

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL

**CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS E DE CRESCIMENTO
DE MUDAS DE GUARANAZEIRO (*Paullinia cupana* Kunth var.
sorbilis (Mart.) Ducke) À DOSES DE GLIFOSATO**

BRUNA NOGUEIRA LEITE

MANAUS

2022

BRUNA NOGUEIRA LEITE

**CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS E DE CRESCIMENTO
DE MUDAS DE GUARANAZEIRO (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*
Kunth (Mart.) Ducke) À DOSES DE GLIFOSATO.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Orientador(a): Sônia Maria Figueiredo Albertino

MANAUS

2022

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L533c Leite, Bruna Nogueira
Características fisiológicas e de crescimento de mudas de guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) à doses de glifosato. / Bruna Nogueira Leite . 2022
83 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Sônia Maria Figueiredo Albertino
Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Manejo. 2. Herbicida. 3. Estresse. 4. Fitotoxidez. I. Albertino, Sônia Maria Figueiredo. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

BRUNA NOGUEIRA LEITE

Características fisiológicas e de crescimento em mudas de guaranazeiro
(*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbiliq* (Mart.) Ducke) à doses de glifosato

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

Aprovada em 28 de março de 2022.

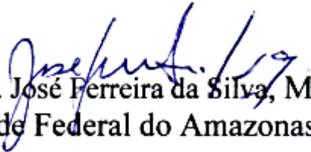
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Sônia Maria Figueiredo Albertino, Presidente
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)



Prof. Dr. Carlos Eduardo Moura da Silva- UERR, Membro
Universidade Estadual de Roraima (UERR)



Prof. Dr. José Ferreira da Silva, Membro
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)



Prof. Dr. André Luiz Atroch, Membro
EMBRAPA



Prof. Dr. Pedro de Queiroz Costa Neto, Membro
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

DEDICO

A DEUS,

“Tudo quanto te vier à mão para fazer, faze-o conforme as tuas forças; porque no Seol, para onde tu vais, não há obra, nem projeto, nem conhecimento, nem sabedoria alguma”

(Eclesiastes 9:10).

AGRADECIMENTO ESPECIAL

À Professora Dra. Sônia Maria Figueiredo Albertino, a quem deixo registrado aqui, toda minha admiração e respeito. Agradeço pelos 10 anos de orientação, dedicação, paciência, incentivo e carinho. Agradeço pelas valiosas contribuições profissionais, por sua pronta disponibilidade e por nos ajudar a expressar nossas qualidades. Obrigada por sempre respeitar nossas limitações. Espero poder retribuir todo seu empenho!

Deus lhe abençoe!

AGRADECIMENTOS

À Deus meu socorro bem presente nos momentos de angústia;

Ao professor Dr. José Ferreira da Silva, por compartilhar suas experiências e por fornecer os materiais, equipamentos e casa de vegetação, sem os quais não seria possível realizar esta pesquisa. Não tenho dúvidas que suas colaborações e ensinamentos foram cruciais todos esses anos;

À Universidade Federal do Amazonas, sobretudo, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, por possibilitar a realização deste trabalho para obtenção do título de Doutora em Agronomia Tropical;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão bolsa de estudos;

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelos recursos disponibilizados para compra de alguns materiais utilizados na pesquisa, por meio de recurso concedido ao PPGATR;

À Fazenda Agropecuária Jayoro Ltda pela disponibilização do material vegetal utilizado neste experimento;

A meu esposo Evandro pelo apoio e incentivo em toda a caminhada árdua e por entender, as ausências, estresses e choros;

Aos meus familiares, em especial minha mãe (Neide), irmã (Bianca), e sobrinhos (Tina e Otto) por sempre celebrarem minhas conquistas e torcerem pelo meu sucesso, amo vocês;

Aos queridos colegas, Sara Cruz, Laís Alves, Karla Dutra, Mauro Alves, Leticia de Paula e Talissa Quitério pelo apoio em todas as atividades de laboratório e campo. E por todas as palavras e ações de incentivo nos momentos de incertezas.

A professora Dra. Flávia Schimpl por auxiliar na instalação do experimento, orientações na coleta de dados e palavras de incentivo;

Aos professores José Zilton, Marciel Ferreira, Débora Clivati, André Atroch e Eva Atroch por serem sempre solícitos e compartilharem seus conhecimentos, obrigada pelo acolhimento;

Aos colegas daninhos Francisco, Monique, Silvana, Layane, Dani Cunha, Marcelo, Wilson, Vaneza, Gêssica, Jeronimo Rafael e Gil Melo por auxiliar quando necessário. E as colegas Ana Francisca e Carla Coelho pelo auxílio na análise dos dados.

Entendi que nada fazemos sozinhos, por isso deixo aqui expresso meu muito obrigada, que Deus os abençoe!

RESUMO

O guaranazeiro (*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) é uma cultura conhecida por suas propriedades energéticas provenientes da cafeína encontrada em suas sementes. Apesar do avanço no melhoramento genético da espécie, ainda há demanda quanto aos tratos culturais, por exemplo o manejo de plantas daninhas. Atualmente, este manejo é realizado por meio de capinas ou roçadas, mas em presença de grandes infestações faz-se o uso de herbicidas. Entretanto, são desconhecidos os efeitos que a deriva destes produtos causa a cultura. Nesse sentido, objetivou-se, investigar o efeito de diferentes doses do herbicida glifosato no guaranazeiro. Na primeira aplicação as mudas foram submetidas às doses 0, 126, 252, 540, 1.080, 2.160 e 3.240 g ae. ha⁻¹ mais espalhante adesivo (EA) na concentração de 0,5% e na segunda aplicação as doses 0, 126, 252, 540, 1.080 g ae. ha⁻¹ e EA, avaliados por 60 dias em cada aplicação. Coletas relacionadas à biometria das mudas, trocas gasosas, ocorrência de antracnose e fitotoxidez foram realizadas e quantificados teores de pigmentos fotossintéticos e de prolina. As doses 2.160 e 3.240 g ae. ha⁻¹ alteraram o desenvolvimento das mudas, levando-as a morte. Não houve alterações significativas nas trocas gasosas das mudas de guaranazeiro submetidas à doses de glifosato. Houve a ocorrência e aumento gradativo de antracnose nas mudas submetidas às doses de glifosato. As menores doses do glifosato (126, 252, 540 g ae. ha⁻¹) causaram despigmentação das folhas e superbrotamento. As doses maiores ocasionaram a morte das ponteiros e amarelecimentos de todas as folhas. Não houve diferença significativa nos pigmentos fotossintéticos e na concentração de prolina. Baixas doses do herbicida glifosato não interferiram no desenvolvimento de mudas de guaranazeiro (cultivar BRS-Maués). Mediante os resultados, recomenda-se o uso de glifosato de forma dirigida, em área de cultivo do guaranazeiro, como parte do manejo integrado de plantas daninhas, sem que haja prejuízos no desenvolvimento da cultura.

Palavras-chave: Manejo; Herbicida; Estresse; Fitotoxidez.

