de suplementação, dá-se exclusivamente por sal comum e mineral.

O gênero *Brachiaria* cobre as maiores áreas de pastagens tropicais no mundo e tem se prestado ao aprimoramento de forrageiras, tanto na África como na Austrália, e especialmente no Brasil. O país é tido como o maior monocultivo em extensão de área (VALLE *et al*., 2014; MONTEIRO *et al*., 2016). Trata-se de gramíneas com adequada qualidade nutricional, produtivas, perenes, diversos hábitos de crescimento, cultivadas em diferentes tipos e níveis de fertilidade de solos, resistentes a estresses bióticos e abióticos, e requerem pluviosidade superior a 800 mm ano^{-1}

(MAIA *et al*., 2014; SILVA *et al*.; 2020). É o gênero de forrageiras mais indicado para a bovinocultura brasileira, por ser resistente ao hábito de pastejo e potencial para alta capacidade de suporte animal, sem que sua produtividade ou persistência sejam afetadas, desde que bem manejadas.

De importância ímpar ao sistema de produção pecuária praticado no país (SILVA FILHO *et al*., 2014), o genótipo Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), popularmente conhecido por “capim braquiarão”, “capim brizantão” ou “capim brizantha”, foi lançado em 1984 pela Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. A forrageira tem hábito de crescimento cespitoso (com porte de 1 a 1,5 m de altura), colmos iniciais prostrados (mas produz perfilhos cada vez mais eretos ao longo do crescimento da touceira), apresentando intenso perfilhamento nos nós superiores dos colmos floríferos, presença de pelos na porção apical dos entrenós, bainhas pilosas e lâminas foliares largas e longas (linear lanceoladas com 50 até 400 mm de comprimento e largura de 6-15 mm), com pubescência apenas na face inferior (CAMARÃO; SOUZA FILHO, 2005), além de ser persistente e rústica. É muito utilizada por sua adaptabilidade a solos de média fertilidade, resistência a cigarrinha das pastagens e elevada produtividade, sob adubação e manejo adequado (MANZATTO; PEREIRA; PEDREIRA, 2014).

Em Rondônia, as produções de matéria seca estão em torno de 10 a 12 t/ha, no período chuvoso, e, 2 a 4 t/ha durante o período seco (COSTA *et al.*, 2001). O valor nutritivo da forragem é um dos fatores mais importantes à produção animal em condições de pastejo (MAGALHÃES *et al*., 2015), pois a forragem é o alimento disponibilizados aos ruminantes em sistemas de produção pecuária extensiva praticada no Brasil.

O funcionamento do ecossistema pastagem é caracterizado por fluxos de energia (radiação, calor sensível) e de massa (CO_2, H_2O, N, minerais) entre as plantas de uma comunidade, o solo e a atmosfera (LEMAIRE, 2001). A gramínea marandu apresenta ciclo fotossintético C_4, sendo adequada ao cultivo nos trópicos, pois os fatores alta temperatura e radiação ativam as reações enzimáticas e a conversão da energia luminosa em química pela fotossíntese nas células clorofiladas localizadas, inclusive, no feixe vascular.

O capim marandu é altamente responsivo a adubação nitrogenada, produzindo carboidratos e destinando os produtos assimilados ao crescimento, reserva ou respiração da planta, o que garante produtividade e composição química da gramínea (OLIVEIRA *et al*., 2014). Entretanto, se o manejo não for adequado, a alta

vascularização do tecido foliar pode prejudicar o valor nutricional da forragem, convertendo a proteína bruta (PB) em fibras, pois o suporte da folha é promovido pelo esclerênquima e tecido vascular, que são altamente lignificados.

A PB é muito exigida pelos ruminantes e dietas com alto nível proteico, como as solicitadas para touros jovens, demandam até 14% de proteína na MS (XIA *et al*., 2018). Abaixo de 7% MS, observam-se limitações ao desenvolvimento dos microrganismos do rúmen, à digestibilidade e redução no consumo voluntário da forragem, caracterizando baixo desempenho dos animais (LARDY; WATERMAN, 2020).

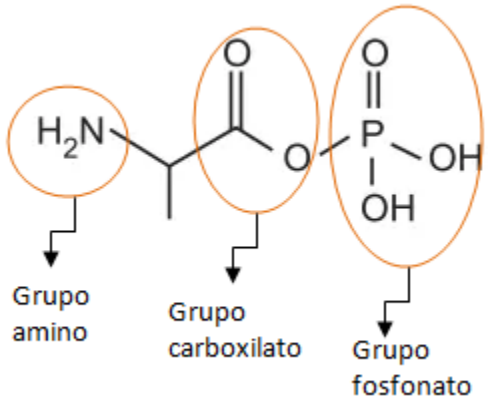
O teor de fibra em detergente neutro (FDN) é a componente do alimento mais consistentemente associada ao consumo, sendo adequado o limite até 65% de FDN na MS em forrageiras tropicais (ALENCAR *et al*., 2010). Fibra em detergente ácido (FDA) em forragens com valores em torno de 30% é considerada ideal ao consumo animal (NUSSIO *et al*., 1998; MIRANDA *et al*., 2018). Os teores de FDA têm relação com os teores de lignina dos alimentos, que determinam a digestibilidade da fibra; pois quanto menor o teor de FDA, menor será o teor de lignina e, consequentemente, melhor a digestibilidade do alimento (MAGALHÃES *et al*., 2015).

A relação folha/colmo (RFC) é um dos principais parâmetros para a alimentação de ruminantes, sendo considerado índice de qualidade das pastagens, por ser o componente da dieta selecionada pelos animais (SANTOS *et al*., 2011). Pinto, Gomide e Maestri (1994) sugerem limite mínimo para RFC de 1,0. A alta RFC representa forragem de maior teor de proteína e digestibilidade (mais folhas), maior facilidade de preensão do alimento e, consequentemente, maior consumo (BAUER *et al*., 2011).

2.2 HERBICIDA GLIFOSATO E MODO DE AÇÃO EM PLANTAS

A molécula de glifosato foi desenvolvida na década de 1950, pela indústria farmacêutica, e em 1970, teve sua propriedade como herbicida descoberta e a comercialização iniciada em 1974, quando aprovada nos Estados Unidos (TEIXEIRA; PAULA; NAPOLITANO, 2019). O glifosato [N-(fosfonometil) glicina] (Figura 1) pertence ao grupo químico dos aminoácidos fosfonados e tal como seu precursor, a glicina, apresenta comportamento zwiteriônico, com separação de duas cargas em pH neutro, uma positiva no grupo amino e, uma negativa no grupo fosfonato (PAUMGARTTEN, 2019).

Figura 1. Estrutura química do glifosato

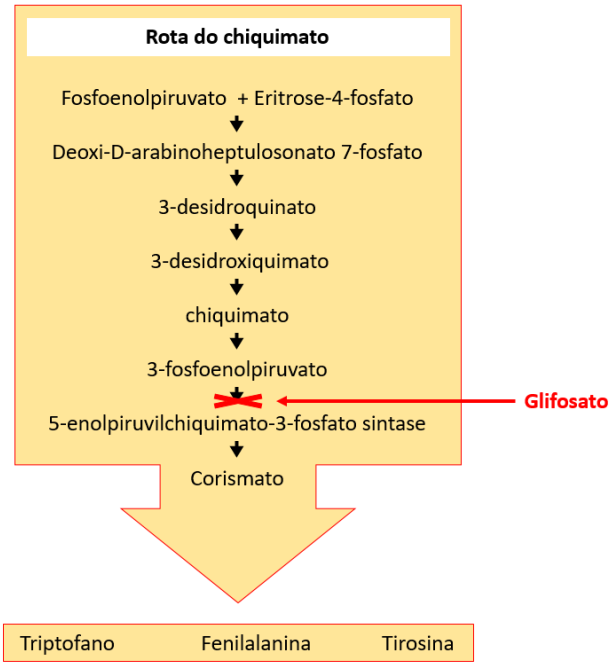


Fonte: Adaptado de Paumgartten (2019).

O glifosato é o principal herbicida sistêmico, recomendado para controle de plantas daninhas mono e dicotiledôneas anuais e perenes. Seu emprego expandiu-se mundialmente devido ao uso extensivo de certas práticas agrícolas, como o sistema plantio direto e aplicação generalizada em culturas geneticamente modificadas, portanto, resistentes ao produto (HELANDER; SALONIEMI; SAIKKONEN, 2012).

Os herbicidas à base de glifosato penetram através das cutículas das folhas e deslocam-se sistemicamente pelas plantas, apresentando movimentação tanto simplástica como apoplástica (OLIVEIRA JUNIOR, 2011). São altamente solúveis em água e não permeiam cutículas cerosas, sendo necessário o uso de um surfactante (detergente) para aumento da eficiência do produto. O herbicida à base de glifosato transloca-se pela planta via floema, da parte aérea para raízes, rizomas e tecidos meristemáticos, inibindo a enzima chamada 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs), necessária para a síntese de três aminoácidos essenciais: triptofano, fenilalanina e tirosina (Figura 2). Sem essa enzima, as plantas são incapazes de produzir outras proteínas essenciais ao crescimento, tornando-se amarelecidas e sucumbindo em dias ou semanas (OLIVEIRA JUNIOR, 2011; DEM; KA, 2016).

Figura 2. Ação do glifosato na rota do chiquimato em vegetais.



Fonte: Adaptado de Helander, Saloniemi e Saikkonen (2012).

O triptofano é precursor do ácido indolacético (AIA), hormônio vegetal necessário para expansão celular, manutenção da dominância apical e muitos outros processos regulatórios do crescimento. A fenilalanina, além de participar da biossíntese de proteínas, é substrato para produtos secundários de plantas, tais como: antocianinas, lignina, promotores e inibidores de crescimento e compostos fenólicos, implicados na defesa da planta contra doenças e pragas (TAIZ; ZEIGER, 2016). De modo geral, o glifosato altera a síntese de metabólitos secundários devido ao bloqueio da rota do ácido chiquímico/chiquimato, alterando a síntese do ácido indolacético e de outros hormônios vegetais (auxina e etileno), a síntese de clorofila, a síntese de fitoalexinas e de lignina, a síntese de proteínas, fotossíntese, respiração, transpiração e permeabilidade de membranas (PICOLI JUNIOR *et al.*, 2017; LIMA *et al*., 2019).

Por seu comportamento zwiteriônico, os herbicidas à base de glifosato também são fortemente ligados à matéria orgânica e às partículas de argila nos solos (HAGNER *et al*., 2019). Desativado o potencial herbicida, não apresenta efeito sobre o banco de sementes do solo, das raízes ou rizomas de plantas não tratadas. Isso é vantajoso do ponto de vista ambiental, pois nestes locais as comunidades vegetativas poderão se restabelecer em alguns anos. A enzima EPSPs, em particular, não ocorre em animais e seres humanos; portanto, o glifosato tem níveis muito baixos de toxicidade aguda e crônica nestes organismos.

2.3 CONTROLE QUÍMICO E EFEITO HORMESE EM PLANTAS

O termo hormese deriva do grego *hormaein*, que significa “excitar”. A ocorrência é descrita como um comportamento bifásico, ou seja, uma habilidade biológica que pode ser modificada por baixas doses de um xenobiótico, mas inibida por doses elevadas do mesmo, sendo uma proposta de explicação para alterações na homeostase (FUKUSHIMA *et al*., 2020).

Em sistema de monocultivo agrícola com a tecnologia da transgenia, especialmente soja, o uso do glifosato significou a oportunidade de controlar plantas daninhas de forma fácil, eficiente e com baixo custo relativo. Os herbicidas empregados são de ação pré e de pós-emergência inicial, recomendados para controle de gramíneas, folhas largas e plantas perenes de difícil controle (CARBONARI *et al*., 2010; SILVEIRA *et al*., 2019).

O manejo das plantas daninhas com aplicação de herbicida é fundamental à agricultura, priorizando o desenvolvimento inicial rápido e vigoroso da cultura de interesse produtivo. Neste caso, a aplicação do herbicida baseia-se no processo físico-mecânico de transformação de uma substância líquida em gotas. Assim, a aplicação de agroquímicos consiste na pulverização e deposição das gotas do defensivo químico sobre o alvo desejado (plantas daninhas), com tamanho e densidade adequados para sua efetividade (PEREIRA *et al*., 2018). Entretanto, pode ocorrer a deriva, que é o movimento do produto no ar carregado pelo vento, na forma de gotas ou vapor, durante ou depois da aplicação, para um local diferente do planejado, não atingindo efetivamente as plantas alvo.

Quando ocorre deriva, por erros durante a aplicação, ou pela ação do vento e arraste de névoa do glifosato para outras áreas, podem aparecer efeitos estimulatórios involuntariamente, mesmo sob absorção de baixas doses na planta. Essa deriva em cultivos não alvos pode apresentar estímulo produtivo ou incrementos em vários pontos da planta de ordem qualitativa (como teores de proteína, lignina, açúcares) ou quantitativa (como altura, comprimento de folhas e raízes).

Alguns herbicidas foram originalmente desenvolvidos como reguladores de crescimento, dando suporte a hipótese de hormese. Portanto, o efeito hormese pode provocar diferentes respostas estimulatórias e/ou como regulador de crescimento (SILVA *et al*., 2009; GITTI *et al*., 2011; SILVA *et al*., 2012; NASCENTES *et al*., 2015). Em plantas suscetíveis ao glifosato, os valores teóricos para hormesia variam de 1,8 a 25 g ha^{-1} do equivalente ácido de glifosato (BRITO *et al*., 2017).

Em pesquisas realizadas com subdoses de glifosato foram constatados efeitos horméticos no crescimento inicial em cana-de-açúcar (SILVA *et al*., 2009); incremento na biomassa da parte aérea da planta em cana-de-açúcar (CARBONARI *et al*., 2014) e em *Cattleya nobilior* (BERTONCELLI *et al*., 2018); e, aumento da produção de massa seca, altura de plantas e taxa de crescimento em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (NASCENTES *et al*., 2015). Assim, a ação do herbicida pode ser uma alternativa assertiva para o setor agropecuário, a partir de estudos a campo que avaliem o efeito deste nessa condição, e por períodos mais prolongados.

O resultado (ou alteração fenotípica desejada) depende da planta, do estádio de desenvolvimento, da dose do produto utilizado e das condições climáticas. Em cana-de-açúcar, além do glifosato, o sulfometuron metil também é usado como maturador, na classe dos inibidores do crescimento com efeito hormese. Esses compostos, dentre outros benefícios, possibilitam retardar ou inibir o desenvolvimento vegetativo, incrementar o teor de sacarose, tornar a maturação precoce, aumentar a produtividade de colmos e açúcar, permitindo explorar o máximo potencial genético das variedades quanto ao acúmulo de sacarose (LEITE *et al*., 2009). Herbicidas auxínicos, ou mimetizadores de auxinas, como o sal de dimetilamina (2,4-D, ácido diclorofenoxiacético) são utilizados para regulação de crescimento nas culturas de arroz, milho, trigo, cana-de-açúcar e pastagens (SILVA; d'ANTONINO; FERREIRA, 2014).

A exceção do glifosato, utilizado para maturação de cana-de-açúcar (MARQUES *et al*., 2011) e de herbicidas auxínicos, os efeitos benéficos da hormese não são aplicados comercialmente. Embora o efeito hormese seja estudado, não se tem uma aplicação prática na agropecuária, sendo necessário pesquisas suplementares sobre seus efeitos em gramíneas forrageiras. Cabe ainda, destacar a necessidade de estudos para analisar a viabilidade econômica do uso da tecnologia de aplicação do glifosato em pastagem.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, C. A. B. *et al*. Valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais irrigadas em diferentes épocas do ano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 20-27, 2010. DOI: 10.5216/pat.v40i1.3994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC. **Como o Brasil produz carne bovina de qualidade e de forma**

sustentável. Disponível em: http://abiec.com.br/sustentabilidade/. Acessado em: 20 abr. 2020.

BAUER, M. O. *et al*. Produção e características estruturais de cinco forrageiras do gênero Brachiaria sob intensidades de cortes intermitentes. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 12, n. 1, p. 17-25, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.5216/cab.v12i1.4817.

BERTONCELLI, D. J. *et al*. Efeito do Glifosato no cultivo in vitro de *Cattleya nobilior* Rchb. F. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 65, n. 2, p. 165-173, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201865020008.

BRITO, I. P. F. S. *et al*. Hormetic effects of glyphosate on plants. **Pesticide Management Science**, Sussex, v. 74, p. 1064-1070, 2017. DOI: https://doi.org/10.1002/ps.4523.

CAMARÃO, A. P; SOUZA FILHO, A. P. **Limitações e potencialidades do capim-braquiarão (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu (A. Rich Staf.) para a Amazônia**. - Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2005. 52 p.

CARBONARI, C. A. *et al*. Efeitos de períodos de permanência de clomazone + hexazinona no solo e na palha de cana-de-açúcar antes da ocorrência de chuvas na eficácia de controle de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1 ,p. 195-205, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000100023

CARBONARI, C. A. *et al.* Glyphosate effects on sugarcane metabolism and growth. **American Journal of Plant Sciences**, Irvine, v. 5, p. 3585-3593, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.524374.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA. **PIB do agronegócio cresce 3,81% em 2019**. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_PIB_CNA_2019.pdf.

COSTA, N. L. *et al.* **Manejo de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2001. 2 p. (Embrapa Rondônia. Recomendações técnicas, 33).

DEM, R.; KA, F. Photosynthesis, antioxidant status and gas-exchange are altered by glyphosate application in peanut leaves. **Photosynthetica**, Prague, v. 54, p. 307–316, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s11099-016-0075-3.

FUKUSHIMA, A. R. *et al*. Hormese, envelhecimento e toxicidade: Estado da Arte - Um Novo Conceito. **Revinter**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 4-12, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.22280/revintervol13ed1.454.

GITTI, D. C. *et al*. Glyphosate como regulador de crescimento em arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 500-507, 2011. DOI: 10.5216/pat.v41i4.10160.

HAGNER, M. *et al.* Effects of a glyphosate-based herbicide on soil animal trophic groups and associated ecosystem functioning in a northern agricultural field.

Scientific Reports, Tokyo, v. 9, n. 8540, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-44988-5.

HELANDER, M.; SALONIEMI, I.; SAIKKONEN, K. Glyphosate in northern ecosystems. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 17, n. 10, p. 569-574, 2012. DOI: 10.1016/j.tplants.2012.05.008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo agropecuário 2017**. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf. Acesso em: 04 jun. 2020.

LARDY, G.; WATERMAN, R. Grazing animal nutrition. In: MOORE, K. J. *et al* (org.). **Forages**: the science of grassland agriculture. 7. ed. New York: Wiley, 2020. V. 2, Cap. 45, p. 815-826. DOI: https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch45.

LEITE, G. H. P. *et al*. Maturadores e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar variedade RB855453 em início de safra. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 781-787, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000300027.

LEMAIRE, G. Ecophysiology of grasslands: dynamics aspects of forage plant populations in grazed swards. *In:* INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings** [...]. São Paulo: ESALQ, 2001. p. 29-37.

LIMA, S. F. *et al.* Supressão de *Brachiaria brizantha* e *U. ruziziensis* por subdodoes do glicosato. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 3, p. 581-589, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n302rc.

MAGALHÃES, J. A. *et al*. Composição bromatologica do capim-Marandu sob efeito de irrigação e adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 933-942, 2015.

MAIA, G. A. *et al*. Yield and chemical composition of brachiaria forage grasses in the offseason after corn Harvest. **American Journal of Plant Sciences**, Irvine, v. 5, n. 5, p. 933-941, 2014. DOI: 10.4236/ajps.2014.57106.

MANZATTO, C. V.; PEREIRA, S. E. M.; PEDREIRA, B. C. Zoneamento de risco edáfico de ocorrência da Síndrome da Morte Súbita nas áreas antropizadas do Mato Grosso. *In*: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA INTEGRADA, 1, 2014, Sinop. **Anais** [...]. UFMT: Embrapa Agrosilvopastoril, 2014. p. 203-215.

MARQUES, T. A. *et al*. Glifosato como maturador durante a safra canavieira. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Ribeirão Preto, v. 4, n. 3, p. 83-94, 2011. DOI: 10.5777/PAeT.V4.N3.05.

MIRANDA, C. C. B. *et al*. Desenvolvimento de *Brachiaria brizantha* adubada com fonolito e inoculada com bactérias diazotróficas solubilizadoras de potássio. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, p. 41, v. 3, p. 41-50, 2018. DOI: https://dx.doi.org/10.19084/RCA17011.

MONTEIRO, L. C. *et al*. *Brachiaria decumbens* intraspecific hybrids: characterization and selection for seed production. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 38, n. 1, p. 62-67, 2016.

NASCENTES, R. F. *et al*. Hormesis de Glyphosate em *Brachiaria brizanta* cv. Marandu. **Cerrado Agrociências**, Patos de Minas, v. 6, p. 55-64, 2015.

NUSSIO, L. G. *et al*. Valor alimentício em plantas do gênero *Cynodon*. *In*: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15, 1998, Piracicaba. **Manejo de pastagens de tifton, coastcross e estrela**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 203-242.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S. Mecanismo de ação dos herbicidas. *In*: OLIVEIRA Jr., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. Cap. 7, p. 141-192.

OLIVEIRA, T. S. *et al*. Yield, chemical composition, and efficiency of use of nitrogen by Marandu grass. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 43, n. 8, p. 440-444, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-35982014000800007.

PAUMGARTTEN, F. J. R. To be or not to be a carcinogen; delving into the glyphosate classification controversy. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, São Paulo, v. 55, e18217, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/s2175-97902019000118217.

PEREIRA, C. S. *et al*. News techniques for the application of herbicides on soybean crops. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 36, e018176955, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582018360100091.

PICOLI JUNIOR, G. J. *et al*. Influence of glyphosate on susceptible and resistant ryegrass populations to herbicide. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 35, e017163391, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/s0100-83582017350100055.

PINTO, J. C.; GOMIDE, J. A.; MAESTRI, M. Produção de matéria seca e relação folha/caule de gramíneas forrageiras tropicais, cultivadas em vasos, com duas doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 313-326, 1994.

SANTOS, M. E. R. *et al*. Estrutura e valor nutritivo do pasto diferido de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk durante o período de pastejo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 112-122, 2011.