ABSTRACT

The guarana tree (*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) is a crop known for its energetic properties from the caffeine found in its seeds. Despite the progress in the genetic improvement of the species, there is still demand regarding cultural treatments, for example weed management. Currently, this management is carried out through weeding or mowing, but in the presence of large infestations, herbicides are used. However, the effects that the drift of these products causes on the crop are unknown. In this sense, the objective was to investigate the effect of different doses of the herbicide glyphosate on guarana. In the first application, the seedlings were submitted to doses of 0, 126, 252, 540, 1,080, 2,160 and 3,240 g ae. ha⁻¹ plus adhesive spreader (EA) at a concentration of 0.5% and in the second application at doses of 0, 126, 252, 540, 1,080 g ae. ha⁻¹ and EA, evaluated for 60 days in each application. Samples related to seedling biometry, gas exchange, occurrence of anthracnose and phytotoxicity were performed and levels of photosynthetic pigments and proline were quantified. The doses 2160 and 3240 g ae. ha⁻¹ altered the development of seedlings, leading them to death. There were no significant changes in the gas exchange of guarana tree seedlings submitted to glyphosate doses. There was the occurrence and gradual increase of anthracnose in seedlings submitted to glyphosate doses. The lowest doses of glyphosate (126, 252, 540 g ae. ha⁻¹) caused leaf depigmentation and overbudding. Higher doses caused the death of the tips and yellowing of all the leaves. There was no significant difference in photosynthetic pigments and proline concentration. Low doses of the herbicide glyphosate did not interfere in the development of guarana tree seedlings (cultivar BRS-Maués). Based on the results, it is recommended to use glyphosate in a directed manner, in an area of guarana tree cultivation, as part of the integrated management of weeds, without prejudice to the development of the culture.

Keywords: Management; Herbicide; Stress; Phytotoxic.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Representação da ação do glifosato sobre as principais vias metabólicas. Adaptada de IPIN 2007.25
- Figura 2. Representação da distribuição dos tratamentos com glifosato em mudas de guaranazeiro, em casa de vegetação, Manaus-Am,2019.33
- Figura 3. Escala diagramática para avaliação da severidade da antracnose do guaranazeiro. .34
- Figura 4. Número de folhas, Área foliar, Altura e Diâmetro do caule de mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, avaliados durante 60 DAA. Manaus-Am, 2019.39
- Figura 5. Biomassa seca da parte aérea de mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas à primeira aplicação de 7 doses de glifosato, aos 60 DAA. Manaus-Am, 2019. ..40
- Figura 6. Biomassa seca da parte aérea de mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas à segunda aplicação de 5 doses de glifosato aos 60 DAA. Manaus-Am, 2019.40
- Figura 7. Mudas de guaranazeiros, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato (primeira aplicação) e 5 doses (segunda aplicação) avaliadas por 60 dias. Manaus- Am, 2019.42
- Figura 8. Taxa de assimilação de CO₂ (A), Transpiração (E), Concentração interna de CO₂ (Ci) e Condutância estomática (Gs) de mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, avaliadas durante 14 DAA. Manaus-Am, 2019.47
- Figura 9. Eficiência no uso da água (EUA) de mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, avaliadas durante 14 DAA. Manaus-Am, 2019.48
- Figura 10. Transpiração (E) e Condutância estomática (Gs) de mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, avaliadas durante 14 DAA. Manaus-Am, 2019.50
- Figura 11. Clorofila A em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, avaliadas durante 60 DAA. Manaus-Am, 2020.53
- Figura 12. Clorofila B em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, avaliadas durante 60 DAA. Manaus-Am, 2020.54

Figura 13. Correlação de Pearson entre os fatores dose e tempo em relação aos sintomas de fitotoxidez em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a doses de glifosato. Manaus-Am, 2019.	56
Figura 14. Sintomas de fitotoxidez em mudas de guaranazeiro cultivar BRS-Maués, submetidas as maiores doses de glifosato (1.080g, 2.160g e 3.240g ae. ha ⁻¹) ao longo dos 60DAA. Manaus-Am, 2019.	57
Figura 15. Sintomas de fitotoxidez em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a doses 152g, 252g e 540g ae. ha ⁻¹ 60DAA do herbicida glifosato. Manaus-Am, 2019.	57
Figura 16. Intensidade da fitotoxidez em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 6 doses de glifosato, avaliados durante 60DAA. Manaus-Am, 2019.	58
Figura 17. Sintomas de fitotoxidez nas mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas as doses 540g e 1.080g ae. ha ⁻¹ de glifosato aos 60DAA. Manaus-Am, 2019.	60
Figura 18. Sintomas de fitotoxidez nas mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas as doses 126g e 252g ae. ha ⁻¹ de glifosato aos 60DAA. Manaus-Am, 2019.	61
Figura 19. Fitotoxidez em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 4 doses de glifosato, avaliados durante 60DAA. Manaus- Am, 2019.	62
Figura 20. Severidade de antracnose em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, observados durante 60 DAA. Manaus-Am, 2019.	64
Figura 21. Característica dos fragmentos isolados de lesões de antracnose e comprovação da patogenicidade dos isolados. Manaus-Am, 2019.	64
Figura 22. Manchas ocasionadas pela incidência de <i>Colletotrichum</i> spp em folhas novas em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, (A= Necrose inicial; B=Enrolamento; C= Crestamento), submetidas a 7 doses de glifosato. Manaus-Am, 2019.	65
Figura 23. Concentração de prolina em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, avaliadas durante 60 DAA. Manaus-Am, 2020.	68

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Resultado da análise química e física do terriço e folhas das mudas de guaranazeiro. Manaus-Am, 2018. 30
- Tabela 2. Notas utilizadas de verificação visual da fitointoxicação causada pelo herbicida glifosato em plantas. 35
- Tabela 3. Resumo da Anova para número de folhas (NS), altura das mudas (AM), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), biomassa seca da raiz (BSR) e biomassa seca da parte aérea (BPA) de mudas de guaranazeiro (Cultivar BRS- Maués) submetidas a doses de glifosato, avaliadas ao longo de 60DAA. Manaus-Am, 2020. 37
- Tabela 4. Resumo da Anova para Fotossíntese líquida (A), Transpiração (E), Concentração interna de CO₂ (C_i), Condutância estomática (G_s) e Eficiência no Uso da Água (EUA) em mudas de guaranazeiro (Cultivar BRS- Maués) submetidas a 7 doses de glifosato, avaliados durante 60DAA. Manaus-Am, 2020. 44
- Tabela 5. Resumo da Anova para Clorofila A Clorofila B e Carotenoides totais, em mudas de guaranazeiro (Cultivar BRS- Maués) submetidas a doses de glifosato, avaliados ao longo de 60 DAA. Manaus-Am, 2020. 52
- Tabela 6. Concentração de prolina de mudas de guaranazeiro (Cultivar BRS- Maués) submetidas a doses de glifosato, avaliados ao longo de 60 DAA. Manaus-Am, 2020. 67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	16
2. OBJETIVOS	18
2.1. Objetivo Geral	18
2.2. Objetivos específicos.....	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1. Guaranazeiro	19
3.1.1. <i>Características de importância econômica</i>	19
3.1.2. <i>Características do cultivo e manejo da cultura no Estado</i>	21
3.2. Deriva de herbicida	22
3.3. O uso do glifosato	23
3.3.1. <i>Ação do glifosato</i>	24
3.3.2. <i>Características de fitotoxidez</i>	25
3.3.3. <i>Efeitos da deriva do glifosato</i>	26
3.4. Efeito do herbicida no aparato fotossintético.	27
3.5. Herbicida e doenças das plantas	28
3.6. Prolina e o estresse químico	29
4. METODOLOGIA	30
4.1. Material vegetal e Condições de crescimento	30
4.2. Informações sobre o herbicida e pulverização.....	31
4.3. Delineamento experimental	32
4.4. Avaliações biométricas.....	33
4.5. Trocas gasosas foliares	33
4.6. Avaliação da severidade da antracnose.....	34
4.7. Avaliação da fitotoxidez.....	35
4.8. Determinação de pigmentos fotossintéticos	35
4.9. Determinação de prolina.....	36
4.10. Análise estatística.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1. Características Biométricas	37
5.1.1. <i>Primeira aplicação</i>	38
5.1.2. <i>Segunda aplicação</i>	40
5.2. Trocas gasosas	44

5.2.1. Primeira aplicação	45
5.2.2. Segunda aplicação.....	49
5.3. Concentração de pigmentos fotossintéticos.....	52
5.3.1. Primeira aplicação	52
5.3.2. Segunda aplicação.....	53
5.4. Fitotoxidez.....	55
5.4.1. Primeira aplicação	56
5.4.2. Segunda aplicação.....	58
5.5. Severidade da antracnose	63
5.6. Concentração de prolina.....	66
6. CONCLUSÃO	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXOS	78

1. INTRODUÇÃO GERAL

O guaranazeiro é originalmente amazônico, e suas sementes possuem propriedades farmacológicas associadas principalmente ao elevado teor de cafeína encontrado em suas sementes. E dentre as espécies que possuem cafeína é a que tem a maior concentração já descrita (SCHIMPL et al, 2013). A maior parte da produção do guaranazeiro é absorvida pelas indústrias de bebidas em geral e, na região Amazônica o produto do guaraná é utilizado para fins medicinais e energéticos (ATROCH, 2009).

No Amazonas, o maior produtor de guaraná é a cidade de Maués, representando 35% da área plantada no Estado, sendo responsável por mais de 30% da produção local (ATROCH; NASCIMENTO FILHO, 2018). No entanto, os guaranazais do Amazonas possuem baixa produtividade, devido à idade avançada dos plantios e à falta de adoção das práticas de manejo, pelos pequenos produtores (CARDOSO, 2010). Esforços têm sido empregados para a modernização do sistema de cultivo do guaranazeiro, visando melhoria nos aspectos produtivos e sanitários (TRICAUD et al, 2016). Entre os principais entraves para o crescimento da cultura no Estado, os aspectos fitossanitários ganham destaque, dentre eles o controle de plantas daninhas.

As plantas daninhas representam grandes perdas para as culturas em geral, exigindo com isso o uso de práticas de controle. Nos sistemas de manejo convencional este controle é realizado com métodos manuais, mecânicos e químicos. Sendo que o químico é o método preferencialmente escolhido pelos produtores, uma vez que há conveniência na aplicação em relação aos demais métodos, principalmente em grandes áreas de cultivo, tornando-se a opção mais eficiente e econômica (ABBAS et al, 2018). No entanto, o uso inadequado destes produtos pode afetar a fisiologia e o crescimento de organismos não alvos. Mesmo em aplicação dirigida às plantas daninhas, os herbicidas podem ser arrastados pelo vento e atingir outras culturas, num processo conhecido por deriva (GOMES et al, 2014).

A recomendação de glifosato para controle de plantas daninhas se estende para as culturas do café, citrus, cacau, banana, eucalipto, entre outras. Apesar de não ser um produto registrado para a cultura do guaranazeiro, estudos mostraram que é um método eficiente para essa finalidade (FONTES; NASCIMENTO FILHO, 2007), além do mais, muitos produtores locais fazem uso desse herbicida para o controle de plantas daninhas em cultivos de guaranazeiro (dados não publicados).

A ação do glifosato interfere na organização do aparelho fotossintético, metabolismo do carbono, nutrição mineral e eventos oxidativos, e ainda pode provocar perturbação de interações da planta com microrganismos (GOMES et al, 2014). As respostas fisiológicas ao glifosato são dependentes da espécie e do status da planta, tais como condição fitossanitária, hídrica, nutricional, idade, estágio fenológico e, obviamente, da dose do produto aplicado (GOMES et al, 2014; MONQUERO et al, 2004). Prejuízos mais drásticos no metabolismo vegetal causados por doses de glifosato estão relacionados ao desenvolvimento inicial de algumas espécies, como a inibição do crescimento, número de folhas, desenvolvimento de raízes e incremento de biomassa (GOMES et al, 2014; RUSIN et al, 2017).

Esses efeitos também interferem nas taxas de trocas gasosas e aqueles associados à capacidade fotoquímica das plantas (RADWAN; FAYEZ, 2016; ZHONG et al, 2018). A toxidez por glifosato pode levar à fotoinibição da fotossíntese e ao dano celular por espécies reativas a oxigênio (EROs), que estão diretamente envolvidas no processo de desintoxicação por herbicidas (AHMAD et al, 2010).

Diante do exposto, considerando a relevância da cultura do guaranazeiro para o estado do Amazonas e os prejuízos causados pelas plantas daninhas em lavouras de guaranazeiro, podendo reduzir a produção em até 65% (SOARES et al, 2019), são necessários soluções viáveis e práticas para essa problemática a fim de poder incrementar a produtividade dos plantios amazonenses, cujos valores estão bem abaixo da média nacional. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o comportamento de plantas jovens de guaranazeiros sob o efeito de diferentes doses do herbicida glifosato.

Compreender a influência da aplicação de herbicidas como o glifosato no desenvolvimento de uma espécie semi-doméstica como o guaranazeiro, contribui para prevenir os efeitos nocivos e entender os impactos da deriva. O propósito deste estudo é adicionar conhecimento ao que se sabe e acrescentar informações ao desenvolvimento do manejo do guaranazeiro principalmente para a região Amazônica, que apesar de ser o berço da cultura no Brasil, está aquém em termos de produtividade quando comparado ao maior produtor do país e abaixo da média nacional.

Estudos relacionados ao manejo do guaranazeiro no Estado permitem tomadas de decisões mais acertadas, proporcionando melhor desempenho ao cultivo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Investigar os efeitos de doses do herbicida glifosato no desenvolvimento e crescimento de mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués.