SERAFIM, R. S.; GALBIATTI, J. A. Efecto de la aplicación de la agua residual porcina en el pasto *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Revista Colombiana de Ciencia Animal**, Sincelejo, v. 4, n. 1, p. 185-203, 2012.

SILVA FILHO, A. S. *et al*. Desenvolvimento de Brachiaria brizantha cv. marandu submetido a diferentes doses de ureia. **Revista Brasileira de Higiene e Saúde Animal**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 172-188, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.5935/1981-2965.20140012.

SILVA, A. A.; d'ANTONINO, L.; FERREIRA, F. A. Classificação e mecanismos de ação de herbicidas. *In*: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A. A.; PICANÇO, M. C. **O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2014. Cap. 6, p. 153-212.

SILVA, C. T. R. *et al*. Yield Component Responses of the *Brachiaria brizantha* forage grass to soil water availability in the Brazilian Cerrado. **Agriculture**, London, v. 10, n. 1, p. 1-16, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture10010013.

SILVA, M. A. *et al*. Efeito hormótico de gliphosate no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 973-978, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052009000400017.

SILVEIRA, R. R. *et al*. Controle e susceptibilidade de capim-braquiária e capim-ruziziensis ao glyphosate e fluazifop-p-butil. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 68, n. 263, p. 403-410, 2019. DOI: https://doi.org/10.21071/az.v68i263.4199.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 888 p.
TEIXEIRA, D. E.; PAULA, R. L. G.; NAPOLITANO, H. B. Legislação e normatização para o glifosato no Brasil. **Revista Processos Químicos**, Anápolis, v. 13, n. 25, p. 105-116, 2019. DOI: https://doi.org/10.19142/rpq.v13i25.487.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Livestock and poultry**: world markets and trade. 2020. https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf. Acesso em: 14 jul. 2020.

VALLE, C. B. *et al*. Melhoramento de plantas forrageiras para uma pecuária de baixa emissão de carbono. *In*: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA INTEGRADA, 1., 2014, Sinop. **Anais** [...]. Sinop: Embrapa Agrosilvopastoril, 2014. p. 109-140.

XIA, C. *et al*. Effect of increased dietary crude protein levels on production performance, nitrogen utilisation, blood metabolites and ruminal fermentation of Holstein bulls. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 31, n. 10, p. 1643–1653, 2018. DOI: https://doi.org/10.5713/ajas.18.0125.

3 GLIFOSATO NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FORRAGEM DE CAPIM MARANDU

RESUMO: A deriva do herbicida glifosato, usado para dessecação de culturas ou no controle de plantas daninhas, pode resultar em efeitos promotores de crescimento ou desenvolvimento de plantas não alvo. Assim, surge a possibilidade de utilização do composto para incremento da biomassa de forrageiras, caracterizando a hormese. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de subdoses de glifosato na produção de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (capim marandu) e sobre a qualidade nutricional deste para ruminantes. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 4, com cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram: controle e quatro subdoses de glifosato (4, 10, 14 e 20 g ha^{-1} do equivalente ácido). As coletas mensais consistiram de quatro colheitas (parcelas subdivididas no tempo) do material vegetal a 0,20 m da superfície do solo, compreendendo folhas e pseudocolmos (colmo e bainha foliar) para determinação da produtividade e de parâmetros químico-bromatológicos da forragem. Subdoses de glifosato, em avaliações sucessivas, caracterizaram prejuízo ao rendimento produtivo aéreo de capim marandu. No entanto, promoveram a qualidade da forragem para relação folha/colmo, teores de proteína bruta e de fibra em detergente neutro. Fibra em detergente ácido tiveram efeitos exclusivamente do fator corte, com valores adequados a qualidade alimentar da forrageira. Ainda, houve hormesia do herbicida para teor de lignina de capim marandu.

Palavras-chave: Colheita. Hormese. Subdoses. *Brachiaria brizantha*.

3.1 INTRODUÇÃO

O Brasil detém o maior rebanho bovino comercial, exportador e produtor de carne, estimado em 10,3 milhões de toneladas (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2020). O cultivo de pastagens para alimentação animal é fundamental ao sucesso pecuário brasileiro, principalmente em termos econômicos, pelo baixo custo de produção, baseado na exploração da fertilidade natural dos solos ou em sua correção. A espécie *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (capim marandu), lançada em 1984, tem sido predominantemente utilizada nos sistemas de produção pecuária extensiva brasileira, especialmente por adaptação aos solos de baixa à média fertilidade natural.

Na agricultura, os herbicidas administrados para controle químico de plantas daninhas em culturas de interesse comercial são imprescindíveis à produção. O glifosato é o herbicida mais utilizado mundialmente (TEIXEIRA; PAULA; NAPOLITANO, 2019). Tem ação sistêmica e não seletiva, capaz de matar significativo número de espécies vegetais (BRITO *et al*., 2017). Os sintomas universais à aplicação do herbicida são clorose foliar, seguida de necrose, caracterizando efeito à fotossíntese, especialmente à rota do ácido chiquímico, e processos fisiológicos. Entretanto, em plantas suscetíveis ao glifosato, doses em níveis de deriva, variando de 1,8 a 25 g e.a. ha^{-1}, apresentaram efeito hormese (BRITO *et al*., 2017). Na tentativa de reparar o tecido afetado, baixíssimas doses de glifosato caracterizam resposta adaptativa da planta desencadeada por perturbação inicial à homeostase, como consequência do efeito hormese.

Outros estudos, com doses de até 36 g e.a. ha^{-1} de glifosato, representaram resposta biológica. Em crotalária, ampliou o número de ramos e de sementes por planta (KAPPES *et al*., 2012); incrementou a biomassa aérea em cana-de-açúcar (CARBONARI *et al*., 2014); e, aumentou a massa seca de folhas e de caules/colmos nos cultivos consorciados de eucalipto e cana-de-açúcar (NASCENTES *et al*., 2017). Como o herbicida glifosato é sucessor da molécula de glifosina, utilizada para maturação e regulação de crescimento em plantas (SILVA *et al*., 2012), pressupõe-se que doses de glifosato em níveis de deriva pode ser uma estratégia para reduzir o tamanho de colmos de capim marandu e, induzir o perfilhamento, assegurando melhoria na qualidade alimentar da forrageira.

Estudos preliminares do efeito hormese em capim marandu sobre parâmetros produtivos e de qualidade apresentaram resultados promissores. Entretanto,

restringe-se à avaliação imediata ou única, pois a eficácia ou longevidade do efeito herbicida sobre as plantas é limitada (BRITO *et al*., 2017). Deste modo, este trabalho tem como objetivo avaliar a ocorrência de hormese, por aplicações consecutivas de subdoses de glifosato, sobre produção e composição químico-bromatológica em capim marandu.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa de vegetação, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), Câmpus Ariquemes, no período de setembro de 2018 a abril de 2019. O planejamento seguiu o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5 x 4, sendo cinco níveis do tratamento aplicado (controle e quatro subdoses de glifosato) e quatro cortes, sendo este último avaliado em parcelas subdivididas no tempo. Foram utilizadas cinco repetições, totalizando 100 observações. As variáveis analisadas foram: produção de matéria seca (PMS), produção de massa seca de raiz (PMR), relação folha/colmo (RFC), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (LIG). Para a variável PMR, foi realizada medida única, após o quarto corte.

As sementes de *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu (capim marandu) foram obtidas de amostra de lote comercial, safra 2017/2018 e com valor cultural (VC) de 55%. A germinação ocorreu em bandeja de isopor com 200 células (uma plântula por célula, de formato cônico e volume de 15,6 mL,) e após o 21º dia após semeadura (DAS), em 06/10/2018, as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade para 7 dm^3 de substrato. Cada vaso representou uma unidade experimental e recebeu três mudas de capim marandu, em área de 0,0314 m^2.

O substrato utilizado consistiu da homogeneização, na proporção de 60, 26 e 14%, respectivamente, de solo de barranco (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico argiloso), areia e composto orgânico. Foram realizadas análises de fertilidade e textura do substrato e os resultados mostraram: pH (em água) = 6,75; carbono orgânico= 1,66 dag kg^{-1}; P e K (Mehlich 1) = 1869,4 e 111 mg dm^{-3}, respectivamente; Ca^{2+}, Mg^{2+} e Al^{3+} (KCl 1 mol L^{-1}) = 5,83, 2,08 e 0,0 $cmol_c$ dm^{-3}, respectivamente; saturação de bases = 88,7%; e, textura argilosa (520, 40 e 440 g kg de argila, silte e areia, respectivamente). Nos vasos, o substrato foi acomodado

considerando densidade média de 1,1 kg m^{-3} e manutenção da umidade em torno de 60% da capacidade de campo, por gravimetria.

Transcorridos 52 DAS, foi realizado o corte acima de 0,20 m do nível da superfície do substrato (DIAS-FILHO, 2012), para uniformização da forrageira. Na ocasião foram parceladas as adubações nitrogenada (ureia) e potássica (cloreto de potássio), e em outros três momentos (aos 82, 112 e 142 DAS), totalizando, respectivamente, 50 kg ha^{-1} de N e 40 kg ha^{-1} de K_2O (CANTARUTTI *et al*., 1999).

As subdoses de glifosato, 4, 10, 14 e 20 g ha^{-1} do equivalente ácido (e.a.), foram aplicados sistematicamente no sétimo dia após os cortes: de uniformização e dos três primeiros cortes avaliativos. O produto comercial utilizado foi o Shadow® (356 g e.a. L^{-1}), aplicado com pulverizador de compressão prévia, pressão de 2 bar munido de barra com ponta de pulverização DG11002 VS, proporcionando volume de calda de 100 L ha^{-1}. O referido produto preconiza período de carência/reentrada em pastagem após dois dias.

As colheitas avaliativas, com intervalo de desfolhação mensal, ocorreram aos 82, 112, 142 e 172 DAS, constituindo, respectivamente, os cortes 1, 2, 3 e 4. A produção vegetal aérea foi obtida a partir do peso total da forragem verde colhida nos vasos, com intensidade de desfolhação de 20 cm da superfície do substrato. O material foi separado em lâminas foliares e pseudocolmo (colmo + bainha).

A massa fresca aérea da forragem foi separada em duas subamostras: (1) destacando-se as folhas do colmo+bainha, para determinar a relação folha/colmo e produtividade (RFC); e, (2) perfilho e folhas, para análises laboratoriais.

As amostras foram submetidas a pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 55 ºC por 72 horas, método INCT-CA G-001/1 (DETMANN *et al*., 2012). Em seguida, subamostras da forragem foram processadas em moinho de facas tipo Willey, malha de 1 mm, para obter massa seca (MS), em estufa a 105ºC (INCT-CA G-003/1); proteína bruta (PB), pelo método de Kjeldahl (INCT-CA N-001/1); fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), por Filter Bag Tchenique da Ankom® (INCT-CA F-002/1 e INCT-CA F-004/1, respectivamente); e, lignina (LIG), por oxidação em permanganato de potássio (INCT-CA F-006/1) (DETMANN *et al*., 2012).

Com auxílio do software SISVAR (FERREIRA, 2019) a hipótese da normalidade dos erros foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, comprovada e os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade. Quando encontrado efeito significativo ($P<0,05$), o efeito das subdoses de glifosato (D) foram avaliados por análise de regressão, 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 basearam-se nos coeficientes de correlação (R^2) superiores, dentre as significativas pelo teste F a 5%. Os efeitos de corte (C) foram comparados pelo teste de Tukey a 5%.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância indicou significância das subdoses de glifosato e controle (D) para os teores de lignina (LIG) em capim marandu. Os cortes mensais (C) influenciaram significativamente os teores de fibra em detergente ácido (FDA) e LIG. As interações mostraram efeitos significativos para produção de matéria seca (PMS), relação folha/colmo (RFC), teores de proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN), como indicativo de interdependência dos fatores D e C (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância para produção de massa seca (PMS, g $vaso^{-1}$), relação folha/colmo (RFC), proteína bruta (PB, % MS), fibra em detergente neutro (FDN, % MS), fibra em detergente ácido (FDA, % MS) e lignina (LIG, % MS) de capim marandu para subdoses de glifosato e controle (D) e cortes (C).

Variáveis	Dose (D)	Corte (C)	D x C	CV(1)	Média
	---------- valor de F ----------			-- (%) --	----------
PMS (g $vaso^{-1}$)	45,812**	362,827**	2,278*	12,78	7,90
RFC	2,287ns	68,333**	4,627**	21,93	4,49
PB (% MS)	13,400**	66,082**	8,155**	10,19	12,68
FDN (% MS)	0,949ns	9,311**	2,109*	3,95	63,03
FDA (% MS)	1,537ns	13,751**	1,713ns	9,61	31,34
LIG (% MS)	38,272**	10,780**	1,171ns	24,14	2,43

Nota: (1) CV: coeficiente de variação. **, * e ns, significativo a 1 e 5% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
Fonte: Elaborado pela Autora.

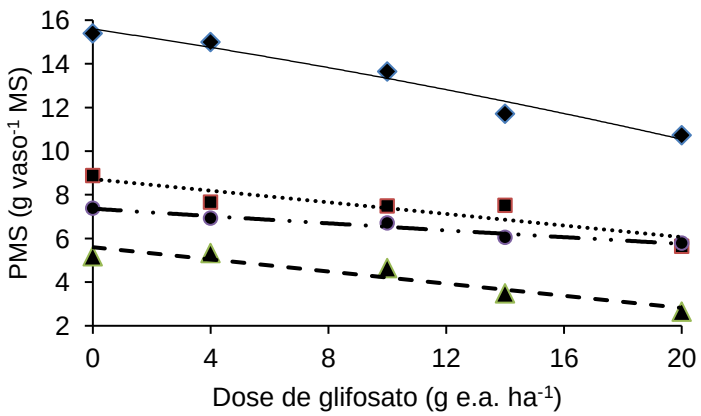
Em todas as subdoses de glifosato avaliadas, houve efeito depressivo à PMS da forrageira (Tabela 2). Dentre os cortes avaliativos, a PMS obtida no corte 1 diferiu significativamente sobre os cortes subsequentes. Portanto, para avaliação da hormese, aplicações consecutivas caracterizam prejuízo ao rendimento produtivo vegetal da forrageira.

Tabela 2. Médias e regressões para produção de matéria seca (PMS, g vaso^{-1}) de capim marandu submetido a subdoses de glifosato e controle, consoante aos cortes avaliativos.

Subdoses de glifosato (g e.a. ha^{-1})	Cortes 1	2	3	4
	Produção de matéria seca (PMS, g vaso^{-1})			
0	15,40 a$^{(1)}$	8,89 b	5,20 c	7,39 b
4	15,00 a	7,67 b	5,34 c	6,93 bc
10	13,65 a	7,49 b	4,65 c	6,71 b
14	11,72 a	7,53 b	3,49 c	6,06 b
20	10,74 a	5,65 b	2,66 c	5,79 b
Regressão	Teste F dos modelos matemáticos para PMS			
Linear	86,234**	24,030**	26,306**	8,796**
Quadrática	0,330^{ns}	0,652^{ns}	1,438^{ns}	0,004^{ns}
Cúbica	2,190^{ns}	4,378*	1,025^{ns}	0,007^{ns}
Desvio	0,809^{ns}	0,014^{ns}	0,195^{ns}	0,359^{ns}

Nota: $^{(1)}$Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si (p>0,05) pelo teste de Tukey. **, * e ^{ns}, significativo a 1 e 5% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
Fonte: Elaborado pela Autora.

Figura 3. Produção de matéria seca da parte aérea (PMS, g vaso^{-1} MS) de capim marandu submetido a subdoses de glifosato e controle, em quatro cortes consecutivos.



(◆) Corte 1
ŷ = – 0,2518x + 15,7188
R^2 = 0,9628
(■) Corte 2
ŷ = – 0,1329x + 8,7200
R^2 = 0,8265
(▲) Corte 3
ŷ = – 0,1391x + 5,6002
R^2 = 0,9082
(●) Corte 4
ŷ = – 0,0804x + 7,3500
R^2 = 0,9596

Fonte: Elaborado pela Autora.

O modelo matemático ajustado de PMS evidenciou comportamento linear negativo para cortes (Figura 3). No corte 1, o modelo prevê que com o incremento de

1g de equivalente ácido (e.a.) de glifosato à calda de pulverização, ocorre redução produtiva de 15,76 g vaso^{-1} de MS. Enquanto que nos cortes posteriores, houve efeito menos agressivo à PMS. Nos cortes 2, 3 e 4, o efeito depressivo foi equivalente a 8,59, 5,73 e 7,35 g vaso^{-1} de MS, para o incremento em cada grama do produto utilizado. Nestes cortes, portanto, não se observou efeito hormese.

Para as doses avaliadas, o corte 4 caracterizou maior RFC sobre os cortes anteriores (Tabela 3), evidenciando regulação da massa de colmo. Subdoses de glifosato proporcionaram incremento de massa de folhas com a progressão dos cortes. Gitti *et al*. (2011) ao avaliarem o uso de subdoses de glifosato (entre 26 e 182 g e.a. ha^{-1}) sobre as características agronômicas de arroz, registraram redução na altura das plantas em função da menor produção de ácido indolácetico (AIA). Os resultados obtidos pelos autores corroboram aos encontrados para RFC neste, em que a menor concentração de AIA reduziu a massa de colmos por planta e, os resultados adequaram-se ao comportamento diretamente linear às subdoses de glifosato testadas.

O modelo matemático linear ajustado apresenta aumento da RFC com a progressão das doses testadas, à exceção do corte 2 (Figura 4). Para aplicações sucessivas, pode ter havido redução da massa de colmo ou estímulo ao perfilhamento da gramínea, o que caracteriza aumento da massa de folhas. Alta RFC indica qualidade da forrageira, por representar tecidos com altos teores de PB e baixos de FDA e LIG (LOPES *et al*., 2011; FONTES *et al*, 2014). Deste modo, subdoses de glifosato em associação ao manejo (intervalo e intensidade de desfolhamento) é preponderante para melhoria das características morfogênicas do dossel forrageiro.

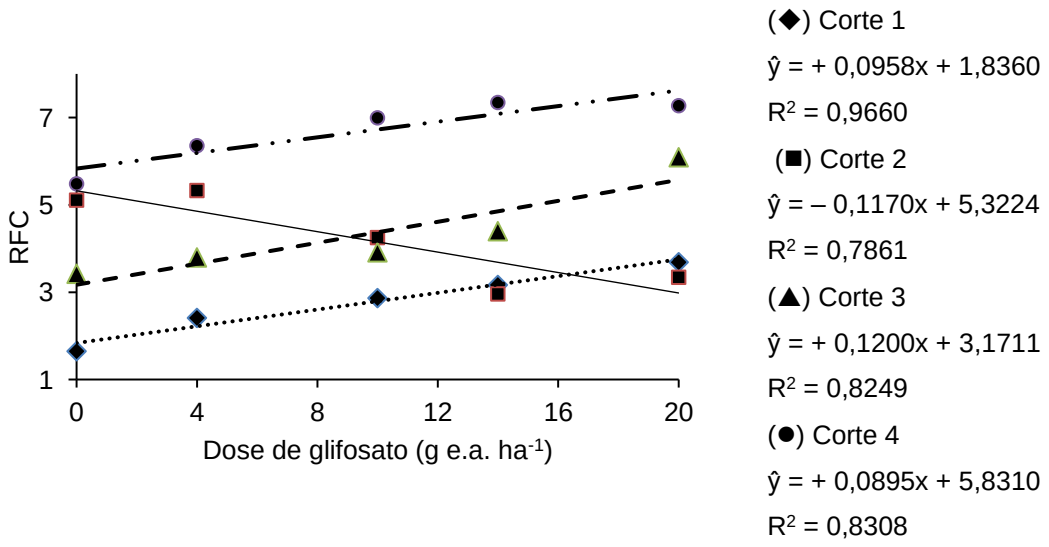
Tabela 3. Médias e regressão para relação folha/colmo (RFC) de capim marandu submetido a subdoses de glifosato e controle, consoante aos cortes avaliativos.

Subdoses de glifosato (g e.a. ha^{-1})	Cortes			
	1	2	3	4
	Relação folha/colmo (RFC)			
0	1,65 c$^{(1)}$	5,11 a	3,42 b	5,49 a
4	2,41 c	5,33 ab	3,79 bc	6,36 a
10	2,86 b	4,25 b	3,92 b	6,99 a
14	3,16 b	2,96 b	4,40 b	7,35 a
20	3,69 b	3,34 b	6,09 a	7,27 a

Regressão	---------- Teste F dos modelos matemáticos para RFC ----------			
Linear	10,381**	15,499**	16,317**	9,057**
Quadrática	0,173^{ns}	0,215^{ns}	2,852^{ns}	1,792^{ns}
Cúbica	0,174^{ns}	3,771^{ns}	0,588^{ns}	0,003^{ns}
Desvio	0,019^{ns}	0,231^{ns}	0,023^{ns}	0,049^{ns}

Nota: $^{(2)}$Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si (p>0,05) pelo teste de Tukey. ** e ^{ns}, significativo a 1% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
Fonte: Elaborado pela Autora.

Figura 4. Relação folha/colmo (RFC) de capim marandu submetido a subdoses de glifosato e controle, em quatro cortes consecutivos.



Fonte: Elaborado pela Autora.

A PB abrange substâncias com semelhanças químicas, como ácidos nucléicos, aminas, carboidratos e lipídios substituídos por radicais nitrogenados, aminoácidos não protéicos, etc. (DETMANN *et al*., 2012). Os teores de PB verificados (Tabela 4) descreve enriquecimento de aminoácidos livres, sugerindo que as atividades proteolíticas são influenciadas pelo tratamento com o herbicida e do manejo, implicando em efeito promotor à qualidade nutricional da forragem. O desdobramento de subdoses de glifosato entre os cortes caracterizaram superioridade do corte 3 (Tabela 4).

Tabela 4. Médias e regressão para teores de proteína bruta (PB, % MS) de capim marandu submetido a subdoses de glifosato e controle, consoante aos cortes avaliativos.

---------- Cortes ----------

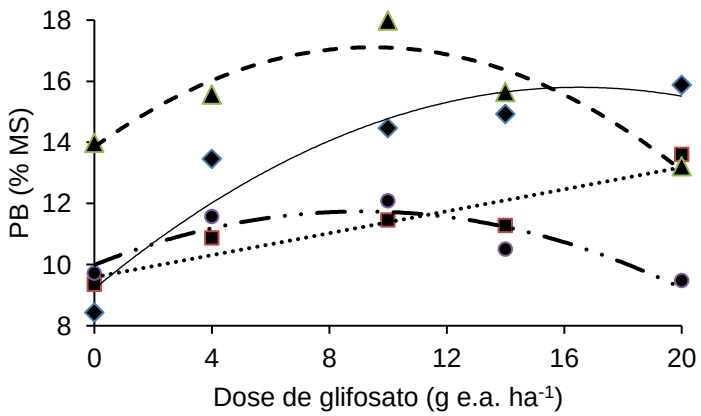
Subdoses de glifosato (g e.a. ha^{-1})	1	2	3	4
	---------- Proteína bruta (PB, % MS) ----------			
0	8,43 b[(1)]	9,35 b	13,99 a	9,72 b
4	13,46 ab	10,87 c	15,46 a	11,57 bc
10	14,46 b	11,46 c	17,99 a	12,09 c
14	14,92 a	11,29 b	15,66 a	10,50 b
20	15,88 a	13,61 b	13,22 b	9,48 c
Regressão	---------- Teste F dos modelos matemáticos para PB ----------			
Linear	66,095**	20,845**	0,638^{ns}	0,737^{ns}
Quadrática	13,279**	0,192^{ns}	30,111**	10,179**
Cúbica	7,981**	2,862^{ns}	0,049^{ns}	1,951^{ns}
Desvio	0,867^{ns}	0,120^{ns}	3,920^{ns}	0,505^{ns}

Nota: [(1)]Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si (p>0,05) pelo teste de Tukey. ** e ^{ns}, significativo a 1% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
Fonte: Elaborado pela Autora.

As subdoses de glifosato manifestaram comportamento diferenciado para PB (Figura 5). Houve desempenho matemático linear crescente no 2º corte. O teor máximo de PB à subdose de equivalente ácido de glifosato de 20 g ha^{-1}, propiciou incremento em relação ao controle, equivalente a 45,54%, evidenciando efeito hormese. Entretanto, para os cortes 1, 3 e 4, respectivamente, o comportamento adequou-se ao modelo matemático quadrático, com efeito hormese até as doses estimadas de 16,49; 9,49 e 7,90 g e.a. ha^{-1} de glifosato. Neste patamar, o aumento de PB sobre o tratamento controle corresponde a 87,31, 22,41 e 16,41%, respectivamente. A partir das doses indicadas no modelo (Figura 5), ocorreu efeito depressivo para os teores de PB.

Em culturas como crotalária e arroz, o glifosato tem sido proposto como regulador de crescimento, ou para eliminar o acamamento das plantas (GITTI *et al*., 2011; KAPPES *et al*., 2012), porém, a prática resultou em redução produtiva. Com base nisso, pressupõe-se que com a evolução das desfolhações (cortes avaliativos), reduzir a concentração do equivalente ácido utilizado seria uma possibilidade para atenuar o efeito depressor no teor de PB, bem como para manutenção do potencial produtivo da forrageira. Deste modo, propõem-se estudos complementares para atestar a hipótese.

Figura 5. Proteína bruta (PB, % MS) de capim marandu submetido a subdoses de glifosato e controle, em quatro cortes consecutivos.



(◆) Corte 1
ŷ = – 0,0242x² + 0,7980x + 9,2116
R² = 0,8997)
(■) Corte 2
ŷ = + 0,1796x + 9,5909
R² = 0,8678
(▲) Corte 3
ŷ = – 0,0363x² + 0,6888x + 13,8512
R² = 0,8857
(●) Corte 4
ŷ = – 0,0212x² + 0,3850x + 9,9888 R² = 0,8164

Fonte: Elaborado pela Autora.

Para FDN, a subdose de glifosato de 14 g e.a. ha^{-1} e controle não evidenciaram efeito entre os cortes analisados, diferentemente das demais subdoses testadas (Tabela 5). Ainda, não houve modelo matemático de ajuste para os cortes 2 e 4 (Tabela 5). Para os cortes 1 e 3, respectivamente, houve adequação aos modelos linear e quadrático (Figura 6). Entretanto, os teores de FDN obtidos estão de acordo com os valores limitantes ao consumo da forragem. O limite de 65% de FDN na MS em forrageiras tropicais, com intervalo de desfolha de 30 dias, caracteriza bom valor nutritivo, favorecendo o desempenho produtivo animal em pastagens (ALENCAR *et al*., 2010; HANISCH; BALBINOT JUNIOR; VOGT, 2017).

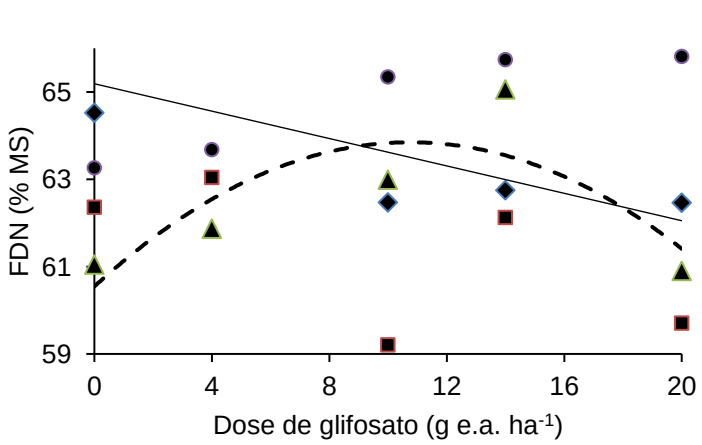
Tabela 5. Médias e regressão para teores de fibra em detergente neutro (FDN, % MS) de capim marandu submetido a subdoses de glifosato e controle, consoante aos cortes avaliativos.

Subdoses de glifosato (g e.a. ha^{-1})	Cortes			
	1	2	3	4
	Fibra em detergente neutro (FDN, % MS)			
0	64,53	62,36	61,05	63,27
4	66,20 a(1)	63,04 ab	61,87 b	63,68 ab
10	62,47 ab	59,21 b	62,99 ab	65,34 a

14	62,75	62,13	65,06	65,74
20	62,47 ab	59,71 b	60,90 b	65,82 a
Regressão	---------- Teste F dos modelos matemáticos para FDN ----------			
Linear	4,085*	2,995^{ns}	0,399^{ns}	3,399^{ns}
Quadrática	0,069^{ns}	0,026^{ns}	4,760*	0,288^{ns}
Cúbica	1,542^{ns}	0,037^{ns}	1,904^{ns}	0,115^{ns}
Desvio	1,475^{ns}	4,719^{ns}	0,711^{ns}	0,045^{ns}

Nota: (1)Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si (p>0,05) pelo teste de Tukey. * e ^{ns}, significativo a 5% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
Fonte: Elaborado pela Autora.

Figura 6. Fibra em detergente neutro (FDN, % MS) de capim marandu submetido a subdoses de glifosato e controle, em quatro cortes consecutivos.



(◆) 1º corte
ŷ = – 0,1569 + 65,188
R^2 = 0,5697
(■) 2º corte
Sem ajuste
(▲) 3º corte
ŷ = – 0,0285x² + 0,6141x + 60,5448
R^2 = 0,6636
(●) 4º corte
Sem ajuste

Fonte: Elaborado pela Autora.

Na avaliação temporal, os cortes 1 e 4 apresentaram teor de FDA significativamente superior às avaliações intermediárias (Tabela 6). Os teores de FDA registrados relacionam positivamente com a digestibilidade da forrageira, indicando baixos teores de componentes lignificados, favorecendo a digestibilidade e o aproveitamento da forragem ingerida (OLIVEIRA *et al*., 2010). Os teores de FDA em forragens com valores em torno de 30% são considerados ideais ao consumo animal (MIRANDA *et al*., 2018). Meschede *et al*. (2011) testaram o efeito de subdoses de glifosato na composição químico-bromatológica de *Brachiaria decumbens*, sendo a dose inicial 32 g e.a. ha^{-1} e tratamento controle, obtendo FDA equivalente a 40,50 e 42,50% MS, respectivamente, não conferindo efeito hormese para esta variável.

Tabela 6. Teores de Fibra em detergente ácido (FDA, % MS) e lignina (LIG, % MS) de capim marandu em quatro cortes avaliativos.

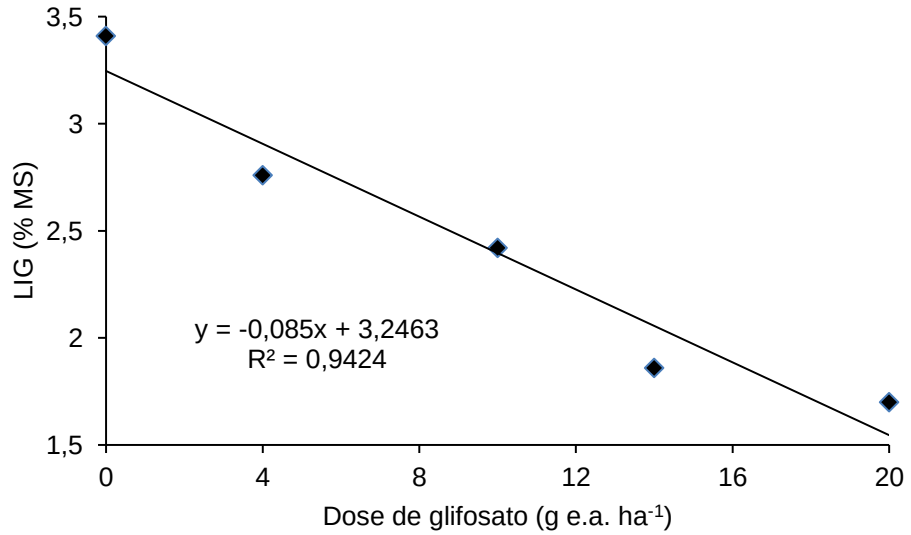
Variáveis	Cortes			
	1	2	3	4
FDA, % MS	32,96 a[(1)]	28,58 b	30,48 b	33,34 a
LIG, % MS	2,98 a	2,15 b	2,37 b	2,19 b
	Teste F dos modelos matemáticos para LIG			
	Linear	Quadrática	Cúbica	Desvio
LIG, % MS	145,120**	4,088^{ns}	0,012^{ns}	3,776^{ns}

Nota: [(1)]Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si (p>0,05) pelo teste de Tukey. ** e ^{ns}, significativo a 1% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
Fonte: Elaborado pela Autora.

Como atestado por Magalhães Junior *et al*. (2015), os teores de FDA têm relação com os teores de LIG dos alimentos, pois determinam a digestibilidade da fibra. Menor teor de FDA sugere menor teor de LIG e, consequentemente, melhoria na digestibilidade do alimento. Houve efeito do corte, reduzindo os teores de LIG da forragem (Tabela 6). Nos cortes 2, 3 e 4, os teores de lignina foram significativamente inferiores ao do corte 1.

A produção de LIG é controlada pela fenilalanina, um produto chave da via do chiquimato (ZOBIOLE *et al.*, 2010) e, portanto, altamente afetada pelo glifosato (SILVA *et al*., 2015). Os resultados para LIG indicaram comportamento matemático linear inversamente proporcional às doses de glifosato testadas (Figura 7). A redução no teor de LIG é um aspecto fisiológico importante, pois este biopolímero integra a fração indigestível das plantas utilizadas na alimentação de ruminantes e compromete a digestibilidade dos nutrientes da forragem, consequentemente, o desempenho animal em pastagens (BERCHIELLI; PIRES*;* OLIVEIRA, 2011).

Figura 7. Teores de Lignina (LIG, %MS) de capim marandu tratado com subdoses de glifosato e controle.



Fonte: Elaborado pela Autora.

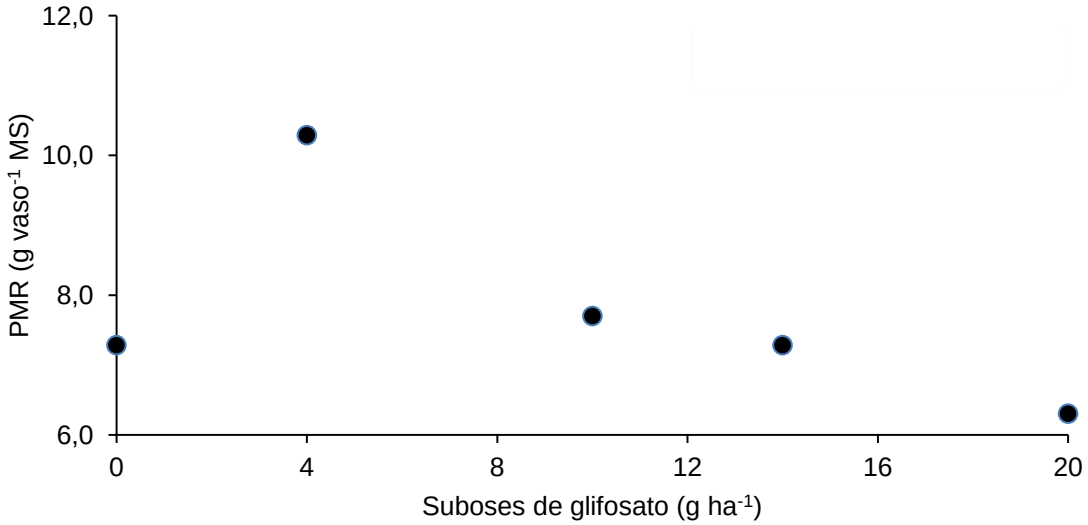
As subdoses de glifosato avaliadas apresentaram efeito para PMR de capim marandu (Tabela 7), e a subdose 4 g e.a. ha^{-1} caracterizou efeito hormese (Figura 8). No entanto, os modelos estudados não foram adequados ao comportamento registrado (Tabela 7).

Tabela 7. Análise de variância e regressão para massa seca de raiz (PMR, g $vaso^{-1}$) de capim Marandu exposto a subdoses de glifosato e controle.

Fator de variação	Graus de liberdade	Valor de F	CV(1) (%)	Média geral (g $vaso^{-1}$)	Número de observações
Doses	4	14,250**	11,42	7,77	25
	---------- Regressão ----------				
	Linear	Quadrática	Cúbica	Desvio	
Doses	18,103**	12,282**	13,627**	12,989**	

Nota: ** e ns, significativo a 1% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
Fonte: Elaborado pela Autora.

Figura 8. Produção de massa seca de raiz (PMR, g vaso^{-1} de MS) de capim marandu tratado com subdoses de glifosato.



Fonte: Elaborado pela Autora.

Em aplicações foliares, o herbicida é rapidamente absorvido e transportado para tecidos vegetais de alta taxa metabólica, como brotações e raízes. As raízes exsudam o glifosato liberando-os no solo, sendo adsorvido às suas partículas coloidais, degradados por microrganismos ou, absorvido por raízes de plantas adjacentes/subsequentes (GOMES *et al*., 2014). Entretanto, como o cultivo ocorreu em vasos, pode ter ocorrido limitação volumétrica para dispersão/dissipação do glifosato exsudado pelo sistema radicular, o que resultou em efeito depressivo/cumulativo a reestabilização do sistema radicular da forrageira.

3.4 CONCLUSÕES

Subdoses de glifosato até 20 g e.a. ha^{-1} e avaliações sucessivas, com cortes a cada 30 dias, caracterizaram prejuízo produtivo de até 50% em capim marandu.

Subdoses de glifosato associado a cortes, incrementaram a qualidade da forragem, proporcionando relação folha/colmo máxima de 7, menor teor de fibra em detergente neutro e maior teor de proteína bruta, entre 8 e 18% MS.

Isoladamente, cortes promoveram índices adequados de fibra em detergente ácido (em torno de 30% MS), refletindo no menor teor de lignina e, assegurando qualidade alimentar da forragem.

A dose 20 g ha^{-1} do equivalente ácido de glifosato reduziu o teor de lignina do capim marandu.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, C. A. B. *et al*. Valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais irrigadas em diferentes épocas do ano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 20-27, 2010. DOI: 10.5216/pat.v40i1.3994.

BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP – Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão. 2011.

BRITO, I. P. F. S. *et al*. Hormetic effects of glyphosate on plants. **Pesticide Management Science**, Sussex, v. 74, p. 1064-1070, 2017. DOI: https://doi.org/10.1002/ps.4523.

CANTARUTTI, R. B. *et al*. Pastagens. *In*: RIBEIRO, A. C. *;* GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: Os autores, 1999. p. 332-341. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. Disponível em: https://www.academia.edu/35345434/RECOMENDA%C3%87%C3%95ES_PARA_O_USO_DE_CORRETIVOS_E_FERTILIZANTES_EM_MINAS_GERAIS_5_a_APROXIMA%C3%87%C3%83º. Acesso em: 14 jul. 2020.

CARBONARI, C. A. *et al.* Glyphosate effects on sugarcane metabolism and growth. **American Journal of Plant Sciences**, Irvine, v. 5, p. 3585-3593, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.524374.

DETMANN, E. *et al*. **Métodos para análise de alimentos** - INCT - Ciência Animal. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012.

DIAS-FILHO, M. B. **Formação e manejo de pastagens**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. 9 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 235).

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FONTES, J. G. G. *et al*. Herbage accumulation in *Brachiaria brizantha* cultivars submitted to defoliation intensities. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1425-1438, 2014. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n3p1425.

GITTI, D. C. *et al*. Glyphosate como regulador de crescimento em arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 500-507, 2011. DOI: 10.5216/pat.v41i4.10160.

GOMES, M. P. *et al.* Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, n. 17, p. 4691-4703, 2014. DOI: 10.1093/jxb/eru269.

HANISCH, A. L., BALBINOT JUNIOR, A. A., VOGT, G. A. Desempenho produtivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em função da inoculação com *Azospirillum* e doses de nitrogênio. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 11, n. 3, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i3.3916.

KAPPES, C. *et al*. Resposta da crotalária à épocas e subdoses de aplicação de glifosato. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 373-383, 2012. DOI: https://doi.org/10.5216/pat.v41i4.10160.

LOPES, M. N. *et al*. Componentes estruturais do resíduo pós-corte em capim-massai adubado com cinco doses de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 518-525, 2011. doi: https://*doi*.org/10.1590/S1806-66902011000200035.

MESCHEDE, D. K. *et al*. Efeitos do glyphosate nos teores de lignina, celulose e fibra em *Brachiaria decumbens*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 10, n. 1, p. 57-63, 2011. DOI: http://dx.*doi*.org/10.7824/rbh.v10i1.77.

MIRANDA, C. C. B. *et al*. Desenvolvimento de *Brachiaria brizantha* adubada com fonolito e inoculada com bactérias diazotróficas solubilizadoras de potássio. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, p. 41, v. 3, p. 41-50, 2018. DOI: https://dx.doi.org/10.19084/RCA17011.

NASCENTES, R. F. *et al*. Low doses of glyphosate enhance growth, CO_2 assimilation, stomatal conductance and transpiration in sugarcane and eucalyptus. **Pest Management Science**, Sussex, v. 74, n. 5, p. 1197-1205, 2017. DOI: 10.1002/ps.4606.

OLIVEIRA, D. A. *et al*. Valor nutritivo do capim-braquiária no primeiro ano de recuperação com aplicações de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 716-726, 2010. DOI: https://*doi*.org/10.1590/S1516-35982010000400004.

SILVA, J. C. *et al*. Efeito hormese de glyphosate em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 3, p. 295-302, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000300008.

TEIXEIRA, D. E.; PAULA, R. L. G.; NAPOLITANO, H. B. Legislação e normatização para o glifosato no Brasil. **Revista Processos Químicos**, Anápolis, v. 13, n. 25, p. 105-116, 2019. DOI: https://doi.org/10.19142/rpq.v13i25.487.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Livestock and Poultry**: World Markets and Trade. 2020. Retrieved from https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf. Acesso em: 14 jul. 2020.

ZOBIOLE, L. H. S. *et al*. Glyphosate affects lignin content and amino acid production in glyphosate-resistant soybean. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 32, p. 831-837, 2010. DOI: 10.1007/s11738-010-0467-0.

4 SUBDOSES DE GLIFOSATO EM COMBINAÇÃO COM MANGANÊS FOLIAR NA PRODUÇÃO DE CAPIM MARANDU[1]

RESUMO: A deriva do herbicida glifosato, que pode estimular crescimento e/ou rendimento produtivo em plantas não alvo, caracterizam efeito hormese. Entretanto, essa deriva, na maioria das vezes, ainda se manifesta com amarelecimento momentâneo em folhas novas, característico de deficiência nutricional. Deste modo, o trabalho teve por objetivo avaliar o efeito hormese por aplicação de subdoses de glifosato em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Foi avaliada a resposta produtiva aérea (PMS) e radicular (MSR) da forrageira por aplicação foliar de sete subdoses do equivalente ácido (e.a.) de glifosato (5,40, 10,80, 21,60, 43,20, 64,80, 86,40 e 108,00 g e.a. ha^{-1}) e controle, sob ausência e presença de manganês (1000 g ha^{-1}) à calda de pulverização, em quatro colheitas sequenciais, caracterizando esquema fatorial 8 x 2 x 4, com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais. As subdoses de glifosato com adição de manganês à calda de pulverização reduziram o efeito herbicida, com persistência de PMS durante o período experimental (4 cortes). Para doses sem adição de manganês à calda de pulverização, houve falência produtiva nos cortes 2, 3 e 4, para doses acima de 86,40 g e.a. ha^{-1}. A presença de manganês à calda de pulverização assegurou produção de massa seca de raízes superior àquelas sem adição de manganês, sendo constatado efeito do herbicida nas doses igual e superiores a 43,60 g e.a. ha^{-1}.

Palavras-chave: Deriva. Herbicida. Produção de matéria seca. Subdoses. *Brachiaria brizantha*.

[1] Artigo aceito para publicação no periódico “Archivos de Zootecnia”, em 07/05/2020.

4.1 INTRODUÇÃO

A hormese é uma resposta adaptativa da planta desencadeada por perturbação inicial à homeostase, na tentativa de reparar o tecido afetado (CARVALHO; ALVES; DUKE, 2013). A hipótese de hormese possui suporte em herbicidas originalmente desenvolvidos como reguladores de crescimento, como é o caso do glifosato; e quando aplicado em doses baixíssimas, apresentam efeito estimulante (SILVA *et al*., 2016).