2.2. Objetivos específicos

Avaliar o crescimento e acúmulo de biomassa de mudas de guaranazeiro sob o efeito de doses de glifosato;

Determinar os efeitos de doses de glifosato no metabolismo de mudas de guaranazeiro por meio de variáveis fisiológicas;

Identificar os efeitos visuais em mudas de guaranazeiro sob a ação de doses de glifosato;

Avaliar a ocorrência de antracnose em mudas de guaranazeiro submetidas a doses de glifosato.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Guaranazeiro

O guaranazeiro (*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) é uma dicotiledônea, pertencente à família Sapindaceae. A família Sapindaceae tem aproximadamente 140 gêneros e 2000 espécies distribuídas em três subfamílias (SOUZA E LORENZI, 2008). No Brasil ocorrem 24 gêneros com 400 espécies, sendo o guaraná uma destas espécies (SOUZA, 2008). O gênero *Paullinia* possui cerca de 102 espécies e a espécie *Paullinia cupana* tem duas variedades/subespécies botânicas, são elas, *sorbilis* o guaraná do Brasil e o único cultivado para fins comerciais, e a variedade *typica* o guaraná encontrado na Venezuela. A variedade *sorbilis* ocorre na região Amazônica, em áreas de floresta ciliar, floresta de terra firme e de várzea (DUCKE, 1937; TROPICOS, 2021).

As características morfológicas predominantes da espécie são hábito de vida liana/trepador e em áreas abertas desenvolve-se na forma de arbusto semiereto e lenhoso, possuem folhas alternas, compostas trifolioladas, pinadas folioladas, a inflorescência desenvolve-se em forma de cacho nas axilas das folhas e os frutos quando maduros têm coloração alaranjados, com sarcotesta branca e sementes pretas (TROPICOS, 2021). Desenvolve-se bem em áreas de clima quente e úmido, como a Amazônia e o sul da Bahia. As características ambientais ideais são temperatura média no ano de 23 a 26° C e alta precipitação pluviométrica, na base de 3000 mm/ano. Toleram solos ácidos e com elevada saturação de alumínio, características predominantes dos solos Amazônicos. Propaga-se em solos profundos, de textura argilo arenosa, com boa drenagem, não tolera inundações e alagamentos (COSTA; FERREIRA, 2011; EMBRAPA, 2003).

3.1.1. Características de importância econômica

O principal produto do guaranazeiro são suas sementes, conhecidas por suas características farmacológicas, o efeito energético é o mais relevante e está associado ao elevado conteúdo de cafeína nas sementes (2,5-6%) (SCHIMPL et al, 2013; SCHIMPL et al,

2014). A cafeína (1,3,7-trimetilxantina) é produto do metabolismo secundário de plantas da classe dos alcalóides purínicos, para mais informações ver (ASHIHARA et al, 2017), ela já foi descrita em mais de 80 espécies de plantas, e os valores encontrados no guaraná são os maiores já observados (SCHIMPL et al, 2013). Outras metilxantinas como teobromina e teofilina também estão presentes nas sementes de guaraná, mas em menor proporção (abaixo de 0,04%). Em outros tecidos (folhas, caule, inflorescência e pericarpo) a teobromina é a metilxantina predominante, os maiores teores são encontrados em folhas jovens (de 2–4%, dependendo da cultivar) (SCHIMPL et al, 2014).

Devido ao elevado conteúdo de cafeína das sementes e ao consumo tradicional de guaraná na região amazônica, 30% do que é produzido é destinado para o mercado farmacêutico/cosmético ou comercializado como produto natural. No entanto, a maior parte da produção de sementes é absorvida por indústrias de bebidas para a produção de refrigerante sabor guaraná e xarope/extrato, estes últimos utilizados para complementar o conteúdo de cafeína em outras bebidas (ATROCH, 2009; KURI, 2008). O interesse para a indústria farmacêutica e de cosméticos está ligada às diversas funções farmacológicas descritas, como ação antimicrobiana, antioxidante, anti carcinógenas, cognitivas, podendo ser amplamente utilizadas. Essas ações estão relacionadas a presença das metilxantinas e taninos (MARQUES et al, 2019).

Apesar das indústrias de beneficiamento do guaraná estar instaladas no estado do Amazonas, a maior produção agrícola desta cultura é do estado da Bahia (61% do total nacional) e não do Amazonas (28%). No ano de 2020 a produção brasileira de guaraná foi de 2.704 t, em 10.405ha plantados (IBGE, 2021). Adicionalmente, a produtividade dos guaranazeiros no Amazonas é a mais baixa (170 kg. ha⁻¹) dentre os estados produtores (a média dos demais estados é de 299 kg. ha⁻¹) (IBGE, 2021). No estado do Amazonas, a maior parte da produção é vinda de grandes produtores, os grupos corporativos possuem plantações variando de 80 a 500 ha (ATROCH 2001; 2002). Na cidade de Maués (maior produtor de guaraná do Amazonas) existem cerca de 1600 agricultores familiares que cultivam guaraná, com uma área média de três ha, essas propriedades representam 35% da área plantada e são responsáveis por 35% da produção de guaraná do estado (ATROCH; NASCIMENTO FILHO, 2018).

3.1.2. Características do cultivo e manejo da cultura no Estado

Estudos referente a melhoramento genético do guaranazeiro são realizados há décadas pela Embrapa Amazônia Ocidental, no intuito de estabelecer cultivares produtivas em escala comercial. Em 1999 foram selecionados, entre os clones estudados, duas cultivares para recomendação de cultivo são eles BRS- Maués e BRS- Amazonas, baseados na produtividade, adaptabilidade e tolerância a doenças, um ano mais tarde outros dez clones, também selecionados pela Embrapa foram recomendados para o Estado (EMBRAPA, 2003).

A cultivar BRS- Maués é a mais cultivada na região, suas características morfológicas principais são, ramos longos, em média 119 cm, possui pelos menos quatro ramos e 28 folhas, em plantas com um ano. Tem tolerância à antracnose (*C. guaranicola*) e ao superbrotamento (*Fusarium decemcellulare*), com produtividade média de 1,55 kg de sementes torradas por planta/ano e um percentual de cafeína de 4,04% e o ciclo reprodutivo leva em média 130 dias desde intumescência da gema floral até o completo amadurecimento dos frutos. (NASCIMENTO FILHO et al, 1999).

Apesar dos esforços constantes no melhoramento da cultura a baixa produtividade dos guaranazeiros no Amazonas é uma realidade e pode estar diretamente ligada com a idade dos plantios e a falta de adoção das práticas de manejo pelos pequenos produtores (CARDOSO, 2010). No entanto, tem havido um esforço para a modernização de sistema de cultivo do guaraná visando à melhoria nos aspectos produtivos e sanitários, com o objetivo de aumentar a produção por hectare (TRICAUDI et al, 2016).

No Estado do Amazonas o cultivo de guaranazeiro apresenta grande potencial socioeconômico para a agricultura e sua exploração comercial tem sido incentivada por meio do uso de novas tecnologias (ALBERTINO et al, 2012). Entre os principais entraves para o crescimento da cultura no Estado, os aspectos fitossanitários ganham destaque principalmente os relacionados à antracnose. Ainda que essa seja uma das principais, no entanto não podemos deixar de lado dentre eles o controle de plantas daninhas. Estas plantas representam grandes perdas para culturas em geral, exigindo então o uso de práticas de controle. Nos sistemas de manejo convencional este controle é realizado com métodos manuais, mecânicos e químicos. O manejo químico por sua vez, destaca-se devido à conveniência na aplicação e resposta rápida no controle. (ABBAS et al, 2018).