O herbicida glifosato é o mais utilizado no mundo (HAGNER *et al*., 2019; TEIXEIRA; PAULA; NAPOLITANO, 2019). É eficiente no controle de plantas daninhas, especialmente em cultivos geneticamente modificados; portanto, resistente ao composto químico. Em consequência, cultivos não alvos acabam recebendo deriva do produto, evidenciando que subdoses desencadeiam estímulos em características de crescimento (SILVA *et al*., 2009; BERTONCELLI *et al*., 2018) e/ou características internas, como teor lignina (MESCHEDE *et al*., 2011; GITTI *et al*., 2011) e acúmulo de açúcares (LEITE *et al*., 2009; MARQUES *et al*., 2011).

Aplicações de subdoses do composto glifosato podem resultar em melhorias das características morfofisiológicas e bioquímicas de plantas. Ocorre ação regulatória do crescimento, reduzindo o acamamento de arroz por encurtamento dos entrenós do colmo das plantas (GITTI *et al*., 2011), consequentemente, melhorando a relação folha/colmo de gramíneas e contribuindo para o aumento da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa. O herbicida atua na enzima 5-enol-piruvil shiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), inibindo a produção de lignina, controlada pela fenilalanina, um produto chave da via do chiquimato, altamente afetada pelo glifosato (ZOBIOLE *et al*, 2010; SILVA *et al*., 2015) e contribuindo à qualidade da forrageira destinada a alimentação animal, pela redução nos teores de componentes fibrosos.

Subdoses de glifosato apresentam-se como uma alternativa no sistema produtivo em *Brachiaria decumbens*, representando um ganho na qualidade da forrageira, pois melhoram a digestibilidade pela redução nos teores de lignina (MESCHEDE *et al*., 2011).

Entretanto, a maioria dos estudos realizados com subdoses de herbicidas consideram períodos curtos de avaliação, restringindo-se, normalmente a avaliações únicas e próximas ao tempo de exposição ao glifosato e, portanto, não produziram evidências consistentes de que a hormese possa levar a um efeito significativo de aumento no rendimento produtivo das plantas (BRITO *et al*., 2017).

Os efeitos fisiológicos colaterais em plantas tratadas com glifosato, especialmente por aplicações de subdoses, podem resultar na degradação da clorofila, causando amarelecimento temporário em folhas recém-emergidas (MESCHEDE *et al*., 2007). Os sintomas, muitas vezes, são semelhantes à deficiência de manganês (Mn), caracterizando que o glifosato pode interferir nas relações do elemento na planta.

O Mn é vital no sistema fisiológico/metabólico vegetal, imprescindível à fotossíntese, à oxidação da água, assimilação de nitrogênio e percursor de enzimas, aminoácidos aromáticos, hormônios, fenóis e lignina (TAIZ; ZEIGER, 2016). Portanto, é provável que a suplementação foliar de manganês possa resultar em alterações na absorção e no metabolismo em plantas por efeito deriva de glifosato. Deste modo, objetivou-se avaliar o efeito de subdoses de glifosato, em ausência ou presença de manganês à calda de pulverização, na resposta produtiva de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (capim marandu), avaliada em colheitas sequenciais.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Em vasos, a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (capim marandu) foi cultivada a partir de sementes e o experimento 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.

Para determinar produção de matéria seca (PMS), o experimento constituiu de delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições, em esquema fatorial 8 x 2 x 4, em parcela subdividida no tempo, totalizando 256 observações. As parcelas principais (níveis) consistiram da aplicação foliar do herbicida glifosato, em sete subdosagens (5,40, 10,80, 21,60, 43,20, 64,80, 86,40 e 108,00 g ha^{-1} do equivalente ácido) e controle (sem herbicida); e, das referidas subdoses, com adição de fertilizante foliar mangânico, na concentração de 1000 g ha^{-1} à calda de pulverização e aplicados juntos.

As subparcelas, constituíram o fator tempo, totalizando 4 colheitas avaliativas sequenciais: aos 73, 94, 115 e 136 dias após a semeadura (DAS). A produção de massa seca de raiz (PMR) foi obtida de medida única, após o quarto corte avaliativo. Neste caso, seguiu análise em delineamento inteiramente casualizado, constituído de subdoses de glifosato e testemunha), com ausência e presença de manganês à calda

de pulverização, em esquema fatorial 8 x 2, com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais.

O herbicida utilizado foi o equivalente ácido (e.a.) do glifosato, nome comercial Glifosato Nortox SL® (360 g L^{-1}). O fertilizante foliar, com 56% de agente quelante, possuia a seguinte composição mineral: 8% de manganês, 6,5% de enxofre, 3% de zinco, 1% de cobre e de zinco, 0,5% de boro e 0,1% de molibdênio.

As sementes de capim marandu foram obtidas de amostra de lote comercial, safra 2018/2019 e valor cultural (VC) de 80%, que foram semeadas em 20/03/2019. O substrato para semeadura e desempenho do experimento foi homogeneizado na proporção de 60, 26 e 14%, respectivamente, de solo de barranco (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico), areia lavada e material orgânico derivado de compostagem.

Nos vasos, com capacidade de 7 dm^3 (área superficial de 0,0314 m^2), o substrato foi acomodado considerando densidade média de 1,1 kg m^{-3} e manutenção da umidade em torno de 60% da capacidade de campo, por gravimetria.

Foi realizada a análise da fertilidade e textura do substrato, obtiveram-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; Ca^{2+}, Mg^{2+} e Al^{3+} (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 argilosa (353, 77 e 570 g kg^{-1}, respectivamente de argila, silte e areia).

Aos 15 DAS foi realizado o desbaste, limitando-se a quatro plantas de capim por vaso. Enquanto que aos 52 DAS, realizou-se o corte de uniformização da forrageira em todas as parcelas experimentais, do estrato acima de 20 cm do nível da superfície do substrato (DIAS-FILHO, 2012). Nesta ocasião (do corte de uniformização) e dos três primeiros cortes avaliativos (aos 73, 94 e 115 DAS) foram parceladas as adubações nitrogenada (ureia) e potássica (cloreto de potássio), respectivamente, totalizando 50 kg ha^{-1} de N e 40 kg ha^{-1} de K_2O (CANTARUTTI *et al*., 1999).

Aos 59, 80, 101 e 122 DAS houve a aplicação das subdoses de glifosato, em ausência e presença de fertilizante foliar mangânico à calda pulverização. As aplicações foram realizadas utilizando pulverizador manual de compressão prévia por CO_2, proporcionando volume de calda de 100 L ha^{-1}, correspondendo a 3,2 mL $vaso^{-1}$, de modo que as caldas atingissem completamente o dossel da forragem.

Com frequência de desfolhação de 21 dias, as avaliações foram realizadas aos 73 (corte 1), 94 (corte 2), 115 (corte 3) e 136 DAS (corte 4), colhendo-se a massa total

da forragem verde dos vasos, a 20 cm da superfície. Para determinar PMS e PMR, massa fresca aérea, constituída de folhas e pseudocolmo; e, massa de raízes, colhidas ao final do período experimental, foram pesadas e secas em estufa de ventilação forçada a 65ºC, até massa constante.

Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste F para detectar as diferenças de todos os fatores e comparar as médias, quando encontrada diferença significativa para os fatores com dois níveis. Constatado efeito significativo, as médias dos fatores quantitativos foram submetidos à análise de regressão, a qualidade de ajuste dos modelos foi verificada a partir do p-valor do desvio da regressão (não significativo), 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 F, ao nível de 5% de significância, utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2019).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para produção de matéria seca (PMS) houve interação entre os fatores subdoses de glifosato e testemunha (D), em ausência e presença de manganês (Mn) à calda do herbicida e cortes consecutivos (C). As interações mostraram efeitos significativos, como indicativo de interdependência dos fatores D, Mn e C (Tabela 8).

Em todos os cortes, para doses com presença de manganês à calda de pulverização, foi constatado comportamento linear, caracterizando desempenho inversamente proporcional à progressão de subdoses de glifosato (Tabela 8, Figura 9), sem que houvesse aniquilação da produção forrageira nas doses avaliadas.

Para a PMS foi ajustada regressão polinomial de segundo grau para todos os cortes na ausência de manganês (Tabela 8; Figura 9). Nos cortes 2, 3 e 4, houve efeito herbicida para doses mais elevadas (64,80; 86,40 e 108,00 g ha^{-1} de equivalente ácido de glifosato) sendo suficientes para aniquilação da produção forrageira, inviabilizando o restabelecimento do potencial forrageiro a partir da segunda aplicação dos tratamentos. Neste caso, ocorreu efeito herbicida, em que a inibição da EPSPs à biossíntese de triptofano, fenilalanina e tirosina ocorre e, por conseguinte, a síntese de proteínas e de outros compostos aromáticos necessários ao crescimento do tecido vegetal (CAMPOS; RONCHI, 2015; BRITO *et al*., 2017).

Analisando-se a Figura 9, verifica-se que a dose equivalente de 64,80 g e.a. ha^{-1}, ou superiores, foram suficientes à inviabilização produtiva da forrageira (cortes 3

e 4). Entretanto, Moraes *et al*. (2019) 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 *B. decumbens*, ainda, possibilitando produção forrageira. Cabe destacar que o efeito das doses varia em função das espécies forrageiras (BRIGHENTI *et al*., 2011), idade/estádio da planta (SILVEIRA *et al*., 2019), tamanho da parcela experimental (CAMPOS; RONCHI, 2015) e do volume de calda.

Nesta mesma linha de pesquisa, Nascentes *et al*. (2015) avaliando o efeito da aplicação deste herbicida em capim marandu, constataram que a produção de massa seca avaliada aos 15 e 30 após aplicação dos tratamentos, proporcionou incremento equivalente a 31,8% e 21,8% em relação ao controle, em subdoses de 10,5 e 12,62 g e.a ha^{-1}, respectivamente. Entretanto, neste trabalho não foi constatado evidências de efeito hormese na forrageira, mesmo com adição do fertilizante foliar mangânico. Os modelos matemáticas ajustados (Figura 9) indicaram redução produtiva forrageira, evidenciado pelo coeficiente de inclinação da reta. Portanto, em aplicações consecutivas, houve efeito depressivo ao rendimento produtivo vegetal da forrageira, com déficit médio de 70,31% entre a dose 108,00 g e.a. ha^{-1} e controle, no corte 1 (Figura 9).

Para produção de massa seca de raízes (MSR) houve interação entre os fatores subdoses de glifosato e controle (D), em ausência ou presença de manganês (Mn) à calda do herbicida para pulverização (Tabela 9). As interações mostraram efeitos significativos, como indicativo de relação de dependência mútua dos fatores D e Mn.

A avaliação de massa seca de raízes (MSR) durante o período experimental caracterizou diferença para presença de manganês à calda de pulverização, a partir da dose 43,20 g e.a.ha^{-1}, confirmando o efeito herbicida constatado para PMS (Tabela 8). Para este atributo, os modelos matemáticos ajustados (polinomial de primeiro grau), com desvio de regressão não significativo (Tabela 9), tanto na presença como na ausência de manganês, caracterizam que no mínimo 87% dos dados são explicados pela equação.

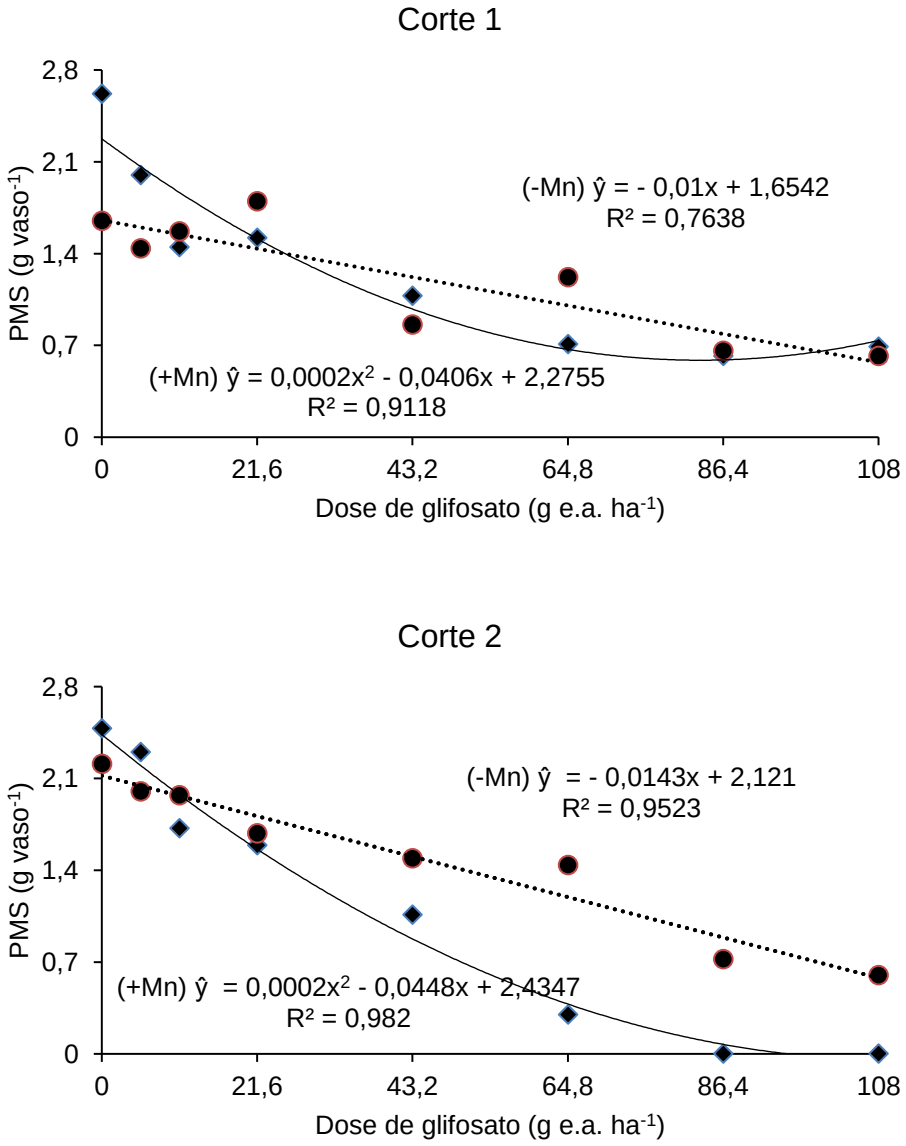
Tabela 8. Análise de variância, médias e regressão para produção de massa seca (PMS) de capim marandu tratado com subdoses de glifosato (D), com ausência (-Mn) e presença de Manganês (+Mn), em quatro cortes (C).

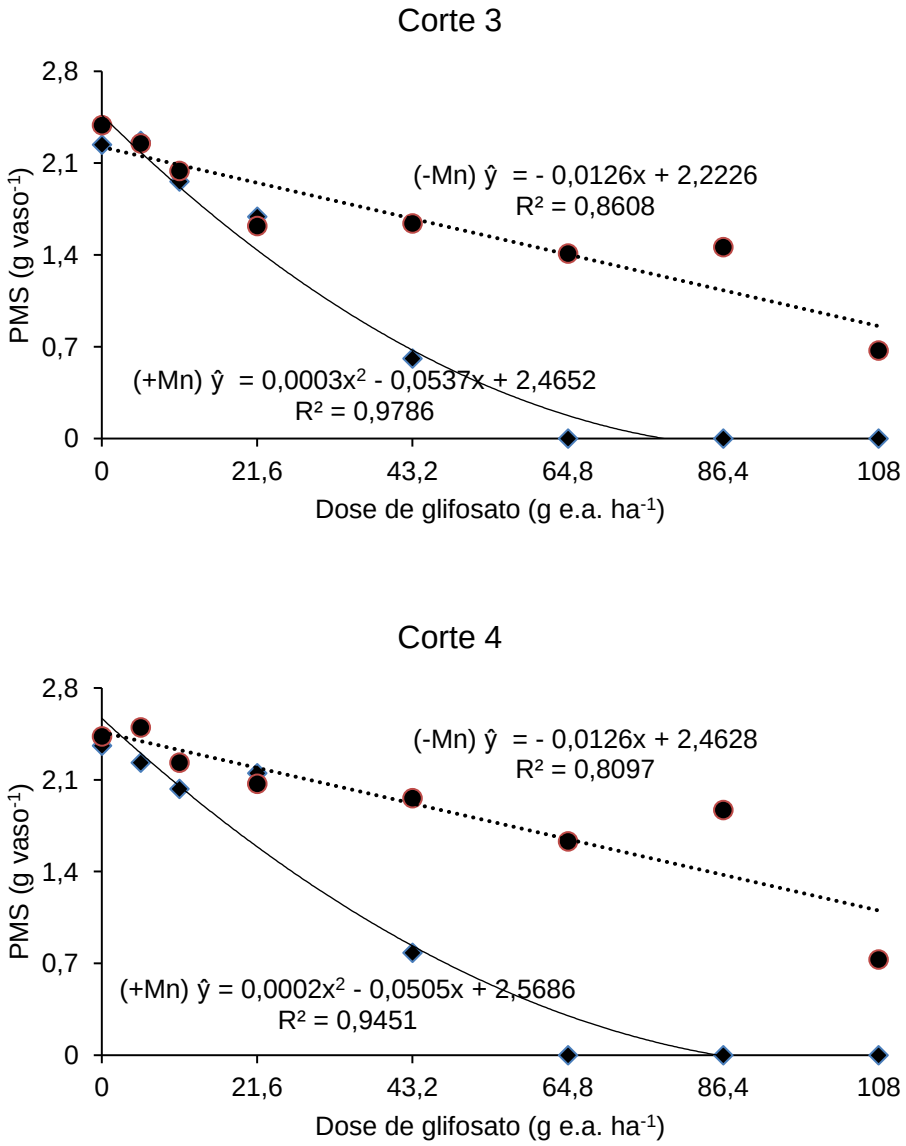
Dose (D)	Manganês (Mn)	Corte (C)	D × Mn	Mn × C	D × C	D × Mn × C	CV[1]	Média (g vaso^{-1})
213,971 **	125,148 **	13,899 **	29,093 **	33,649 **	3,987 **	3,351 **	18,34	1,39
Dose (g e.a. ha^{-1})	Médias de PMS (g vaso^{-1})							
	---------- Corte 1 ----------		---------- Corte 2 ----------		---------- Corte 3 ----------		---------- Corte 4 ----------	
	- Mn	+ Mn	- Mn	+ Mn	- Mn	+ Mn	- Mn	+ Mn
0,00	2,62 a[2]	1,65 b	2,48	2,21	2,24	2,39	2,36	2,43
5,40	2,00 a	1,44 b	2,30	2,00	2,27	2,25	2,23	2,50
10,80	1,45	1,57	1,72	1,97	1,96	2,04	2,03	2,23
21,60	1,52	1,80	1,59	1,68	1,69	1,62	2,15	2,07
43,20	1,08	0,86	1,06 b	1,49 a	0,61 b	1,64 a	0,78 b	1,96 a
64,80	0,71 b	1,22 a	0,30 b	1,44 a	0,00 b	1,41 a	0,00 b	1,63 a
86,40	0,62	0,66	0,00 b	0,72 a	0,00 b	1,46 a	0,00 b	1,87 a
108,00	0,69	0,62	0,00 b	0,60 a	0,00 b	0,67 a	0,00 b	0,73 a
	Valor de F da Regressão							
Linear	157,88 **	67,15 **	380,78 **	136,11 **	396,70 **	106,37 **	441,47 **	104,95 **
Quadrática	30,37 **	0,04 ns	21,27 **	0,08 ns	42,02 **	0,04 ns	29,55 **	3,47 ns
Cúbica	3,26 ns	0,73 ns	0,25 ns	0,24 ns	3,19 **	13,93 ns	12,37 **	11,24 ns
Desvio	1, 95 ns	0,04 ns	2,98 ns	0,31 ns	1,06 ns	0,05 ns	1,49 ns	0,58 ns

Nota: **, * e ns, significativos a 1%, 5% e não-significativos, respectivamente, pelo Teste F. [1]CV: coeficiente de variação, em %. [2]Médias seguidas pela mesma letra na linha (no mesmo corte) não diferem entre si pelo teste F a 5%.

Fonte: Elaborado pela Autora.

Figura 9. Equações de regressão de produção de massa seca (PMS) de capim marandu tratado com subdoses de glifosato e controle (D), com ausência (-Mn) e presença de Manganês (+Mn), em quatro cortes (C).





Fonte: Elaborado pela Autora.

Em doses mais altas (43,20, 64,80, 86,40 e 108,00 g e.a. ha^{-1}), embora as plantas não apresentassem produção aérea, a MSR caracteriza capacidade de rebrota das plantas, pois estes tratamentos receberam irrigação e adubação em conformidade aos demais tratamentos. Ainda, até o início da fase experimental, aos 52 DAS, o volume do vaso (7 dm^3) e a altura de corte da forrageira a 20 cm promoveram o desenvolvimento do sistema radicular, conferindo reservas de carboidratos e potencializando a rebrota das plantas (CAMPOS; RONCHI, 2015).

Tabela 9. Análise de variância, médias e regressão para massa seca de raízes (MSR, g vaso^{-1}) de capim marandu tratado com subdoses de glifosato (D), com ausência (-Mn) e presença de Manganês (+Mn).