O uso de herbicidas apresenta-se como uma das opções mais eficientes e econômicas para o controle de plantas daninhas, principalmente em grandes áreas de cultivo, uma vez que

os outros métodos se tornam inviáveis, em especial durante períodos chuvosos ou mesmo sob irrigações, que impulsionam o crescimento das plantas infestantes (ALVINO et al, 2011). No entanto, o uso inadequado destes produtos pode afetar a fisiologia e o crescimento de organismos não alvos, mesmo em aplicação dirigida às plantas daninhas, os herbicidas podem ser arrastados pelo vento e atingir outras culturas, num processo conhecido por deriva (SANTOS et al, 2016; SILVA et al, 2016). Alguns fatores como tipo, pressão e distância do aplicador e ambientais (umidade, temperatura e velocidade do vento) precisam ser monitorados no momento da aplicação para que danos causados pela deriva sejam evitados, uma vez que o uso de herbicidas não seletivos vem ganhando espaço nas lavouras em geral (GODINHO JUNIOR et al, 2017). No Brasil, os herbicidas são a classe de defensivos agrícola mais vendida (ALBUQUERQUE et al, 2016).

São escassos os estudos quanto ao manejo de plantas daninhas em guaranazais, mas muitas espécies de plantas daninhas são hospedeiras alternativas de doenças do guaranazeiro, inclusive da principal para a cultura que é a antracnose (MILÉO et al, 2007), além do que a competição causada por essas espécies reduz em até 50% a produtividade de plantas de guaraná (SOARES et al, 2019) além do que, são plantas com características agressivas de crescimento e podem até expelir compostos alelopáticos que podem interferir no desenvolvimento e produtividade do guaranazeiro, desta maneira o manejo de plantas daninhas é indispensável.

Manejes alternativos de controle de plantas daninhas vêm sendo estudados, com a intenção de eliminar os manejes convencionais e melhorar o sistema de cultivo do guaranazeiro e os resultados são promissores (GAMA et al, 2020), mas há um longo caminho a ser percorrido para consolidação de um novo método. Atualmente o uso de herbicidas possui vantagens em relação ao controle mecânico, praticado nos guaranazais do Amazonas, devido ao clima quente e úmido da Região, que favorece a infestação e a competição por plantas daninhas. No entanto, o uso inadequado destes produtos pode afetar a fisiologia e o desenvolvimento de organismos não alvos (SILVA et al, 2016).

3.2. Deriva de herbicida

Mesmo em aplicação dirigida às plantas alvo, os herbicidas podem ser arrastados pelo vento e atingir outras culturas, por deriva (SANTOS et al, 2016). Muitos fatores no momento

da aplicação precisam ser observados para que danos como estes sejam evitados, uma vez que a aplicação de herbicidas não seletivos vem ganhando espaço nas lavouras em geral (QUINN; TRINKLEIN, 2016). Experimentos revelam que o uso excessivo de glifosato induz estresse em plantações e em plantas não-alvo (SINGH et al, 2020), estes estresses interferem no desenvolvimento das plantas, com alterações na morfologia, fisiologia e no acúmulo de massa, que geram prejuízos na produção. (YAMASHITA et al, 2009; PEREIRA et al, 2011). Estas alterações são inibição do crescimento, redução do número de folhas, alteração no desenvolvimento de raízes e no incremento de biomassa (GOMES et al, 2014; BAGATA et al, 2015; RUSIN et al, 2017), e as alterações estão sujeitas as características intrínsecas de cada espécie e sua ação pode ser a mais variada possível.

Não é autorizado para a cultura do guaranazeiro, no entanto um estudo apresenta que é um método eficiente para o manejo de plantas daninhas na cultura do guaranazeiro (FONTES; NASCIMENTO FILHO, 2007), além do mais, muitos produtores locais fazem uso desse herbicida para o controle de plantas daninhas em cultivos de guaraná (dados não publicados). E em casos de altas infestações de espécies agressivas de plantas daninhas, existe uma recomendação de uso do herbicida glifosato. O que não se sabe é qual o limite para o uso de produtos como este para a cultura do guaranazeiro e qual o real impacto do uso inadequado.

3.3. O uso do glifosato

O glifosato é um herbicida de amplo espectro, utilizado para o controle das mais variadas espécies de plantas daninhas em diversos cultivos agrícolas, no entanto a aplicação feita de forma incorreta pode causar problema aos organismos não alvo, através da deriva (CEDERLUND, 2017). É muito utilizado nas lavouras brasileiras, principalmente em culturas transgênicas com resistência a esse produto, como a Soja Roundup, assim aspectos relacionados à toxicologia, ecotoxicologia, facilidade de manuseio, eficácia de controle e a relação custo-benefício, vêm favorecendo ainda mais sua utilização (MORAES; ROSSI, 2010; BAYLIS, 2000).

O glifosato é o herbicida mais usado no mundo, cerca de 130 países têm autorização para o uso deste ingrediente ativo (i.a), tendo uso agrícola e não agrícola, no Brasil é autorizado para cerca de 50 culturas, desde tuberosas a florestais. O seu uso vai além do

controle de plantas daninhas, em alguns casos os produtores usam taxas baixas do herbicida e ele age como regulador de crescimento de plantas e dessecante (CETESB, 2021).

O glifosato e seus sais são o ingrediente ativo mais vendido e, portanto, o mais usado no Brasil. Em 2020 foram vendidos 246.017,51t do i.a. enquanto o segundo mais vendido vendeu um pouco mais de 57 t, (IBAMA, 2021), diferença discrepante, que solidifica a importância do herbicida glifosato nas áreas de produção do país. Em relação ao consumo de agrotóxicos, destacamos a região norte do país, que é a que menos consome agrotóxicos, mesmo tendo Estados bem colocados em relação à produção agrícola do país, no ano de 2020 a região consumiu 34.511,30 t de i.a. O Amazonas consumiu de agrotóxicos e afins, neste mesmo ano 181 t, sendo que 163 t desse total foram de herbicidas (IBAMA, 2021).

Devido ao alto consumo do herbicida glifosato no mundo, também são inúmeros especulações e estudos voltados ao seu impacto, tanto ambiental quanto na saúde pública e não faltam estudos relacionados a seus impactos, em geral negativos, principalmente em relação à contaminação ambiental.

3.3.1. Ação do glifosato

O glifosato [N-(fosfonometil) glicina] é um herbicida do tipo sistêmico organofosforado, não seletivo, que é capaz de afetar várias espécies de plantas, ele é absorvido pelas folhas e depois translocado através da planta a partir do ponto de contato em direção ao sistema radicular (DUKE al, 2003; MONQUERO et al, 2004). Aspectos relacionados à toxicologia, ecotoxicologia, facilidade de manuseio, eficácia de controle e a relação custo-benefício, vêm favorecendo ainda mais sua utilização (MORAES; ROSSI, 2010).