Manganês (Mn)	Dose (D)	Mn × D	CV(1) (%)	Média (g vaso^{-1})
123,864 **	30,612 **	12,324 **	14,31	5,43

Manganês	Doses de glifosato (g e.a. ha^{-1})							
	0,00	5,40	10,80	21,60	43,20	64,80	86,40	108,00
	PMR, g vaso^{-1}							
-Mn	6,65 a(2)	6,64 a	6,46 a	5,67 a	4,31 b	3,42 b	0,98 b	0,65 b
+Mn	7,08 a	7,00 a	7,36 a	6,68 a	6,31 a	5,91 a	6,10 a	5,64 a

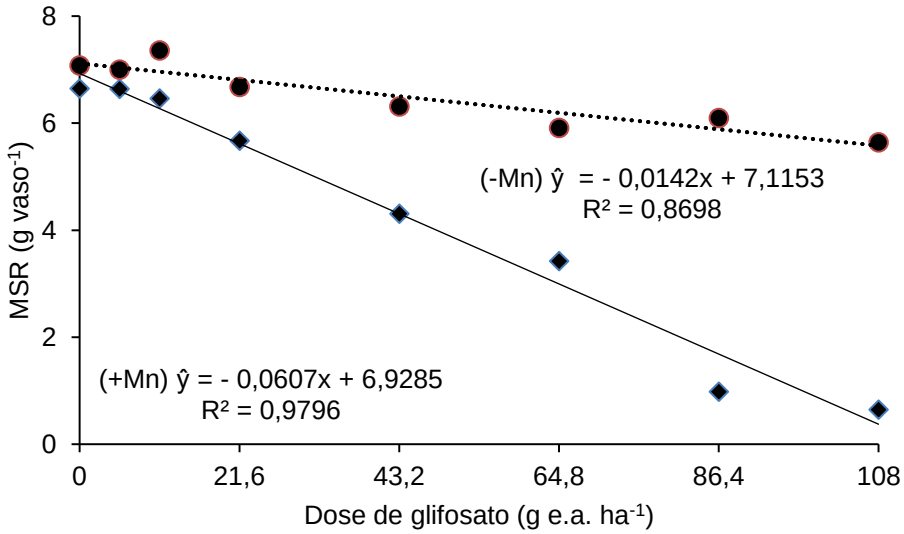
	Valor de F da Regressão		
	Linear	Quadrática	Desvio
-Mn	277,10 **	0,03 ns	0,96 ns
+Mn	15,34 **	0,45 ns	0,42 ns

Nota: **, * e ns, significativos a 1%, 5% e não-significativos, respectivamente, pelo Teste F. (1)CV: coeficiente de variação. (2)Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5%.
Fonte: Elaborado pela Autora.

O glifosato é rapidamente translocado das folhas para os tecidos meristemáticos e de reserva/armazenagem (BRITO *et al*., 2017). Deste modo, doses inferiores a 90 g e.a. ha^{-1} não foram suficientes aos sintomas de amarelecimento, necrose foliar e, consequentemente, morte da planta no corte 1. Moraes *et al*. (2019), constataram morte total das plantas aos 21 dias após aplicação, para doses superiores a 360 g e.a. ha^{-1}.

A adição de manganês à calda de pulverização assegurou MSR superior aos tratamentos sem adição de manganês, corroborando com a PMS registrada na Tabela 8, inclusive para as doses 43,20, 64,80, 86,40 e 108,00 g e.a. ha^{-1}. Os resultados para MSR neste tratamento ajustou-se ao modelo linear inversamente proporcional às doses aplicadas (Figura 10).

Figura 10. Equações de regressão de massa seca de raízes (MSR) de capim marandu tratado com subdoses de glifosato e controle (D), com ausência (-Mn) e presença de Manganês (+Mn).



Fonte: Elaborado pela Autora.

A presença de manganês à calda de pulverização influenciou a eficácia do herbicida. A adição de manganês à calda de pulverização atenuou o efeito deletério do glifosato, caracterizando redução do potencial do produto ao longo do período experimental (4 cortes avaliativos). O nutriente aplicado como fertilizante foliar em mistura com glifosato pode complexar em sais insolúveis, reduzindo a absorção e translocação do herbicida da folha até as raízes (BAILEY *et al*., 2002; BERNARDS *et al*., 2005; MARTINEZ; LOENING*;* GRAHAM, 2018) ou permanecendo inativo mesmo após entrar no sistema vascular da planta, pois liga-se facilmente a cátions bivalentes por meio dos grupos carboxila e fosfato (GOMES *et al*., 2014). Assim, para as doses de glifosato estudadas, o nível de inclusão do nutriente, na concentração de 1000 g ha^{-1}, interagiu reduzindo a eficácia do herbicida.

4.4 CONCLUSÕES

A presença de manganês à calda da pulverização foliar, na concentração de 1000 g ha^{-1}, assegurou produção de matéria seca de capim marandu, caracterizando redução do efeito herbicida do glifosato.

Em doses exclusivas do herbicida (sem manganês), houve extinção de produção de massa aérea após a primeira aplicação, especialmente para as doses do equivalente ácido de glifosato acima de 86,40 g ha^{-1}.

A adição de manganês à calda de pulverização assegurou massa seca de raízes sobre os tratamentos sem adição de manganês para doses do equivalente ácido de glifosato superiores a 21,60 g ha^{-1}.

REFERÊNCIAS

BAILEY, W. A. *et al*. 2002. Glyphosate Interactions with Manganese. **Weed Technology**, Champaign, v. 16, n. 4, p. 792-99, 2002.

BERNARDS, M. L. *et al*. Glyphosate interaction with manganese in tank mixtures and its effect on glyphosate absorption and translocation. **Weed Science**, Champaign, v. 53, n. 7, p. 787-794, 2005. DOI: http://dx.doi.org/10.1614/WS-05-043R.1.

BERTONCELLI, D. J. *et al*. Efeito do Glifosato no cultivo in vitro de *Cattleya nobilior* Rchb. F. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 65, n. 2, p. 165-173, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201865020008.

BRIGHENTI, A. M. *et al*. Suscetibilidade diferencial de espécies de braquiária ao herbicida glifosato. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Giânia, v. 46, n. 10, p. 1241-1246, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000018.

BRITO, I. P. F. S. *et al*. Hormetic effects of glyphosate on plants. **Pesticide Management Science**, Sussex, v. 74, p. 1064-1070, 2017. DOI: https://doi.org/10.1002/ps.4523.

CAMPOS, A. A. V.; RONCHI, C. P. Interação entre tamanhos de vaso e doses de glifosato no controle de braquiária. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 33, n 4, p. 727-738, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000400011.

CANTARUTTI, R. B. *et al*. Pastagens. *In*: RIBEIRO, A. C. *;* GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: Os autores, 1999. p. 332-341. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. Disponível em: https://www.academia.edu/35345434/RECOMENDA%C3%87%C3%95ES_PARA_O_USO_DE_CORRETIVOS_E_FERTILIZANTES_EM_MINAS_GERAIS_5_a_APROXIMA%C3%87%C3%83º. Acesso em: 14 jul. 2020.

CARVALHO, L. B.; ALVES, P. L. C. A., DUKE, S. O. Hormesis with glyphosate depends on coffee growth stage. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 2, p. 813-822, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S0001-37652013005000027
DIAS-FILHO, M. B. **Formação e manejo de pastagens**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. 9 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 235).

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

GITTI, D. C. *et al*. Glyphosate como regulador de crescimento em arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 500-507, 2011. DOI: 10.5216/pat.v41i4.10160.

GOMES, M. P. *et al.* Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, n. 17, p. 4691-4703, 2014. DOI: 10.1093/jxb/eru269.

HAGNER, M. *et al.* Effects of a glyphosate-based herbicide on soil animal trophic groups and associated ecosystem functioning in a northern agricultural field. **Scientific Reports**, Tokyo, v. 9, n. 8540, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-44988-5.

LEITE, G. H. P. *et al*. Maturadores e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar variedade RB855453 em início de safra. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 781-787, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000300027.

MARQUES, T. A. *et al*. Glifosato como maturador durante a safra canavieira. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 4, n. 3, p. 83-94, 2011. DOI: 10.5777/PAeT.V4.N3.05.

MARTINEZ, D. A.; LOENING, U. E.; GRAHAM M. C. Impacts of glyphosate-based herbicides on disease resistance and health of crops: a review. **Environmental Sciences Europe**, Heidelberg, v. 30, n. 2, 2018. DOI: https://doi.org/10.1186/s12302-018-0131-7.

MESCHEDE, D. K. *et al*. Determinação do teor de lignina e celulose em amostras de *Brachiaria decumbens* submetidas à subdose de glyphosate, In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE, 1, 2007, Botucatu. **Anais** [...]. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 2007. p. 82-84.

MESCHEDE, D. K. *et al*. Efeitos do glyphosate nos teores de lignina, celulose e fibra em *Brachiaria decumbens*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 10, n. 1, p. 57-63, 2011. DOI: http://dx.*doi*.org/10.7824/rbh.v10i1.77.

MORAES, C. P. *et al*. Determinação da dose de controle de *Brachiaria decumbens* pela aplicação de glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 18, n. 1, p. e618 (1-6), 2019. DOI: https://doi.org/10.7824/rbh.v18i1.618.

NASCENTES, R. F. *et al*. Hormesis de Glyphosate em *Brachiaria brizanta* cv. Marandu. **Cerrado Agrociências**, Patos de Minas, v. 6, p. 55-64, 2015.

SILVA, F. M. *et al.* Low doses of glyphosate change the responses of soyabean to subsequent glyphosate treatments. **Weed Research**, Oxford, v. 56, n. 2, p. 124-136, 2015. DOI: https://doi.org/10.1111/wre.12189.

SILVA, J. C*. et al.* The impact of water regimes on hormesis by glyphosate on common bean. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 10, n. 2, p. 237-243, 2016.

SILVA, M. A. *et al*. Efeito hormótico de gliphosate no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 973-978, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052009000400017.

SILVEIRA, R. R. *et al*. Controle e susceptibilidade de capim-braquiária e capim-ruziziensis ao glyphosate e fluazifop-p-butil. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 68, n. 263, p. 403-410, 2019. DOI: https://doi.org/10.21071/az.v68i263.4199.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 888 p.

TEIXEIRA, D. E.; PAULA, R. L. G.; NAPOLITANO, H. B. (2019). Legislação e Normatização para o Glifosato no Brasil. **Revista Processos Químicos**, Anápolis, v. 13, n. 25, p. 105-116, 2019. DOI: https://doi.org/10.19142/rpq.v13i25.487.

ZOBIOLE, L. H. S. *et al*. Glyphosate affects lignin content and amino acid production in glyphosate-resistant soybean. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 32, p. 831-837, 2010. DOI: 10.1007/s11738-010-0467-0.

5 PRODUÇÃO E QUALIDADE DE CAPIM MARANDU POR DERIVA DE GLIFOSATO COM ADIÇÃO DE MANGANÊS FOLIAR À CALDA DE APLICAÇÃO[2]

RESUMO: Foram avaliadas características produtivas e bromatológicas em *Bachiaria brizantha* cv. Marandu, simulando deriva do herbicida glifosato com adição de fertilizante para aplicação foliar, constituído de sulfato de manganês (8%). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso e quatro repetições, totalizando 100 observações. Avaliou-se o efeito de quatro doses subletais do equivalente ácido (e.a.) de glifosato (5,40, 21,60, 64,80 e 108,00 g e.a. ha^{-1}) e testemunha, com fertilizante foliar mangânico (1.000 g ha^{-1}) à calda de pulverização, em quatro aplicações sucessivas, com frequência de 21 dias, em esquema fatorial 5 x 4. As avalições constituíram da colheita da forragem a 20 cm da superfície do solo, para avaliar o acúmulo de forragem, a relação folha:colmo (RFC) e análises bromatológicas: proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (LIG), nas parcelas experimentais com 7,5 m^2 de área útil. Subdoses de glifosato com inclusão de sulfato de manganês à calda de pulverização e avaliações não resultaram no aumento da produção de forragem. Houve aumento da RFC e redução do teor de LIG por efeito das subdoses de glifosato e das avaliações. FDN e FDA evidenciaram efeitos das avaliações, caracterizando índices qualitativos satisfatórios para alimentação animal. PB não foi influenciada por aplicações de glifosato e fertilizante foliar mangânico à calda de pulverização ou das avaliações.

Palavras-chave: Equivalente ácido. Doses subletais. Hormese. *Brachiaria brizantha.*

[2] Artigo aceito para publicação no periódico “Acta Scientiarum Animal Sciences”, em 15/06/2020.

5.1 INTRODUÇÃO

O glifosato é um herbicida sistêmico, dissecante e de amplo espectro, e desde 1974 é uma revolução para sistemas de produção agropecuária (GALLI; MONTEZUMA, 2005). Com a queda da patente tornou-se o produto fitossanitário mais utilizado no Brasil (VASCONCELOS, 2018), especialmente para a técnica de sistema de plantio direto, considerado um avanço do ponto de vista edáfico e ambiental.

O glifosato não apresenta efeito em cultivos geneticamente modificados, portanto tolerante ao composto químico. No entanto, ocorre constatação de que a deriva do produto pode acarretar efeitos benéficos em plantas não alvo: *Brachiaria decumbens* (Meschede *et al*., 2011); *Oryza sativa*, cultivar Primavera (Gitti *et al*., 2011); e, *Phaseolus vulgaris*, cultivar IPR-139 (SILVA *et al*., 2016). Alterações em características morfofisiológicas e bioquímicas em função de doses subletais por aplicação de produto químico, como o glifosato, caracterizam efeito hormese (NASCENTES *et al*., 2017).

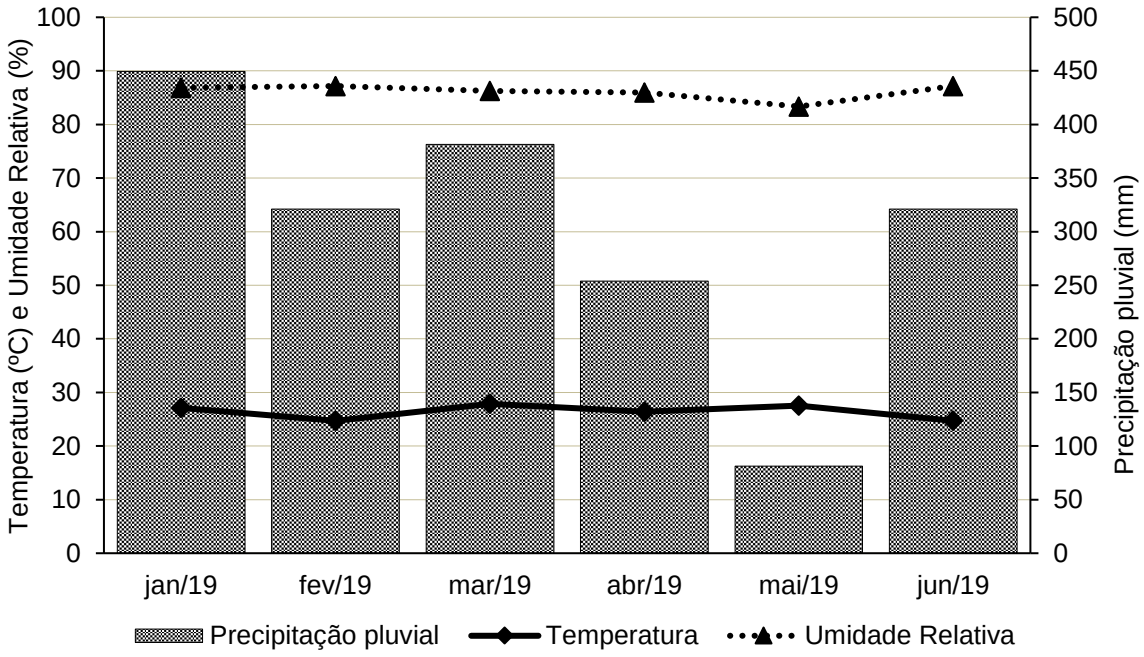
Efeito fisiológico em plantas tratadas com glifosato, especialmente por aplicações de doses subletais, pode resultar na degradação da clorofila, causando amarelecimento temporário em folhas recém-emergidas (MESCHEDE *et al*., 2007). Ainda, os sintomas são semelhantes à deficiência de manganês (Mn), indicando que o glifosato pode interferir nas relações do elemento na planta. O Mn é vital no sistema fisiológico/metabólico vegetal, imprescindível aos processos fotossíntéticos, a oxidação da água, assimilação de nitrogênio e percursor de enzimas, aminoácidos aromáticos, hormônios, fenóis e lignina (CAMPBEL; NABLE, 1988).

Estudos realizados para constatar o efeito hormese do glifosato em plantas consideram períodos curtos, restringindo-se a avaliação exclusiva e ao tempo de exposição ao produto e, portanto, não resultaram em evidências consistentes de que a hormese possa levar a um efeito significativo com rendimento produtivo duradouro e efetivo (BRITO *et al*., 2018). Deste modo, e com base na hipótese de que a suplementação foliar de manganês possa resultar em alterações na absorção e no metabolismo em plantas por deriva de glifosato, o trabalho teve por objetivo avaliar a resposta produtiva e valor nutritivo de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (capim marandu) sob administração de doses subletais de glifosato, com presença de manganês à calda de pulverização, com frequência de aplicação de 21 dias, em quatro avaliações sequenciais.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), Câmpus Ariquemes, no período de janeiro a junho de 2019. Os dados climatológicos durante o período de condução do experimento foram obtidos de estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a 400 m da área experimental (Figura 11). O planejamento seguiu delineamento em bloco inteiramente casualizado (DBC), em esquema fatorial, com parcelas subdivididas no tempo e quatro repetições. Os fatores principais foram organizados em cinco níveis (D): controle e quatro doses subletais de glifosato. As subparcelas constituíram avaliações (A) para coleta de dados, em quatro ocasiões sucessivas, com 21 dias de intervalo de desfolhação.

Figura 11. Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluvial do período experimental.



Fonte: Elaborado pela Autora.

Na área de instalação do experimento houve cultivo de mandioca por dois anos consecutivos (2017 e 2018) e a análise de solo revelaram: pH em H_2O = 6,71; P (Mehlich^{-1}) = 2,70 mg dm^{-3} e K = 90 mg dm^{-3}; Ca2+ (KCl mol L^{-1}) = 2,74 cmol$_c$ dm^{-3}; Mg2+= 1,62 cmolc dm^{-3}; Al^{3+} e $H+Al^{3+}$= 0 e 1,17 cmol$_c$ dm^{-3}; e, saturação de bases (V%) de 79,7%. A textura do solo é argilosa (720 g kg^{-1} de argila). Não houve necessidade de calagem e o preparo mecânico do solo foi convencional, com aração

(arado de disco) e gradagem (grade niveladora) para mobilização, destorroamento e nivelamento do solo.

As sementes de capim marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) obtidas de amostra de lote comercial, safra 2017/2018 e valor cultural (VC) de 80%, foram semeadas em 11/01/2019, a 2,5 cm de profundidade, com espaçamento entre linhas de 50 cm. Na ocasião da semeadura dosou-se 270 kg ha^{-1} do fertilizante formulado 04-30-16 (CANTARUTTI *et al*., 1999). As parcelas experimentais consistiram de sete linhas de 4 metros de comprimento, tendo por área útil 7,5 m^2.

Aos 52 dias após a semeadura (DAS) foi realizado o primeiro corte para estimular o perfilhamento e, aos 71 DAS foi realizado o corte de uniformização do capim na altura de 20 cm do nível da superfície do solo (DIAS-FILHO, 2012). Na ocasião do corte de uniformização, aos 71 DAS, e nos três primeiros cortes avaliativos, parcelou-se a adubação nitrogenada (ureia), totalizando 50 kg ha^{-1} de N (CANTARUTTI *et al*., 1999).

Ao sétimo dia subsequente do corte de uniformização e dos três primeiros cortes avaliativos, administraram-se doses subletais de glifosato, nas frações 5,40, 21,60, 64,80 e 108,00 g e.a. ha^{-1} de glifosato e controle. O herbicida utilizado constituiu do equivalente ácido (e.a) comercial Shadow (356 g L^{-1}), registrado com período de reentrada/carência após 2 dias. À calda do glifosato e do tratamento controle foram dosados 1.000 g ha^{-1} de fertilizante foliar constituído de sulfato de manganês, com 56% de agente quelante. A composição mineral do fertilizante foliar constitui: 8% de manganês, 6,5% de enxofre, 3% de zinco, 1% de cobre e de zinco, 0,5% de boro e 0,1% de molibdênio.

As aplicações foram realizadas com pulverizador costal de compressão prévia CO_2, pressão de 2 bar e munindo de barra com uma ponta de pulverização DG11002 VS, proporcionando volume de calda de 100 L ha^{-1}. No momento da aplicação, as parcelas adjacentes foram protegidas com lona plástica para evitar deriva.

Os efeitos de fitoxicidade nas plantas de capim marandu foram avaliados visualmente aos 7 e 14 dias após a aplicação, com uso de escala de notas de 0 (zero) a 100 (cem), em que 0 corresponde a nenhuma injúria nas plantas e, 100, à morte de todas as plantas (SBCPD, 1995).

Adotando-se frequência de desfolhação de 21 dias, os cortes foram realizados no 15º dia após aplicação dos tratamentos, totalizando quatro cortes avaliativos: corte 1 (aos 92 DAS), corte 2 (aos 113 DAS), corte 3 (aos 134 DAS) e corte 4 (aos 155 DAS). A massa fresca aérea da forragem foi colhida a 20 cm da superfície do solo e

separada em duas subamostras: (1) destacando-se as folhas do colmo+bainha, para determinar a relação folha/colmo (RFC) e produtividade (PMS); e, (2) perfilho e folhas, para análises laboratoriais.

As amostras foram submetidas a pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 55 ºC por 72 horas, método INCT-CA G-001/1 (DETMANN *et al*., 2012). Em seguida, subamostras da forragem foram processadas em moinho de facas tipo Willey, malha de 1 mm, para obter massa seca (MS), em estufa a 105ºC (INCT-CA G-003/1); proteína bruta (PB), pelo método de Kjeldahl (INCT-CA N-001/1); fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), por Filter Bag Tchenique da Ankom® (INCT-CA F-002/1 e INCT-CA F-004/1, respectivamente); e, lignina (LIG), por oxidação em permanganato de potássio (INCT-CA F-006/1) (DETMANN *et al*., 2012).

Com auxílio do software SISVAR (FERREIRA, 2019) a hipótese da normalidade dos erros foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, comprovada e os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade. Quando encontrado efeito significativo ($P<0,05$), o efeito das subdoses de glifosato (D) foram avaliados por análise de regressão, 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 basearam-se nos coeficientes de correlação (R^2) superiores, dentre as significativas pelo teste F a 5%. Os efeitos de corte (C) foram comparados pelo teste de Tukey a 5%.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito das subdoses do herbicida glifosato (D) e corte (C) para: produção de forragem (PMS), relação folha:colmo (RFC) e lignina (LIG) (Tabela 10). As interações foram significativas, caracterizando interdependência entre os fatores. Já fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) caracterizaram efeito para cortes (D). O teor de proteína bruta (PB) não foi afetado pelos tratamentos.