O glifosato atua no metabolismo vegetal pela inibição da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS – do inglês 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase) (Figura 1), enzima chave da biosíntese de ácido chiquímico, e desta forma toda a cascata metabólica abaixo desse composto, a chamada rota do chiquimato, é desregulada. A inibição da rota do chiquimato prejudica diretamente a síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, que por sua vez podem afetar a síntese de compostos secundários que tem esses aminoácidos como precursores, como exemplo os alcalóides, classe de compostos secundário a qual as metilxantinas fazem parte

(ASHIHARA et al, 2017; MOHR et al, 2007; SIEHL, 1997). Ao ser degradado nas plantas, o glifosato pode ser metabolizado em sarcosina através da atividade da CP liase (CHEN et al, 2009) ou em ácido aminometilfosfônico (AMPA), por meio da glifosato oxidorreductase (GOX) (REDDY et al, 2004). O AMPA por sua vez é o principal metabólito encontrado, proveniente da degradação do herbicida, e assim como o glifosato induz o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS) em folhas, alterando a fotossíntese (GOMES, 2016).

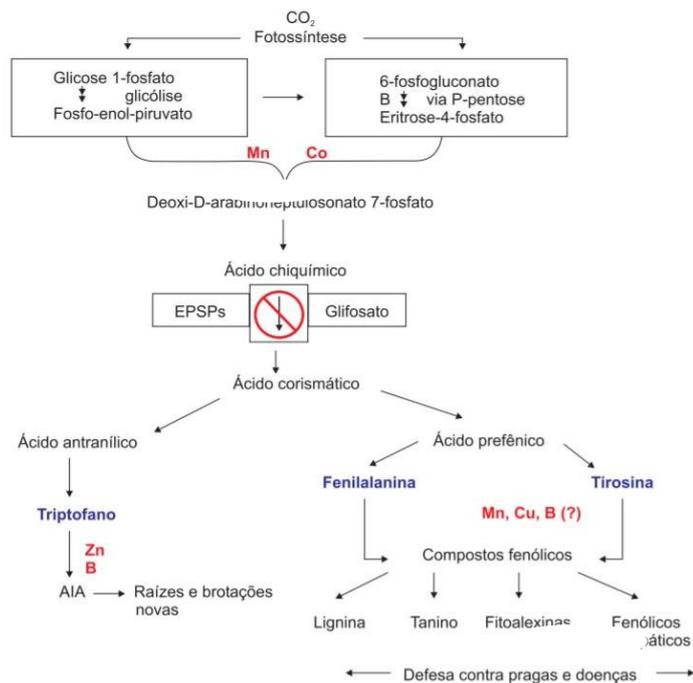


Figura 1. Representação da ação do glifosato sobre as principais vias metabólicas. Adaptada de IPIN 2007.

3.3.2. Características de fitotoxidez

A fitotoxidez é a alteração no desenvolvimento de uma planta ou plântula em decorrência do efeito tóxico de uma determinada substância, que pode atuar de forma sistêmica alterando o metabolismo e a fisiologia da planta, e essa alteração pode ou não acontecer de forma sintomática e sim na parte reprodutiva, ou seja, na produção da semente (GARCIA et al, 2021).

Ao afetar a rota do ácido chiquímico, que é responsável por etapas da síntese dos aminoácidos aromáticos como triptofano, fenilalanina e tirosina, o comprometimento destas rotas elevam os níveis de amônia fitotóxica, glutamina e glutamato o que provocando amarelecimento que ocorre a partir das folhas mais novas, até as mais velhas, seguido de murcha, necrose e conseqüentemente a morte das plantas em um período de 4 a 20 dias, dependendo da espécie e sanidade das plantas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Além disso, o bloqueio da rota do chiquimato também afeta a síntese do ácido indolilacético (AIA), hormônio vegetal necessário para expansão celular, manutenção da dominância apical e muitos processos regulatórios e de outros hormônios vegetais como síntese de clorofila, síntese de fitoalexinas e de lignina, entres outros (YAMADA; CASTRO, 2007). Embora o mecanismo de ação de glifosato não seja totalmente conhecido, sabe-se que o produto altera processos fisiológicos como a atividade enzimática, a síntese de proteínas, a respiração e, finalmente, a fotossíntese. E além dos sintomas comuns de fitotoxidez causado pelo glifosato é possível atribuir outros sintomas, são eles enrugamento das folhas e malformações (especialmente nas áreas de rebrotamento), necrose de meristema e de rizomas e estolões de plantas perenes.

Em contraste com muitos herbicidas de contato, os sintomas fitotóxicos de danos pelo glifosato geralmente desenvolvem-se lentamente, com a morte ocorrendo após vários dias e mesmo semanas. Devido ao longo tempo requerido, a estabilidade in vivo do glifosato é uma importante característica que contribui para seus efeitos fitotóxicos irreversíveis. Nas plantas, o glifosato é muito estável, com pequena degradação detectável ocorrendo em longos períodos (GRUYS; SIKORSKI, 1999).

3.3.3. *Efeitos da deriva do glifosato*

A aplicação do glifosato interfere na organização do aparelho fotossintético, metabolismo do carbono, nutrição mineral e eventos oxidativos são comumente relatados, e ainda pode ocorrer perturbação de interações da planta com microrganismos (GOMES et al, 2014). As respostas fisiológicas ao glifosato são dependentes da espécie e do *status* da planta, como condição fitossanitária, hídrica, nutricional, idade, estágio fenológico e outros, e obviamente da dose do produto aplicado (GOMES et al, 2014; JOHAL; HUBER, 2009; MONQUERO et al, 2004).

Muitos estudos têm buscado compreender os efeitos de doses de glifosato em plantas jovens de diversas espécies. Entre os efeitos causados estão o incremento ou redução das taxas de trocas gasosas e aqueles associados à capacidade fotoquímica das plantas (CORRÊA; ALVES, 2010; CONCENÇO et al, 2014; TORRES et al, 2012; FERREIRA et al, 2015; SILVA et al, 2016). Este estresse causado pelo desbalanço fotoquímico causa consequentemente um estresse oxidativo. Estudos com mudas de tomate, girassol e amendoim submetidos a doses de glifosato, tiveram um aumento do conteúdo de fenóis totais, redução dos pigmentos fotossintéticos, carboidratos, proteínas e aminoácidos livres. E ainda mudanças na atividade antioxidante comprovada através do monitoramento da POD, CAT e MDA (VITAL et al, 2017; LANGARO, et al, 2014; RADWAN; FAYEZ, 2016). Outros prejuízos observados por doses de glifosato estão relacionados ao desenvolvimento inicial de algumas espécies. Inibindo o crescimento do número de folhas, o desenvolvimento de raízes e incremento de biomassa (YAMASHITA, et al, 2009; PEREIRA, et al, 2011; RUSIN et al, 2017).