Subdoses de glifosato não resultaram em efeitos promotores à PMS (Figura 12A). O modelo matemático caracterizou resposta inversamente proporcional ao aumento das doses de glifosato à calda de pulverização. Bernards *et al*. (2005) indicaram que a presença de manganês em solução de pulverização a base de glifosato, não causam qualquer mudança na eficácia do herbicida, como constatado neste trabalho. Entretanto, os efeitos deletérios do glifosato não resultaram em clorose ou algum nível de fitotoxicidade no período experimental.

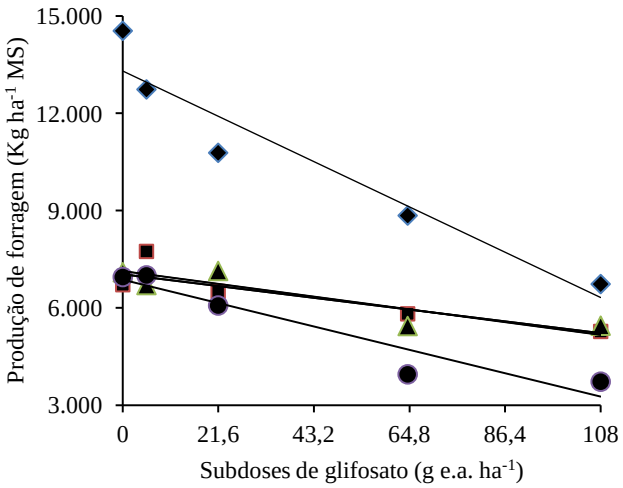
Tabela 10. Análise de variância para produção de forragem (PMS), relação folha:colmo (RFC), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (LIG) de capim marandu em função de subdoses de glifosato e testemunha (D) e avaliações (A)

Variáveis	Dose (D)	Corte (C)	D x C	CV(1)	Média
	---------- valor de F ----------			-- (%) --	----------
PMS (kg ha^{-1} MS)	10,470**	29,806**	4,411**	15,20	7.261,02
RFC	10,902**	60,160**	3,541**	13,76	2,61
LIG (% MS)	9,371**	131,160**	6,896**	11,44	1,99
FDN (% MS)	0,096ns	6,339*	1,359ns	4,10	62,95
FDA (% MS)	0,255ns	2,103*	0,9436ns	6,74	32,40
PB (% MS)	2,11ns	0,643ns	1,282ns	8,04	16,79

Nota: (1) Coeficiente de variação.
**, * e ns, significativo a 1%, 5% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
Fonte: Elaborado pela Autora

Figura 12. Produção de forragem (A), relação folha:colmo (B) e lignina (C) de capim marandu submetido a subdoses de glifosato e testemunha, em quatro cortes.

(A)



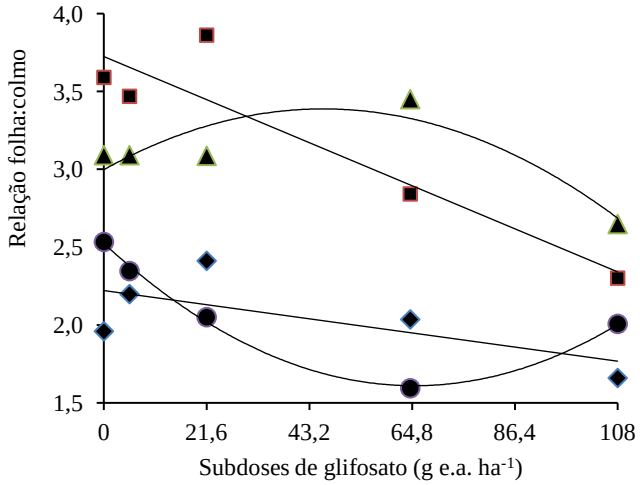
(◆) Corte 1
ŷ = – 64,6614x + 13.305,1492
R^2 = 0,9185

(■) Corte 2
ŷ = – 18,2128x + 7.136,3262
R^2 = 0,7816

(▲) Corte 3
ŷ = – 16,8029x + 7.037,8481
R^2 = 0,7975

(●) Corte 4
ŷ = – 33,3627x + 6.870,3968
R^2 = 0,9103

(B)



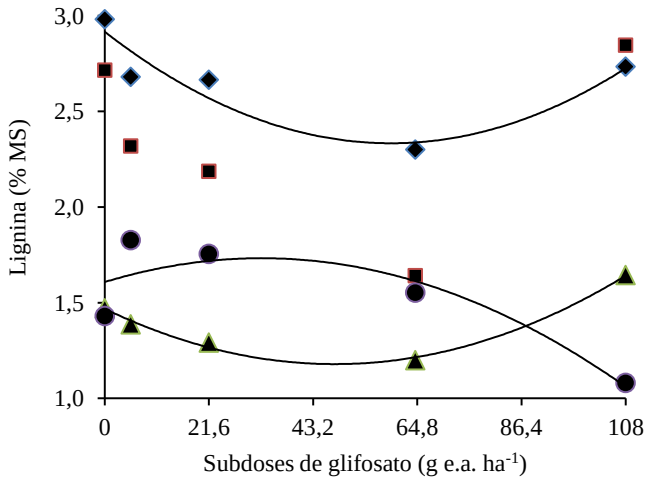
(◆) Corte 1
ŷ = – 0,0042x + 2,2215
R^2 = 0,4689

(■) Corte 2
ŷ = – 0,0128x + 3,7246
R^2 = 0,8570

(▲) Corte 3
ŷ = – 0,0002x^2 + 0,0169x + 2,9983
R^2 = 0,8076

(●) Corte 4
ŷ = + 0,0002x^2 – 0,0280x + 2,5246
R^2 = 0,9952

(C)



(◆) Corte 1
ŷ = + 0,0298x^2 – 0,2502x + 2,9728
R^2 = 0,7216

(■) Corte 2
ŷ = Não houve modelo de ajuste

(▲) Corte 3
ŷ = + 0,0274x^2 – 0,1774x + 1,5072
R^2 = 0,8306

(●) Corte 4
ŷ = – 0,0397x^2 + 0,2127x + 1,5157
R^2 = 0,9150

Fonte: Elaborado pela Autora.

Analisando as doses em função das avaliações, a PMS obtida no corte 1 diferiu significativamente das avalições posteriores, especialmente do corte 4 (Tabela 11). Para as subdoses de glifosato e testemunha, os cortes 2, 3 e 4 tiveram redução média na PMS equivalente a 58,71%. Ao avaliar o efeito de quatro doses do herbicida glifosato (90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a. ha^{-1}) na dessecação da forrageira *Brachiaria ruziziensis*, Costa *et al*. (2013) registraram decréscimo linear da produção da massa de matéria seca com o aumento da dose do herbicida e, não houve aumento produtivo por efeito hormese, como constatado neste trabalho.

Tabela 11. Produção de matéria seca (PMS), relação folha:colmo (RFC) e teor de lignina (LIG) de capim marandu submetido a doses subletais de glifosato e testemunha, em quatro cortes.

Cortes	Subdoses de glifosato (g e.a. ha^{-1})				
	0,00	5,40	21,60	64,40	108,00
	---------- (PMS, kg ha^{-1}) ----------				
1	14.536,92 a[(1)]	12.736,66 a	10.778,19 a	8.845,72 a	6.734,79 a
2	6.719,29 b	7.739,39 b	6.506,26 b	5.814,89 b	5.270,18 ab
3	7.103,03 b	6.705,89 b	7.140,94 b	5.438,42 b	5.450,47 ab
4	6.947,12 b	6.999,17 b	6.077,38 b	3.948,27 b	3.727,53 b
	---------- (RFC) ----------				
1	1,96 c	2,20 b	2,41 c	2,04 b	1,66 b
2	3,59 a	3,47 a	3,86 a	2,84 a	2,30 ab
3	3,09 ab	3,09 a	3,09 b	3,45 a	2,65 a
4	2,54 bc	2,35 b	2,05 c	1,60 b	2,01 ab
	---------- (LIG, % MS) ----------				
1	2,98 a	2,68 a	2,67 a	2,30 a	2,74 a
2	2,72 a	2,32 a	2,19 b	1,64 b	2,85 a
3	1,47 b	1,39 b	1,29 c	1,20 b	1,65 b
4	1,43 b	1,83 b	1,76 b	1,55 b	1,08 c

Nota: [(1)] Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si (p>0,05) pelo teste de Tukey
Fonte: Elaborado pela Autora.

A relação folha:colmo (RFC) foi afetada pelas subdoses de glifosato, reduzindo para aplicações de doses mais concentradas (Figura 12B). Os cortes 1 e 2 tiveram comportamento inversamente proporcional as subdoses de glifosato. Já para os cortes 3 e 4, houve comportamento adequando-se ao modelo de regressão polinomial de segunda ordem. No corte 3, a produção é máxima à subdose 42,25 g e.a ha^{-1}; enquanto que no corte 4, a produção é mínima à subdose 70,00 g e.a ha^{-1}, caracterizando RFC equivalente a 1,54.

Ainda sobre RFC, os cortes intermediários (Corte 2 e 3) destacaram-se dos demais. Entretanto, não houve evidência de relação crítica (1,0) e os valores registrados são superiores ao encontrado por Lima *et al*. (2019), em que o modelo matemático indicou 1,11 para as doses 54, 108 g e.a. ha^{-1} de glifosato e testemunha.

A RFC é parâmetro importante para ganho de peso animal (EUCLIDES *et al*., 2009), por haver aporte maior de lâmina foliar no momento do pastejo (BAUER *et al*., 2011), pois representa mais de 80% da dieta alimentar de bovinos, criados exclusivamente a pasto (FORBES; HODGSON, 1985)

As respostas de LIG nas avaliações sequenciais ajustaram-se ao modelo polinomial de segunda ordem (Figura 12C). Sob baixíssimas doses de herbicida (4,20 e 3,24 g e.a. ha^{-1} de glifosato) os modelos preveem teores máximos de LIG, 2,45 e 1,22 %MS, respectivamente, nos cortes 1 e 2. No corte 4, a subdose 2,68 g e.a. ha^{-1} de glifosato, resultaram em 1,80 %MS. Para o corte 2, a análise de variância da regressão indicou desvio significativo, e os modelos estudados não foram adequados.

De maneira geral, o teor máximo de LIG registrado não ultrapassou o nível 3,00% MS. Meschede *et al*. (2011) analisando os teores de LIG em pastagem *B. decumbens* e submetidas a subdoses de glifosato, observaram diminuição equivalente a 55,83%, em relação a testemunha, aos 30 dias após a aplicação, com a dose 36 g e.a. ha^{-1} de glifosato. Os autores também reportaram valores de LIG superiores, e verificaram que a aplicação de glifosato altera significativamente os níveis do nutriente aos 30 e 60 dias após aplicação do produto, respectivamente, com média de 13,61 e 14,67 %MS, para as subdoses: 36, 72 e 180 g e.a. ha^{-1} de glifosato.

Os teores de LIG, nas doses subletais de glifosato testadas, contribuíram para redução dos teores do nutriente com a evolução das avaliações (Tabela 11). As doses intermediárias de glifosato (21,60 e 64,40 g e.a. ha^{-1}) indicaram diferenças significativas no corte 1. Enquanto as subdoses 5,40 e 108,00 g e.a. ha^{-1} de glifosato, caracterizam redução significativa de LIG para os cortes 3 e 4, respectivamente. Assim, diferentemente dos dados apresentados por Meschede *et al*. (2011), cortes sequenciais contribuíram para redução nos teores de LIG. Ainda, os valores obtidos para RFC (Tabela 11) no decorrer das avaliações, contribuíram para redução nos teores de LIG.

A LIG impede o acesso enzimático dos microrganismos ruminais as frações celulose e hemicelulósica de capim marandu, e demais nutrientes potencialmente digestíveis: carboidratos solúveis, proteínas, minerais e vitaminas (VELÁSQUEZ *et al*., 2010). Plantas forrageiras jovens apresentam maior taxa de alongamento de folhas, menor taxa de alongamento de colmos e maior comprimento das folhas; resultando em composição química mais favorável, ou seja, menores proporções da fração fibrosa (VELÁSQUEZ *et al*., 2010). A frequência de desfolhação utilizada (21 dias) foi importante no controle do desenvolvimento de colmos e da estrutura do

dossel forrageiro. Para capim marandu, Neves Neto *et al*. (2015) registraram duração média de vida da folha equivalente a 48,61 dias. Portanto, períodos de desfolha mais longos que a duração de vida da folha implica perdas por senescência (CASAGRANDE *et al*., 2010). Deste modo, folhas senescentes ou mortas foram imensuráveis, pois o intervalo de desfolhação (21 dias) e intensidade de desfolha (20 cm) assegurou material vegetal sem critérios para esta classificação.

Avaliações subsequentes caracterizaram redução nos teores de FDN e FDA (Tabela 12), corroborando com os resultados observados para LIG (Tabela 11). No entanto, os teores de FDN obtidos não são limitantes ao consumo da forragem (NUSSIO *et al*, 1998). O limite de 65% de FDN na MS em forrageiras tropicais, com frequência de desfolha de 30 dias, caracteriza bom valor nutritivo da forrageira (ALENCAR *et al*., 2010).

Tabela 12. Fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) de capim marandu em quatro avaliações.

Corte	FDN	FDA
	---------- (% MS) ----------	
1	64,54 a[(1)]	33,60 a
2	63,10 ab	32,03 ab
3	62,08 b	33,84 a
4	62,08 b	30,14 b

Nota: ([1]) Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si (p>0,05) pelo teste de Tukey
Fonte: Elabora pela Autora

Os teores de FDA obtidos (Tabela 12) indicam baixos teores de componentes lignificados, favorecendo a digestibilidade e o aproveitamento da forragem ingerida (OLIVEIRA *et al*., 2010). FDA em forragens com valores em torno de 30% é considerado ideal ao consumo animal (NUSSIO *et al*., 1998). Meschede *et al*. (2011) testaram o efeito de glifosato em variáveis bromatológicas de *B. decumbens*, sendo a dose inicial de glifosato, 32 g e.a. ha^{-1} e tratamento controle (sem aplicação), obtendo FDA equivalente a 40,50 e 42,50%, respectivamente, não registrando efeito hormese para a variável.

O conteúdo protéico tem influência na digestibilidade e no consumo voluntário das forragens (BENETT *et al*., 2008). O teor de PB no capim marandu não foi influenciado por subdoses de glifosato com presença de manganês à calda de

pulverização e/ou avaliações (Tabela 10). Entretanto, o parcelamento da adubação e o período de desfolha de 21 dias contribuíram para obtenção de teor médio de PB elevado (16,79 %MS). A velocidade de absorção do nitrogênio pelas gramíneas é mais rápida que a resposta em crescimento (CARAMBULA, 1977). Assim, tempo de desfolhação mais baixos para pastagem, ocorrem melhores teores em PB da forragem (COSTA *et al*., 2004). Por isso, tecidos novos caracterizam elevados teores de PB, baixos índices em FDN, FDA e LIG. Ainda, a relação folha:colmo obtida favorecem a digestibilidade e o consumo, potencializando a preensão de forragem, consequentemente, o desempenho animal.

5.4 CONCLUSÕES

Subdoses de glifosato com inclusão de manganês à calda de pulverização, e avaliações, não resultaram em efeitos promotores a produção de forragem de capim marandu; mas elevaram a relação folha:colmo.

Cortes subsequentes melhoraram a qualidade da forragem, reduzindo os teores de fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e de lignina.

Não houve efeito de fitotoxicidade ou amarelecimento das folhas de capim marandu tratados com subdoses de glifosato com manganês foliar a adicionando à calda de pulverização.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, C. A. B. *et al*. Valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais irrigadas em diferentes épocas do ano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 20-27, 2010. DOI: 10.5216/pat.v40i1.3994.

BAUER, M. O. *et al*. Produção e características estruturais de cinco forrageiras do gênero Brachiaria sob intensidades de cortes intermitentes. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 12, n. 1, p. 17-25, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.5216/cab.v12i1.4817.

BENETT, C. G. S. *et al*. Produtividade e composição bromatológica do capim-marandu a fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1629-1636, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500041.

BERNARDS, M. L. *et al*. Glyphosate interaction with manganese in tank mixtures and its effect on glyphosate absorption and translocation. **Weed Science**, Champaign, v. 53, n. 7, p. 787-794, 2005. DOI: http://dx.doi.org/10.1614/WS-05-043R.1.

BRITO, I. P. F. S. *et al*. Hormetic effects of glyphosate on plants. **Pesticide Management Science**, Sussex, v. 74, p. 1064-1070, 2017. DOI: https://doi.org/10.1002/ps.4523.

CAMPBELL, L. C.; NABLE, R. O. Physiological functions of manganese in plants. In: GRAHHAM, R. D. ; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (ed.). **Manganese in soils and plants**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988. p.139-154.

CANTARUTTI, R. B. *et al*. Pastagens. *In*: RIBEIRO, A. C. *;* GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: Os autores, 1999. p. 332-341. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. Disponível em: https://www.academia.edu/35345434/RECOMENDA%C3%87%C3%95ES_PARA_O_USO_DE_CORRETIVOS_E_FERTILIZANTES_EM_MINAS_GERAIS_5_a_APROXIMA%C3%87%C3%83º. Acesso em: 14 jul. 2020.

CARAMBULA, M. **Producción y manejo de pasturas sembradas**. Montevídeo: Editoral Hemisfério Sur, 1977.

CASAGRANDE, D. R. *et al*. Características morfogênicas e estruturais do capim-marandu manejado sob pastejo intermitente com diferentes ofertas de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 10, p. 2108-2115, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001000002.

COSTA, N. L. *et al*. **Resposta de Brachiaria brizantha cv. Marandu a regimes de cortes**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004. (Embrapa Rondônia. Comunicado técnico, 279).

COSTA, N. V. *et al*. Avaliação do glyphosate e paraquat no manejo da Brachiaria ruziziensis. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 12, n. 1, p. 31-38. 2013. DOI: https://doi.org/10.7824/rbh.v12i1.179.

DETMANN, E. *et al*. **Métodos para análise de alimentos** - INCT - Ciência Animal. Visconde do Rio Branco: Suprema. 2012.

DIAS-FILHO, M. B. **Formação e manejo de pastagens**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. 9 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 235).

EUCLIDES, V. P. B. *et al*. Valor nutritivo da forragem e produção animal em pastagens de Brachiaria brizantha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v, 44, n. 1, p. 98-106, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000100014.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FORBES, T. D. A.; HODGSON, J. Comparative studies of the influence of sward conditions on the ingestive behaviour of cows and sheep. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 40, p. 69-77, 1985. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1985.tb01721.x.

GALLI, A. J. B.; MONTEZUMA, M. C. **Alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura**. São Paulo: Monsanto do Brasil, 2005.

GITTI, D. C. *et al*. Glyphosate como regulador de crescimento em arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 500-507, 2011. DOI: 10.5216/pat.v41i4.10160.

LIMA, S. F. *et al*. Supressão de *Brachiaria* brizantha e U. ruziziensis por subdodoes do glicosato. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.32, n. 3, p. 581-589, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n302rc.

MESCHEDE, D. K. *et al*. Determinação do teor de lignina e celulose em amostras de Brachiaria decumbens submetidas à subdose de glyphosate, *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE, 1, 2007, Botucatu,SP. **Anais** [...] Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 2007. p. 82-84.

MESCHEDE, D. K. *et al*. Efeitos do glyphosate nos teores de lignina, celulose e fibra em Brachiaria decumbens. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 10, n. 1, p. 57-63, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v10i1.77.

NASCENTES, R. F. *et al*. Low doses of glyphosate enhance growth, CO_2 assimilation, stomatal conductance and transpiration in sugarcane and eucalyptus. **Pest Management Science**, Sussex, v. 74, n. 5, p. 1197-1205, 2017. DOI: 10.1002/ps.4606.

NEVES NETO, D. N. *et al*. Características morfogênicas e estruturais de *Brachiaria* spp. sob manejo convencional e consorciado com cereais. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 1, 204-215, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/S1806-66902015000100024.

NUSSIO, L. G. *et al*. Valor alimentício em plantas do gênero Cynodon. *In:* SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15, 1998, Piracicaba. Manejo de pastagens de tifton, coastcross e estrela: **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 203-242.

OLIVEIRA, D. A. *et al*. Valor nutritivo do capim-braquiária no primeiro ano de recuperação com aplicações de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 716-726, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000400004.

SILVA, J. C. *et al*. Influência de doses reduzidas e épocas de aplicação sobre o efeito hormético de glyphosate em feijoeiro. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 115, n. 2, p. 191-199, 2016.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS – SBCPD. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, 1995. 42 p.

VASCONCELOS, Y. Pesticides in the balance. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, Ed. 271. 2018. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/en/2019/02/25/pesticides-in-the-balance/.

VELÁSQUEZ, P. A. T. *et al*. Composição química, fracionamento de carboidratos e proteínas e digestibilidade in vitro de forrageiras tropicais em diferentes idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1206-1213, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000600007.

6 EFEITO DA DERIVA DE GLIFOSATO EM PASTAGEM DE CAPIM MARANDU

RESUMO: A deriva de glifosato em plantas não resistentes à molécula do herbicida pode resultar em estímulo a determinadas características biológicas, resultando no fenômeno hormese. Com base nisso, avaliaram-se características produtivas e bromatológicas de capim marandu, simulando deriva, com subdoses do herbicida glifosato. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições. Nas parcelas, avaliou-se o efeito de subdoses do equivalente ácido (e.a.) de glifosato (21,60, 43,20, 64,80, 86,40 e 108,00 g e.a. ha^{-1}) e controle; e, nas subparcelas, o efeito de quatro cortes. Em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu coletou-se a forragem a 20 cm de altura, com intervalo de desfolha de 21 dias para estimar a produtividade e obtenção de análises bromatológicas, em 24 parcelas experimentais, com 7,5 m^2 de área útil. Perturbações associadas e dependentes do manejo e subdoses de glifosato asseguraram relação folha/colmo e teor de proteína bruta, respectivamente, de até 3 e 17% MS. Para teores de fibra em detergente neutro, o limite obtido foi de 62% MS. Com a subdose do equivalente ácido de glifosato de 21,6 g ha^{-1} e, progressão dos cortes, houve redução linear na produção de foragem. Enquanto para o teor de fósforo foliar, houve reação antagônica, caracterizando comportamento polinomial quadrático, com incremento do nutriente até a subdose 72,50 g ha^{-1}. O intervalo/intensidade de desfolhação (cortes) apresentaram limites máximos para teores de fibra em detergente ácido e lignina, respectivamente, de 31 e 2% MS, garantindo qualidade da fibra alimentar.

Palavras-chave: Dose subletal. Herbicida. Hormese. *Brachiaria brizantha*.

6.1 INTRODUÇÃO

Com o surgimento de culturas transgênicas, o uso abrangente do herbicida glifosato para controle de plantas daninhas, despertou interesse por ação da deriva do produto em plantas não modificadas geneticamente, portanto, não resistentes à molécula. Doses baixíssimas do equivalente ácido (e.a.) do glifosato, em geral até 120 g e.a ha^{-1} podem resultar em estímulo a determinadas características biológicas em plantas não-transgênicas, e esse fenômeno é denominado hormese (KAPPES *et al.*, 2012; LIMA *et al*., 2019).

Estudos sugerem resultados promissores pelo uso de subdoses do herbicida em plantas não resistentes, como alternativa para incremento produtivo agrícola em arroz (GITTI *et al*., 2011), feijão (SILVA *et al*., 2012), crotalária (KAPPES *et al*., 2012) e cana-de-açúcar (CARBONARI *et al*., 2014). Originalmente, o glifosato é considerado um regulador de crescimento, e a hormese pode ser considerada uma resposta evolutiva das plantas às perturbações induzidas pelo manejo (DUKE *et al*, 2012). Isso significa que baixíssimas doses podem acumular ácido chiquímico e promoverem o crescimento da planta, a fotossíntese, a abertura estomática e a produção de sementes. Mas como esses efeitos ocorrem, ainda não é totalmente claro (BRITO *et al*., 2017).

O herbicida atua na 5-enol-piruvil shiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), enzima necessária no processo fotossintético das plantas. Portanto, a rota do ácido chíquimico é exclusivo e essencial às plantas. Como a estrutura do glifosato é semelhante à enzima fosfoenolpiruvato-carboxilase (PEP-carboxilase), ocorre competição no local de ligação no complexo EPSPs, e a interrupção do processo prejudica a biossíntese dos aminoácidos triptofano, tirosina e metionina (MARTINEZ; LOENING*;* GRAHAM, 2018). Estes são responsáveis pela regulação do crescimento e defesa da planta, na síntese de taninos, antocianinas, ácido indolacético (AIA), ácido salicílico, lignina, flavonas, isoflavonas, fenilpropanóides e cumarinas (TAIZ; ZEIGER, 2016), prejudicando, portanto, diversos processos metabólicos.

Uma vez que o glifosato interfere nos processos vitais por ação herbicida em plantas sensíveis, pressupõe-se efeito hormese por aplicações foliares de subdoses de glifosato, com consequências morfológicas e bioquímicas em forrageira tropical. A forrageira mais utilizada no Brasil é o capim marandu ou braquiarão (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), que se adaptou às condições edafoclimáticas da Amazônia

(TEIXEIRA *et al*., 2018). No país, a pastagem é a componente alimentar básica do rebanho bovino e bubalino, pelo menor custo para obtenção de produtos de alto valor biológico, como leite e carne. Portanto, objetivou-se avaliar a produtividade forrageira e características bromatológicas em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, em quatro aplicações foliares de subdoses de glifosato.

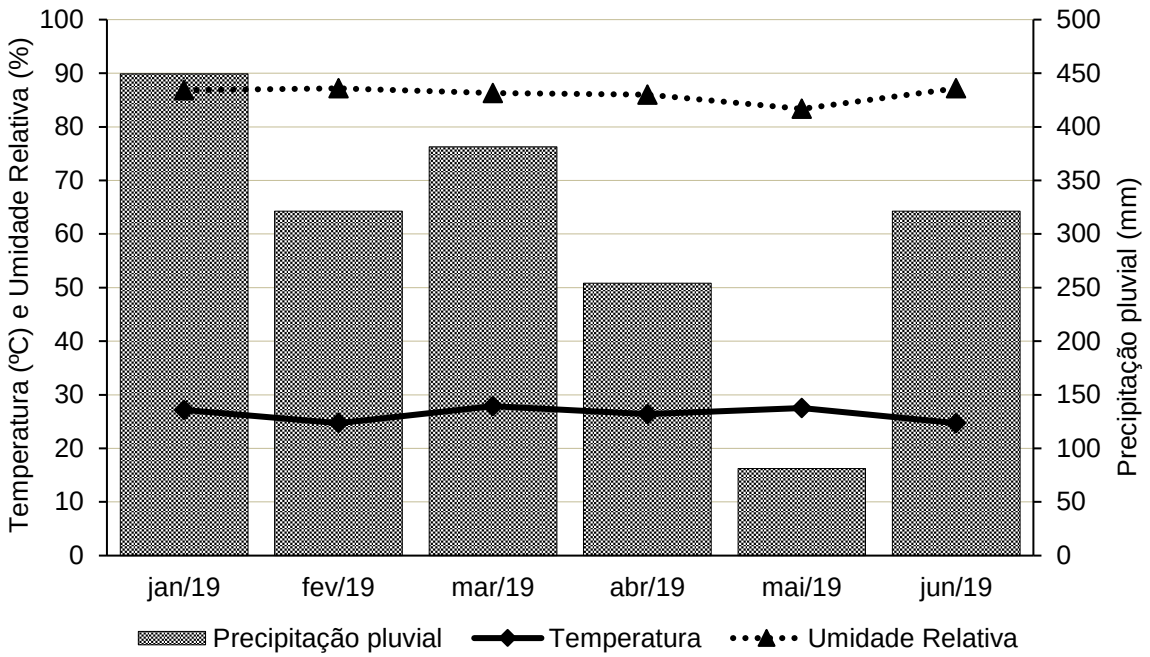
6.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), Câmpus Ariquemes, no período de janeiro a junho de 2019. Os dados climatológicos durante o período de condução do experimento foram obtidos de estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a 400 m da área experimental (Figura 13).

O experimento seguiu o delineamento em blocos inteiramente casualizados (DBC), quatro repetições, em 24 unidades experimentais. Os fatores principais foram organizados em seis níveis (D): controle; e, cinco subdoses de glifosato, de 21,60, 43,20, 64,80, 86,40 e 108,00 g ha^{-1} do equivalente ácido (e.a). As subparcelas constituíram quatro colheitas sucessivas (C), caracterizando parcelas subdivididas no tempo, com intervalo de desfolha de 21 dias. Avaliaram-se a produção de forragem (PF), a relação folha/colmo (RFC), os teores de: proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina (LIG) e fósforo foliar (FF).

Na área de instalação do experimento houve cultivo de mandioca por dois anos consecutivos (2017 e 2018) e a análise de solo revelou: pH em H_2O = 6,71; P (Mehlich) = 2,70 mg dm^{-3} e K = 90 mg dm^{-3}; Ca^{2+} (KCl mol L) = 2,74 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg^{2+}= 1,62 $cmol_c$ dm^{-3}; Al^{3+} e $H+Al^{3+}$= 0 e 1,17 $cmol_c$ dm^{-3}; e, saturação por bases (V%) de 79,7%. A textura do solo é argilosa (720 g kg^{-1} de argila). Não houve necessidade de calagem e o preparo mecânico do solo foi convencional, com aração (arado de disco) e gradagem (grade niveladora) para mobilização, destorroamento e nivelamento do solo.

Figura 13. Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluvial do período experimental.



Fonte: Elaborado pela Autora.

As sementes de capim marandu foram obtidas de amostra de lote comercial, safra 2017/2018 e valor cultural (VC) de 80%, e semeados em 11/01/2019, a 2,5 cm de profundidade, com espaçamento entre linhas de 50 cm, considerando densidade populacional de 15 a 20 plantas m^{-2} (DIAS-FILHO, 2012). Na ocasião da semeadura foram aplicados 270 kg ha^{-1} do fertilizante formulado 04-30-16 (CANTARUTTI *et al*. 1999). As parcelas experimentais consistiram de sete linhas de 4 metros de comprimento, tendo área útil de 7,5 m^2.

Aos 52 dias após a semeadura (DAS) foi realizado o primeiro corte para estimular o perfilhamento e, aos 71 DAS foi realizado o corte de uniformização do capim na altura de 20 cm do nível da superfície do solo (DIAS-FILHO, 2012). Na ocasião do corte de uniformização, aos 71 DAS, e nos três primeiros cortes avaliativos, parcelou-se a adubação nitrogenada (ureia), totalizando 50 kg ha^{-1} de N (CANTARUTTI *et al*., 1999).

Ao sétimo dia subsequente do corte de uniformização (aos 78 DAS) e dos três primeiros cortes avaliativos (aos 99, 120 e 141 DAS), administrou-se subdoses de glifosato, nome comercial Shadow® (356 g e.a. L^{-1}), com pulverizador costal de compressão prévia CO_2, pressão de 2 bar e munindo de barra com uma ponta de

pulverização DG11002 VS, proporcionando volume de calda de 100 L ha^{-1}, de modo que atingisse completamente o dossel da forragem. No momento da aplicação, as parcelas adjacentes foram protegidas com lona plástica para evitar deriva.

Os efeitos de fitoxicidade nas plantas de capim marandu foram avaliados visualmente aos 7 e 14 dias após a aplicação, com uso de escala de notas de 0 (zero) a 100 (cem), em que 0 corresponde a nenhuma injúria nas plantas e, 100, à morte de todas as plantas (SBCPD, 1995).

Adotando-se frequência de desfolhação de 21 dias, as avaliações foram realizadas aos 92, 113, 134 e 155 DAS, totalizando quatro cortes. A produção vegetal aérea foi determinada como sendo o peso total da forragem verde colhida a 20 cm da superfície. A massa fresca aérea da forragem foi separada em duas subamostras: (1) destacando-se as folhas do colmo+bainha, para determinar a relação folha/colmo e produtividade (RFC); e, (2) perfilho e folhas, para análises laboratoriais.

As amostras foram submetidas a pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 55 ºC por 72 horas, método INCT-CA G-001/1 (DETMANN *et al*., 2012). Em seguida, subamostras da forragem foram processadas em moinho de facas tipo Willey, malha de 1 mm, para obter massa seca (MS), em estufa a 105ºC (INCT-CA G-003/1); proteína bruta (PB), pelo método de Kjeldahl (INCT-CA N-001/1); fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), por Filter Bag Tchenique da Ankom® (INCT-CA F-002/1 e INCT-CA F-004/1, respectivamente); e, lignina (LIG), por oxidação em permanganato de potássio (INCT-CA F-006/1) (DETMANN *et al*., 2012). Os teores de fósforo foliar (FF) foram obtidos pelo método espectrofotométrico do ácido do metavanadato (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997)

Com auxílio do software SISVAR (FERREIRA, 2019) a hipótese da normalidade dos erros foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, que comprovada, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade. Quando encontrado efeito significativo ($P<0,05$), o efeito das subdoses de glifosato (D) foram avaliados por análise de regressão, sendo a qualidade de ajuste dos modelos avaliada a partir do p-valor do desvio da regressão (não significativo) e os modelos de regressão polinomial selecionados basearam-se nos coeficientes de correlação (R^2) superiores, dentre as significativas pelo teste F a 5%. Os efeitos de corte (C) foram comparados pelo teste de Tukey a 5%.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise de variância (Tabela 13), constatou-se interação significativa entre subdoses de glifosato e controle (D) e cortes (C), para relação folha/colmo (RFC), teores de proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) de capim marandu, caracterizando interdependência entre os tratamentos (D x C). Para produção de forragem (PF) e teores de fósforo foliar (FF), a análise de variância identificou efeito isolado de D. Enquanto que para teores de fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (LIG) houve efeito significativo de C.

Tabela 13. Análise de variância para produção de forragem (PF, kg ha^{-1} MS), relação folha/colmo (RFC), teores de proteína bruta (PB, % MS), fibra em detergente neutro (FDN, % MS), em detergente ácido (FDA, % MS), lignina (LIG, % MS) e fósforo foliar (FF, g kg^{-1} MS) de capim marandu tratado com subdoses de glifosato e controle (D), em quatro cortes (C).

Variáveis	Dose (D)	Corte (C)	D x C	CV(1)	Média geral
	---------- valor de F ----------			-- (%) --	----------
PF (kg ha^{-1} MS)	5,982**	49,127**	1,538^{ns}	17,85	1.164
RFC	3,035*	82,519**	1,951*	10,96	2,77
PB (% MS)	0,213^{ns}	1,268^{ns}	2,031*	12,68	17,34
FDN (% MS)	0,630^{ns}	3,950*	2,862**	4,47	58,02
FDA (% MS)	1,397^{ns}	16,492**	0,878^{ns}	7,82	29,27
LIG (% MS)	0,834^{ns}	5,061**	1,325^{ns}	30,77	1,72
FF (g kg^{-1} MS)	28,333**	12,352**	1,016^{ns}	12,22	3,52

Nota: (1)CV: coeficiente de variação. **, * e ^{ns}, significativo a 5, 1% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
Fonte: Elaborado pela Autora.

Para a RFC, dentro das subdoses de glifosato avaliadas, o corte 1 diferiu significativamente dos seguintes (Tabela 14), especialmente corte 3. Deste modo, pressupõe-se que houve processo evolutivo, caracterizando perturbações associadas e dependentes do manejo (desfolha) e subdoses de glifosato (BRITO *et al*., 2017).

A análise de subdoses de glifosato em cada um dos cortes adequou-se ao modelo polinomial de segunda ordem (Figura 14). O corte 1 evidenciou concavidade da parábola voltada para cima, ocorrendo comportamento depressivo à dose 80,50 g

e.a. ha^{-1}, prevendo valor equivalente a 1,76 (Figura 14). Nos cortes 2, 3 e 4, o coeficiente angular dos modelos matemáticos evidenciaram efeito limitante à variável. Para estes, a máxima RFC ocorreu sob as subdoses de 58,99, 38,50 e 76,50 g e.a. ha^{-1} de glifosato, respectivamente, com RFC de 3,23; 3,69 e 2,99. No entanto, os valores registrados foram superiores ao constatado por Lima *et al*. (2019), em que o modelo matemático caracterizou máxima RFC de 1,11 para as doses de 54 e 108 g e.a. ha^{-1} de glifosato. Ainda, considerando a intensidade de desfolha de 20 cm, Fontes *et al*. (2014) obtiveram RFC inferior, com valor de 1,39.

Tabela 14. Médias e regressão para relação folha/colmo (RFC), de capim marandu tratado com subdoses de glifosato e controle (D), em quatro cortes (C).

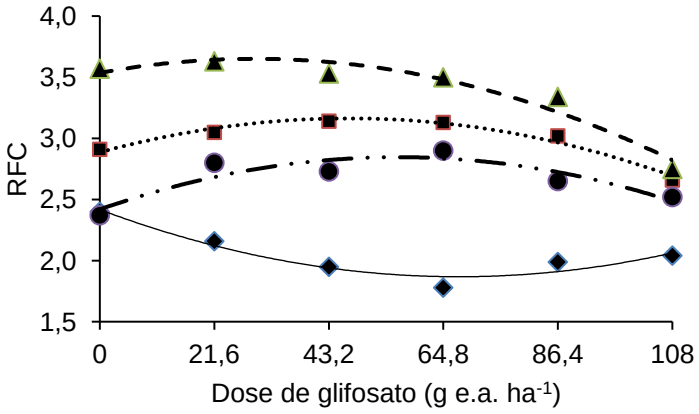
Subdoses de glifosato (g e.a. ha^{-1})	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4
	Relação folha/colmo (RFC)			
0	2,40 b[(1)]	2,91 b	3,57 a	2,37 b
21,60	2,16 c	3,05 b	3,63 a	2,80 b
43,20	1,95 c	3,14 ab	3,53 a	2,73 b
64,80	1,78 c	3,13 ab	3,50 a	2,90 b
86,40	1,99 c	3,02 ab	3,34 a	2,65 b
108,00	2,04 b	2,66 a	2,75 a	2,52 ab
Regressão	Teste F dos modelos matemáticos para RFC			
Linear	3,591^{ns}	1,061^{ns}	14,776**	0,155^{ns}
Quadrática	4,722*	5,302*	5,864*	6,147*
Cúbica	0,000^{ns}	0,237^{ns}	0,981^{ns}	0,303^{ns}
Desvio	0,322^{ns}	0,017^{ns}	0,196^{ns}	0,567^{ns}

Nota: [(1)]Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si (p>0,05) pelo teste de Tukey. **, * e ^{ns}, significativo a 5, 1% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
Fonte: Elaborado pela Autora.

O herbicida reduz a atuação da enzima responsável pela biossíntese do hormônio de crescimento, o ácido indolacético (AIA), restringindo o alongamento do colmo e, alterando a RFC. Também Gitti *et al*. (2011) constataram que até a dose 78 g e.a. ha^{-1} de glifosato, os entrenós de plantas de arroz tratadas tiveram redução em seu tamanho. Portanto, doses baixíssimas de glifosato apresentaram estímulo ao

crescimento e ao desenvolvimento da parte aérea da forrageira, mas reduziu a componente colmo, entre os cortes avaliativos, registrando valores superiores ao obtido por Sales *et al*. (2013), que ao avaliarem níveis de adubação nitrogenada (100, 200, 300 e 400 kg ha^{-1} de N), verificaram máxima RFC (1,31) à dose mínima de N testada. Para os resultados aqui obtidos, além da adubação empregada (50 kg ha^{-1} de N) há de se considerar os fatores intensidade e frequência de desfolhação, respectivamente, 20 cm e 21 dias, como integrantes ao manejo da gramínea. O vigor da rebrota foi atestado, garantindo a manutenção de meristemas apicais, como constatado na RFC, em função da intensidade de corte. O restabelecimento da forragem no início do intervalo de desfolha é constituído primordialmente da componente morfológica folha, estimulada por reduzida competição por luz e, adequado aporte de reservas das raízes (FONTES *et al*., 2014). Consequentemente, características estruturais do dossel forrageiro, de melhor RFC, estão diretamente relacionadas ao valor nutritivo da forragem produzida (MARANHÃO *et al*., 2010; SANTOS *et al*., 2011), principalmente pelo reduzido/imensurável material foliar morto ou senescente obtido nas avaliações.

Figura 14. Relação folha/colmo (RFC) de capim marandu submetido a subdoses de glifosato e controle, em quatro cortes consecutivos.



(◆) Corte 1
$\hat{y} = + 0{,}0001x^2 - 0{,}0161x + 2{,}4128$; $R^2 = 0{,}9281$
(■) Corte 2
$\hat{y} = - 0{,}0001x^2 - 0{,}0118x + 2{,}8831$; $R^2 = 0{,}9593$
(▲) Corte 3
$\hat{y} = - 0{,}0001x^2 + 0{,}0077x + 3{,}5371$; $R^2 = 0{,}9415$
(●) Corte 4
$\hat{y} = - 0{,}0001x^2 + 0{,}0153x + 2{,}4139$; $R^2 = 0{,}8144$

Fonte: Elaborado pela Autora.

O tratamento controle apresentou diferença significativa no teor de PB, exclusivamente no corte 4, sobre os anteriores (Tabela 15). Para as subdoses testadas, não houve diferenças entre os cortes avaliados, com teores mínimo e máximo, respectivamente, de 15,77 e 19,55% MS. Em qualquer sistema de produção

pecuária é indicado que a dieta atenda às necessidades dos animais. Portanto, os teores de PB obtidos neste trabalho são adequados ao desempenho animal conduzido exclusivamente a pasto, por disponibilizar suprimento adequado de nutrientes ao desempenho dos microrganismos ruminais (DETMANN *et al*., 2014).

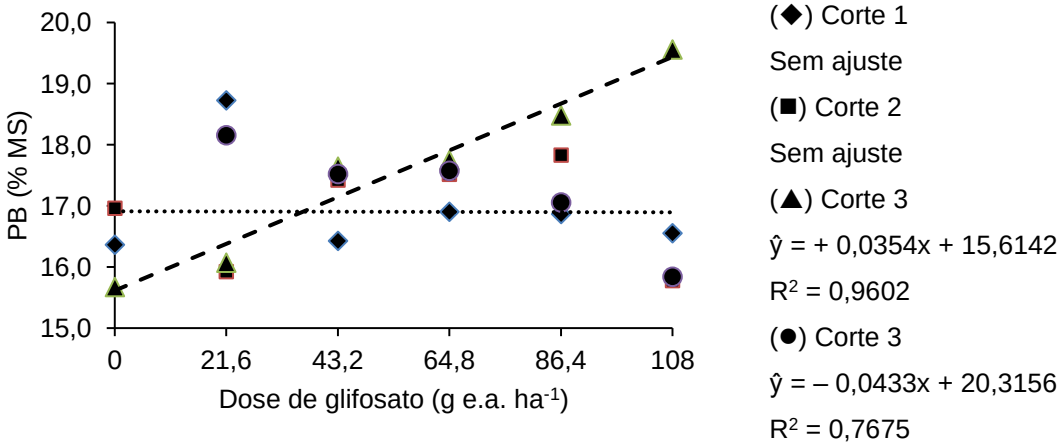
Tabela 15. Médias e regressão para teores de proteína bruta (PB, % MS) de capim marandu tratado com subdoses de glifosato e controle (D), em quatro cortes (C).

Subdoses de glifosato (g e.a. ha^{-1})	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4
	Proteína bruta (PB, % MS)			
0	16,36 b[(1)]	16,96 b	15,67 b	21,74 a
21,60	18,73	15,92	16,07	18,15
43,20	16,43	17,42	17,64	17,52
64,80	16,90	17,52	17,74	17,57
86,40	16,86	17,83	18,48	17,05
108,00	16,55	15,77	19,55	15,84
Regressão	Teste F dos modelos matemáticos para PB			
Linear	0,199^{ns}	0,000^{ns}	8,197**	12,275**
Quadrática	0,179^{ns}	0,921^{ns}	0,000^{ns}	1,437^{ns}
Cúbica	0,648^{ns}	1,276^{ns}	0,021^{ns}	2,149^{ns}
Desvio	1,065^{ns}	0,178^{ns}	0,159^{ns}	0,066^{ns}

Nota: [(1)]Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si (p>0,05) pelo teste de Tukey. ** e ^{ns}, significativo a 1% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
Fonte: Elaborado pela Autora.