3.4. Efeito do herbicida no aparato fotossintético.

Um dos principais mecanismos para o desenvolvimento das plantas é a relação das trocas gasosas, através deste mecanismo ocorre a distribuição dos nutrientes, refrigeração do sistema e a entrada de CO₂ sendo essencial para a fotossíntese e consequentemente na produtividade das plantas. As trocas gasosas ocorrem em todas as partes da planta, nas folhas esse mecanismo está intimamente ligado ao movimento estomático, sendo que mais de 90% do CO₂ e vapor de água que são trocados entre a planta e o ambiente é feito através dos estômatos (KERBAUY, 2006), ou seja, quaisquer alterações nas trocas gasosas implicam diretamente no desenvolvimento e produtividade das plantas.

É comprovado que a ação do glifosato diminuiu teor de clorofila e das taxas de fotossíntese em plantas, por meio do acúmulo de EROS, induzindo o dano oxidativo através da peroxidação lipídica, o aumento das EROS provoca a degradação da clorofila e diminuições invariáveis na fotossíntese, além do mais o próprio metabolito de degradação do glifosato o AMPA, também ao acumular-se perturba a biossíntese da clorofila (GOMES et al, 2016).

O estresse químico pode ser causado pelos mais diversos produtos utilizados diretamente nas plantas (Fungicidas, Inseticidas e Acaricidas) ou indiretamente (Herbicidas e Nematicidas). Os efeitos indiretos causados pelos herbicidas têm sido constantemente observados em pesquisas, pois implicam diretamente no aparato fotossintético e seu funcionamento tanto em espécies agrônômicas como em florestais (ALVES, 2000; GRAVENA, 2006; PEREIRA, 2010; SILVA, 2009).

Estas implicações estão relacionadas tanto ao incremento com a redução de taxas fotossintéticas, de transpiração, condutância estomática e concentração interna de carbono. (CONCENÇO, 2014). Alguns estudos também relatam o prejuízo no rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm), observado por meio da fluorescência da clorofila a, e no teor de clorofila total, observados pelo índice SPAD em algumas culturas, prejudicando também a capacidade fotossintética (CORREA; ALVES, 2010).

Uma vez que estas funções são alteradas observa-se prejuízo no desenvolvimento das espécies. Por isso a avaliação das trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos é uma fonte importante de respostas para explicar os estresses bióticos e abióticos, como o estresse químico.

3.5. Herbicida e doenças das plantas

É importante entender que o manejo das pragas, nas culturas em geral, funciona de maneira integrada, ou seja, apesar de haver práticas individuais para cada categoria (plantas daninhas, insetos, patógenos, nematoides, etc.) faz-se necessário compreender o todo. Muitos estudos têm mostrado que fitopatógenos são afetados por outras pragas e suas práticas de manejo e a aplicação de herbicidas tem sido frequentemente citada como um exemplo do quanto o manejo afeta patógenos de plantas e atua no desenvolvimento de doenças em vários sistemas de cultivo. A ação dos herbicidas pode afetar também organismos não alvo, como por exemplo, na inibição da germinação de esporos ou o crescimento micelial, e nas defesas das plantas, pois altera níveis de fitoalexinas e nos processos fisiológicos importantes na defesa (SANYAL; SHRESTHA, 2008).

Esta forte atividade biológica dos herbicidas, contra as plantas, atua de forma direta e indireta na maioria dos mecanismos e interações em torno das espécies e não apenas na susceptibilidade a doenças como também com ação direta sobre patógenos de plantas, uma

vez que em muitos microorganismos há a presença da enzima EPSPs. Ainda assim não há consenso quanto ao limite entre os prejuízos ou benefícios do glifosato sobre os fitopatógenos (DUKE, 2007). Então baseado em estudos assim além dos prejuízos diretos do produto precisa-se levar em consideração a possível quebra nas defesas da planta que podem gerar prejuízos ainda maiores.

Para a cultura do guaranazeiro, a tolerância a doenças por parte das cultivares é um fator essencial para o sucesso do cultivo. Um dos maiores gargalos para a cultura no Estado é justamente a ocorrência de antracnose, a exemplo a cultivar BRS-Maués que, apesar de ser tolerante a antracnose, não pode expressar seu potencial produtivo (600 kg. ha⁻¹ de semente), pelas altas infestações de antracnose em plantios (ARAÚJO et al, 2007). A comunidade de plantas daninhas em guaranazais tem potencial de hospedar o fungo (*C. guaranicola*) (MILÉO et al, 2007), assim o manejo de plantas daninhas é indispensável à cultura. Por outro lado, o uso de controle químico pode agravar ou ainda quebrar mecanismos de proteção da planta de guaranazeiro.

3.6. Prolina e o estresse químico

Prolina é um aminoácido sintetizado a partir da rota do glutamato e da arginina em condições fisiológicas normais em plantas, sendo a rota glutamato o caminho preferencial quando em condições de estresse (CHEN; KAO, 1993). É importante ressaltar que os inúmeros trabalhos que envolvem a análise de aminoácidos estão voltados a estresses hídricos e salinos (MONTEIRO, 2014). Todavia, o acúmulo deste aminoácido tem sido utilizado, em geral, como indicador de estresses bióticos e abióticos (SILVA, 2010). Em espécies submetidas à interferência por plantas daninhas, o acúmulo de prolina apresentou-se como excelente indicador para estabelecer o período de capina (MILÉO, 2014; GONÇALVES, 2015). Então, a quantificação do aminoácido pode ser usada para avaliar a resposta de outras espécies submetidas aos mais diversos estresses, como por exemplo, o químico.

4. METODOLOGIA

4.1. Material vegetal e Condições de crescimento

As mudas de guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) cultivar BRS-Maués utilizadas nessa pesquisa encontravam-se sob condições de viveiro com 30% de irradiância e foram transferidas para casa de vegetação com controle de umidade e temperatura. Após um ano de aclimação foram submetidas a dois processos de transplântio para garantir uniformidade de tamanho, aspectos sanitários e estado nutricional, reduzindo interferência externa aos tratamentos.

No segundo transplântio, as mudas foram transferidas para sacos de polietileno de 10 kg de substrato, preparado com terriço e areia, na proporção de 6:1, com adubação de base e cobertura, realizadas conforme Malavolta (1980) e Gonçalves (1995), com modificações, pois não existem recomendações específicas para a cultura do guaranazeiro. A partir das análises químicas do solo e nutricionais foliares (Tabela 1), foi estabelecida uma adubação, levando em consideração as propostas de adubação para espécies florestais e recomendações gerais às culturas.

Tabela 1. Resultado da análise química e física do terriço e folhas das mudas de guaranazeiro. Manaus-Am, 2018.

Substrato										
pH	m	V	H + Al	T	T	SB	Ca	Al	Mg	K
H ₂ O	%		cmolc dm ⁻³							
4,4	35	12	3	1,63	8,86	1,06	2,6	0,57	0,33	0,08
Areia Total	Silte	Argila	M.O	P	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S
g Kg ⁻¹		dag Kg ⁻¹		mg dm ⁻³						
325	25	650	3,3	6,3	0,21	1,4	75	1,2	3,2	45
Folhas										
N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	B	Cu	Fe
g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					
17,3	3,1	10,9	5,1	1,6	1,5	41,1	31,4	68,1	5,9	172,3

Ao substrato foram adicionados 2,13 kg de calcário dolomítico por m^3 e após quinze dias de incubação os adubos foram incorporados. As fontes e concentrações usadas foram uréia (250g de N. m^{-3}), superfosfato triplo (900g de P_2O_5 . m^{-3}), cloreto de potássio (180g de K_2O . m^{-3}) e FTEBR12 (200g de micronutrientes. m^{-3}). Após as adubações, as plantas foram submetidas aos tratamentos com doses de glifosato.