Ainda, como houve efeito associado e dependente de subdoses de glifosato e do manejo, foi identificado comportamento linear para teor de PB da forragem em função das subdoses do herbicida, exclusivamente nos cortes 3 e 4 (Figura 15). Para os demais cortes, as regressões estudadas não se adequaram aos resultados obtidos (Tabela 15). Em gramíneas, o efeito da desfolha prioriza a recuperação do aparato fotossintético, favorecendo o acúmulo de folhas novas, de melhor valor nutritivo, caracterizando maior teor de PB e menor concentração de FDA e de LIG (FREITAS *et al*., 2012).

Figura 15. Teores de proteína bruta (PB, %MS) de capim marandu submetido a subdoses de glifosato e controle, em quatro cortes consecutivos.



Fonte: Elaborado pela Autora.

Tabela 16. Médias e regressão para teores de fibra em detergente neutro (FDN, % MS) de capim marandu tratado com subdoses de glifosato (D), em quatro cortes (C).

Subdoses de glifosato (g e.a. ha^{-1})	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4
	Fibra em detergente neutro (FDN, % MS)			
0	57,28 ab$^{(1)}$	59,07 ab	55,92 b	62,02 a
21,60	55,16 c	61,25 a	56,00 bc	60,03 ab
43,20	58,91	58,19	56,48	60,14
64,80	55,61	55,97	57,61	57,58
86,40	57,24 ab	56,09 b	61,27 a	56,80 ab
108,00	56,55 ab	55,50 b	60,54 a	60,16 ab
Regressão	Teste F dos modelos matemáticos para FDN			
Linear	3,591^{ns}	1,061*	14,776**	0,155^{ns}
Quadrática	4,722^{ns}	5,302^{ns}	5,864^{ns}	6,147^{ns}
Cúbica	0,000^{ns}	0,327^{ns}	0,891^{ns}	0,303^{ns}
Desvio	0,322^{ns}	0,017^{ns}	0,196^{ns}	0,567^{ns}

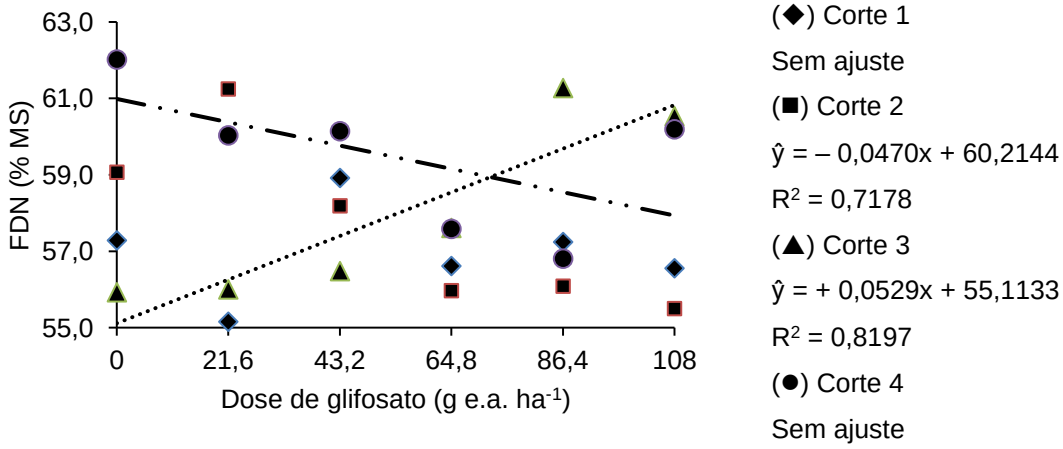
Nota: $^{(1)}$Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si (p>0,05) pelo teste de Tukey. **, * e ^{ns}, significativo a 5, 1% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
Fonte: Elaborado pela Autora.

Houve menor teor de FDN no corte 2, não diferindo dos cortes 1 e 3 (Tabela 16). No entanto, os teores de FDN obtidos são adequados ao consumo da forragem.

O limite máximo de 65% de FDN na MS em forrageiras tropicais, com frequência de desfolha de 30 dias, caracteriza bom valor nutritivo, favorecendo o desempenho e produtividade animal em pastagens (ALENCAR *et al*., 2010; HANISCH; BALBINOT JUNIOR.; VOGT, 2017).

Evidenciando os resultados de FDN obtidos entre os cortes avaliativos, houve ajuste matemático linear para os cortes 2 e 3 (Figura 16). Os cortes 1 e 4 não se adequaram aos modelos matemáticos investigados (Tabela 16).

Figura 16. Teores de Fibra em detergente neutro (FDN, %MS) de capim marandu submetido a subdoses de glifosato e controle, em quatro cortes consecutivos.



Fonte: Elaborado pela Autora.

Para a PF, o teste de médias registrou superioridade produtiva no corte 1, diferindo significativamente dos cortes posteriores (Tabela 17). Houve limitada produtividade nos cortes subsequentes, caracterizando redução equivalente a 46,63% do registrado no corte 1. A análise de regressão para D adequou-se ao modelo matemático linear negativo (Tabela 17), em que as subdoses de glifosato resultaram em comportamento inversamente proporcional (Figura 17). Portanto, o modelo matemático prevê prejuízo produtivo equivalente a 77,94 kg ha^{-1} de MS, para adição de 1g de glifosato à calda de pulverização. No entanto, Nascentes *et al*. (2015) encontraram efeito hormese em pasto estabelecido de capim marandu, e o modelo de regressão caracterizou estímulo produtivo aproximado de 32% com a subdose 10,50 g e.a. ha^{-1} de glifosato em colheita realizada aos 15 dias após aplicação. Em cana-de-açúcar, Carbonari *et al*. (2014) também verificaram efeito hormese para biomassa da parte aérea das plantas com doses no intervalo 7,20 a 36,00 g e.a. ha^{-1} de glifosato, aos 21 dias após aplicação. Deste modo, a dose inicial utilizada neste experimento

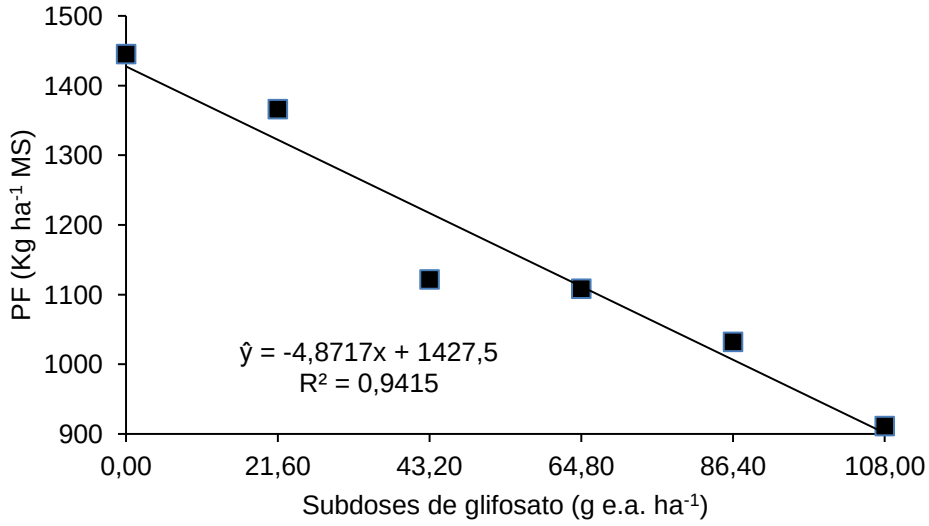
pode não ter sido adequada para detectar efeito hormese para produção de forragem. Entretanto, os efeitos deletérios do glifosato não resultaram em clorose ou algum nível de fitotoxicidade.

Tabela 17. Médias e regressão para produção de forragem (PF, kg ha^{-1} MS) de capim marandu em quatro cortes avaliativos.

Variável	Corte			
	1	2	3	4
PF (kg ha^{-1} MS)	1553 a[(1)]	829 c	1150 b	1126 b
	Teste F dos modelos matemáticos para RFC			
	Linear	Quadrático	Cúbico	Desvio
PF (kg ha^{-1} MS)	28,158**	0,369^{ns}	0,063^{ns}	0,659^{ns}

Nota: ([1])Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si (p>0,05) pelo teste de Tukey. ** e ^{ns}, significativo a 1% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
Fonte: elaborado pela Autora.

Figura 17. Produção de forragem (PF, kg ha^{-1} MS)) de capim marandu submetido a subdoses de glifosato e controle.



Fonte: elaborado pela Autora.

Em forrageiras, mesmo as braquiárias que são menos exigentes em fósforo, o elemento é essencial à divisão celular e processos morfogênicos, sobretudo para restabelecimento do dossel forrageiro, componente indispensável ao pastejo, influenciando diretamente as características estruturais do pasto (PORTO *et al*., 2012). As médias do teor P foliar (FF) caracterizaram diferença significativa (Tabela

18). O corte 1 registrou ínfimo FF, correspondendo a 80,77% do obtido no corte 3. A análise de regressão ajustou-se ao modelo polinomial de segunda ordem (Tabela 18), e o coeficiente angular do modelo prevê restrição ao FF com o incremento de subdoses de glifosato (Figura 18). Neste caso, haveria incremento foliar do elemento até a dose de 72,50 g e.a. ha^{-1} de glifosato, atingindo 4,13 g kg^{-1} de MS. No entanto, os efeitos aqui verificados não são explicados pela inibição da 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), cabendo estudo à situação verificada. Trabalhos que tratam da interação entre transportadores de fosfato e glifosato ainda não são totalmente compreendidos, assim como outros mecanismos químicos para a degradação de ácidos fosfônicos.

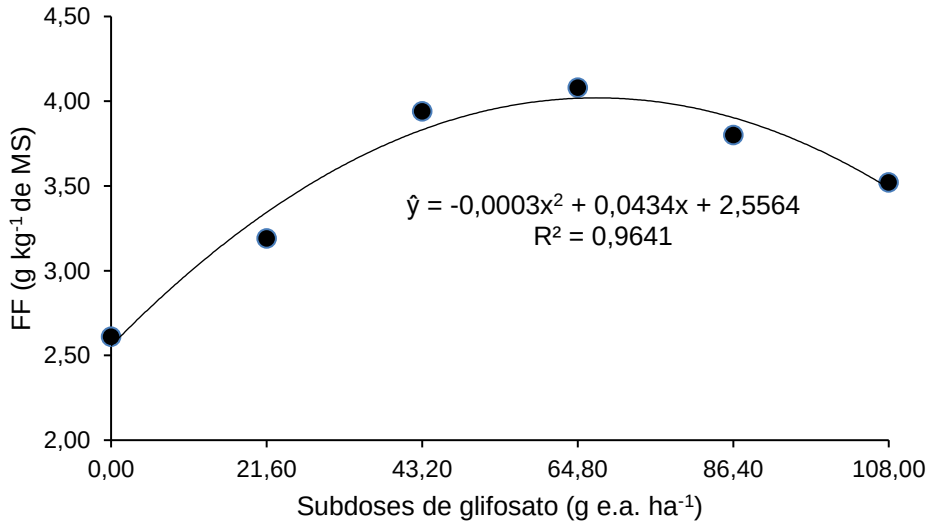
Tabela 18. Médias e regressão para teores de fósforo foliar (FF, g kg^{-1} MS) de capim marandu em quatro cortes avaliativos.

Variável	Corte			
	1	2	3	4
FF (g kg^{-1} MS)	3,15 c[(1)]	3,47 bc	3,90 a	3,57 b
	Teste F dos modelos matemáticos para FF			
	Linear	Quadrático	Cúbico	Desvio
FF (g kg^{-1} MS)	57,408**	79,109**	0,053ns	2,547ns

Nota: [(1)]Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si (p>0,05) pelo teste de Tukey. ** e [ns], significativo a 1% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.
Fonte: elaborado pela Autora.

O menor teor de FDA, registrado no corte 2, diferiu do corte 1 (Tabela 19). A concentração de FDA em forragens com valores abaixo de 30% é considerada ideal ao consumo de ruminantes (NUSSIO *et al*., 1998; MIRANDA *et al*., 2018). Os teores de FDA apresentados são concordantes com a digestibilidade da forrageira, indicando baixos teores de componentes lignificados, favorecendo a digestibilidade e o aproveitamento da forragem ingerida (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Meschede *et al*. (2011) testaram o efeito de glifosato em componentes bromatológicas de *B. decumbens*, sendo a dose inicial de glifosato, de 32 g e.a. ha^{-1} e tratamento controle, e obtiveram FDA equivalente a 40,50 e 42,50%, respectivamente, não registrando efeito hormese.

Figura 18. Teores de fósforo foliar (FF, g kg^{-1} MS)) de capim marandu submetido a subdoses de glifosato e controle.



Fonte: elaborado pela Autora.

Tabela 19. Teores de fibra em detergente ácido (FDA, % MS) e lignina (LIG, % MS) de capim em quatro cortes.

	Corte			
	1	2	3	4
FDA (% MS)	31,43 a(1)	26,83 c	29,68 b	29,15 b
LIG (% MS)	1,45 b	1,71 ab	1,67 ab	2,04 a

Nota: (1) Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si (p>0,05) pelo teste de Tukey.
Fonte: Elaborado pela Autora.

Os teores de FDA têm relação com os teores de lignina dos alimentos, que determinam a sua digestibilidade, pois quanto menor o teor de FDA, menor será o teor de LIG e, consequentemente, melhor a digestibilidade do alimento (RODRIGUES JUNIOR *et al*., 2015). Os períodos de desfolha (C) da forragem caracterizaram incremento dos teores de LIG. Os valores obtidos nesse experimento caracterizam elevada qualidade da forrageira, com teor limite de 2,04 % de lignina, no corte 4 (Tabela 19).

6.4 CONCLUSÕES

Perturbações associadas e dependentes do manejo e subdoses de glifosato asseguraram relação folha/colmo e de proteína bruta, respectivamente, de até 3 e 17% MS. Para fibra em detergente neutro, o limite obtido foi de 62% MS.

Com a subdose do equivalente ácido de glifosato de 21,6 g ha^{-1} e, progressão dos cortes, houve redução linear na produção de MS do capim marandu. Enquanto para o teor de fósforo foliar, houve reação antagônica, caracterizando comportamento polinomial quadrático, com incremento do nutriente até a dose 72,50 g ha^{-1}.

O intervalo/intensidade de desfolhação (cortes a cada 21 dias a 20 cm) proporcionou adequados teores para fibra em detergente ácido e lignina, respectivamente, de 31 e 2% MS, garantindo qualidade do capim marandu para consumo animal.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, C. A. B. *et al*. Valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais irrigadas em diferentes épocas do ano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 20-27, 2010. DOI: 10.5216/pat.v40i1.3994.

BRITO, I. P. F. S. *et al*. Hormetic effects of glyphosate on plants. **Pesticide Management Science**, Sussex, v. 74, p. 1064-1070, 2017. DOI: https://doi.org/10.1002/ps.4523.

CANTARUTTI, R. B. *et al*. Pastagens. *In*: RIBEIRO, A. C. *;* GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: Os autores, 1999. p. 332-341. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. Disponível em: https://www.academia.edu/35345434/RECOMENDA%C3%87%C3%95ES_PARA_O_USO_DE_CORRETIVOS_E_FERTILIZANTES_EM_MINAS_GERAIS_5_a_APROXIMA%C3%87%C3%83º. Acesso em: 14 jul. 2020.

CARBONARI, C. A. *et al.* Glyphosate effects on sugarcane metabolism and growth. **American Journal of Plant Sciences**, Irvine, v. 5, p. 3585-3593, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.524374.

DETMANN, E. *et al*. An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. **Livestock Science**, Suwon, v. 162, p. 141-153, 2014.

DETMANN, E. *et al*. **Métodos para análise de alimentos** - INCT - Ciência Animal. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012.

DIAS-FILHO, M. B. **Formação e Manejo de Pastagens**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. 9 p. (Embrapa Amazônia Oriental. (Comunicado técnico, 235). 2012.

DUKE, S. O. *et al*. Glyphosate effects on plant mineral nutrition, crop rhizosphere microbiota, and plant disease in glyphosate-resistant crops. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 60, n. 42, p. 10375-10397, 2012. DOI: https://doi.org/10.1021/jf302436u.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FONTES, J. G. G. *et al*. Herbage accumulation in *Brachiaria brizantha* cultivars submitted to defoliation intensities. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1425-1438, 2014. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n3p1425.

FREITAS, F. P. *et al*. Forage yield and nutritive value of Tanzania grass under nitrogen supplies and plant densities. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 4, p. 864-872, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000400006.

GITTI, D. C. *et al*. Glyphosate como regulador de crescimento em arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 500-507, 2011. DOI: 10.5216/pat.v41i4.10160.

HANISCH, A. L., BALBINOT JUNIOR, A. A., VOGT, G. A. Desempenho produtivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em função da inoculação com *Azospirillum* e doses de nitrogênio. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v.11, n. 3, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i3.3916.

KAPPES, C. *et al*. Resposta da crotalária à épocas e subdoses de aplicação de glifosato. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 373-383, 2012. DOI: https://doi.org/10.5216/pat.v41i4.10160.

LIMA, S. F. *et al.* Supressão de *Brachiaria brizantha* e *U. ruziziensis* por subdodoes do glicosato. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 3, p. 581-589, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n302rc.

MARANHÃO, C. M. A. *et al*. Características produtivas do capim-braquiária submetido a intervalos de cortes e adubação nitrogenada durante três estações. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 375-384, 2010. DOI: https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v32i4.8574.

MARTINEZ, D. A.; LOENING, U. E.; GRAHAM M. C. Impacts of glyphosate-based herbicides on disease resistance and health of crops: a review. **Environmental Sciences Europe**, v. 30, n. 2, 2018. DOI: https://doi.org/10.1186/s12302-018-0131-7.

MESCHEDE, D. K. *et al*. Efeitos do glyphosate nos teores de lignina, celulose e fibra em *Brachiaria decumbens*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 10, n. 1, p. 57-63, 2011. DOI: http://dx.*doi*.org/10.7824/rbh.v10i1.77.

MIRANDA, C. C. B. *et al*. Desenvolvimento de *Brachiaria brizantha* adubada com fonolito e inoculada com bactérias diazotróficas solubilizadoras de potássio. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, p. 41, v. 3, p. 41-50, 2018. DOI: https://dx.doi.org/10.19084/RCA17011.

NASCENTES, R. F. *et al*. Hormesis de Glyphosate em *Brachiaria brizanta* cv. Marandu. **Cerrado Agrociências**, Patos de Minas, v. 6, p. 55-64, 2015.

NUSSIO, L. G. *et al*. Valor alimentício em plantas do gênero *Cynodon*. *In*: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15, 1998, Piracicaba. Manejo de pastagens de tifton, coastcross e estrela: **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 203-242.

OLIVEIRA, D. A. *et al*. Valor nutritivo do capim-braquiária no primeiro ano de recuperação com aplicações de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 716-726, 2010. DOI: https://*doi*.org/10.1590/S1516-35982010000400004.

PORTO, E. M. V. *et al*. Rendimento forrageiro da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a doses crescentes de fósforo. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 11, n. 3, p. 25-34, 2012.

RODRIGUES JÚNIOR, C. T. *et al*. Produção e composição bromatológica do capim-Marandu em diferentes épocas de diferimento e utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, supl. 1, p. 2141-2154, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3Supl1p2141.

SALES, E. C. J. *et al*. Produção de biomassa de capim-marandu submetido a doses de nitrogênio em dois períodos do ano. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 22, p. 486-499, 2013.

SANTOS, M. E. R. *et al*. Estrutura e valor nutritivo do pasto diferido de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk durante o período de pastejo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 112-122, 2011.

SILVA, J. C. *et al*. Efeito hormese de glyphosate em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 3, p. 295-302, 2012. DOI: https://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000300008.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS – SBCPD. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, 1995. 42 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 888 p.

TEIXEIRA, R. N. V. *et al*. Productive capacity of *Brachiaria brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu subjected to liming and nitrogen application. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 13, n. 36, p. 1901-1906, 2018. DOI: https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13266.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em casa de vegetação, aplicações de doses baixíssimas de glifosato (até 20 g ha^{-1} do equivalente ácido) não evidenciou efeito promotor de rendimento produtivo de forragem em capim marandu. Ainda, aplicações sucessivas não promoveram produção de biomassa durante o período experimental (capítulo 3). Mas, com a adição de sulfato de manganês a calda de pulverização para suprir a deficiência momentânea do nutriente, foi assegurada a produção de biomassa aérea da forrageira, nas quatro aplicações, mesmo com a subdose 108 g ha^{-1} do equivalente ácido de glifosato (Capítulo 4). Nos tratamentos com doses exclusivas de glifosato, houve clorose, necrose e aniquilação da produção de forragem após a primeira aplicação, para doses superiores a 64,8 g ha^{-1} do equivalente ácido de glifosato. Portanto, o volume de solo neste experimento (conduzido em vasos, 7 dm^3) não supriu, por absorção radicular, o manganês imobilizado pelo glifosato.

Já no campo (Capítulos 5 e 6) não foram verificados efeitos tão intensos como os registrados em casa de vegetação, mesmo com adição do manganês foliar à calda de pulverização (Capítulo 4). Não foram observados a ocorrência de sintomas visuais de fitoxicidade. No Capítulo 6, a intensidade do sintoma na forrageira foi inferior a capacidade da planta em repor os níveis adequados do elemento através da absorção radicular, pois não houve fertilização foliar do nutriente.

Nos experimentos dos capítulos 3, 5 e 6, a maior proporção de folhas sobre a de colmo caracterizaram perturbações associadas e dependentes do manejo (desfolha) e subdoses de glifosato. Como o mecanismo de ação do glifosato é a inibição da síntese de aminoácidos essências às plantas, a fenilalanina e o triptofano, asseguraram, respectivamente, baixos teores de lignina e desregulação da dominância apical. Consequentemente, a técnica da deriva do glifosato proporciona reduzidos teores de fibra alimentar e, concentrações adequadas de proteína bruta, pois ocorreu elevada taxa de tecidos jovens (folhas), resultando em composição química alimentar favorável para herbívoros ruminantes.

De forma geral, não houve aumento de produtividade do capim marandu pelas aplicações das subdoses de glifosato. Considerando os resultados, ocorrem duas suposições de estudos: 1) reduzir a subdose de glifosato a ser aplicada para o corte seguinte; ou, 2) que as doses baixíssimas do glifosato sejam efetuadas em cortes alternados. Ademais, devem-se considerar estudos para analisar a viabilidade econômica do uso da tecnologia de aplicação do glifosato em pastagem.