A casa de vegetação onde foram acondicionadas as mudas tinha temperatura e regas controladas. Durante o experimento a umidade relativa média do ar na casa de vegetação foi de 74%, temperatura de 31°C e irradiância de $565 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As mudas eram submetidas a dois turnos de rega por aspersão ao dia, com duração de 10 min cada, no entanto eram observadas as mudanças de tempo (Chuva) e então, considerados aumento ou redução do período de rega.

4.2. Informações sobre o herbicida e pulverização

O herbicida utilizado foi o Glifosato PESTANAL® (grau padrão analítico), e as concentrações foram com base na máxima recomendada para a dessecação de área, que consiste em 6L do produto comercial (p.c) por hectare (ha), considerando infestações de plantas daninhas agressivas em campo. A base de ácido equivalente (ae) foi a concentração de 360g/L, encontrada nos produtos comerciais disponíveis no mercado.

A aplicação das doses atendeu a todas as premissas estabelecidas de temperatura, vento e umidade relativa do ar para pulverização. Para isto foi utilizado um pulverizador costal elétrico (Turia Duo 18 L) com bico tipo leque 110.02. Para a aplicação do herbicida, as mudas foram dispostas separadamente, conforme cada tratamento.

Após o período de 2 horas, foram devolvidas à casa de vegetação, dispostas conforme a casualização adotada no experimento. Após a aplicação a rega automática foi desativada por um dia e realizada manualmente.

4.3. Delineamento experimental

Foram realizadas duas aplicações do herbicida glifosato, sendo a primeira em fevereiro/2019 e a segunda em Junho/2019. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado. Na primeira aplicação foram sete tratamentos (doses) avaliados em seis períodos (7x6), com quatro repetições.

As doses utilizadas foram 0, 126, 252, 540, 1.080, 2.160 e 3.240 g equivalentes de ácido (ae. ha⁻¹), mais espalhante adesivo (AGRAL®, Syngenta) na concentração de 0,5%, em relação à calda. As variáveis respostas foram coletadas aos 0, 3, 7, 14, 30 e 60 dias após a aplicação (DAA) do herbicida. As mudas de guaranazeiro que sobreviveram à primeira aplicação, foram aclimatadas e receberam uma nova adubação, depois de recuperadas foram novamente submetidas a aplicação de glifosato (Segunda aplicação).

Na segunda aplicação foram testadas cinco doses do herbicida (0, 126, 252, 540, 1.080 g ae. ha⁻¹). Essas concentrações correspondiam às doses em que mais de 50% dos indivíduos sobreviveram na primeira aplicação de glifosato. Após a aplicação, as plantas foram avaliadas em seis períodos (0, 3, 7, 14, 30 e 60 DAA). Cada tratamento continha quatro repetições. Os dados de biomassa seca foram coletados ao final dos 60 DAA para as duas aplicações, observando-se a diferença entre as doses.

Para cada tratamento (dose) havia 24 indivíduos, divididos em três grupos de oito plantas cada (Figura 2): um grupo para as avaliações de biometria, outro para as avaliações de trocas gasosas, fitotoxidez e antracnose e o terceiro grupo para as coletas de material vegetal destinado à análise em laboratório. Essa divisão foi feita para evitar interferência no momento de coleta das variáveis fisiológicas, as quais exigem pouca ou nenhuma perturbação à planta no momento da leitura dos dados com o analisador de gases (IRGA – Infrared Gas Analyzer).

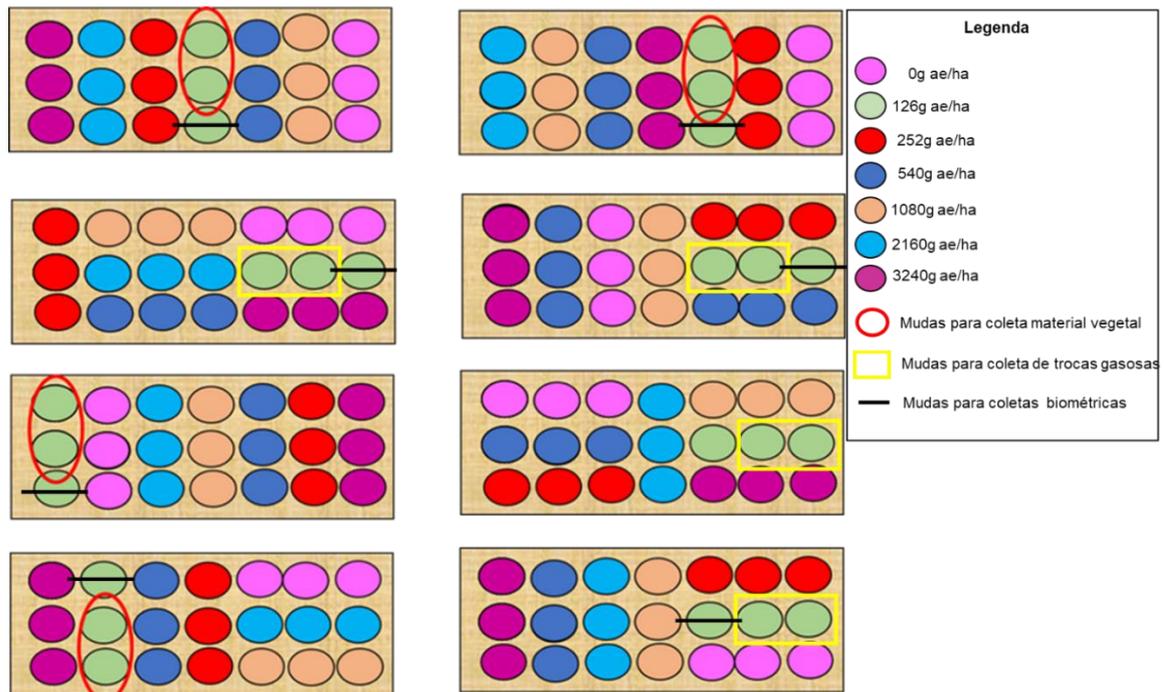


Figura 2. Representação da distribuição dos tratamentos com glifosato em mudas de guaranazeiro, em casa de vegetação, Manaus-AM, 2019.

4.4. Avaliações biométricas

As variáveis biométricas estudadas foram: altura (cm) das mudas, a partir da base até a inserção da primeira folha; diâmetro do colmo (cm), medido com paquímetro digital; área foliar (cm²), mensurada com um medidor de área foliar portátil (LICOR 3000C); e biomassa seca da parte aérea e da raiz (g). Estas medições foram realizadas em todos os períodos de avaliação. Para a determinação da biomassa seca, o material vegetal foi coletado aos 60 dias em cada aplicação e seco em estufa de circulação forçada de ar, a 70°C, até massa constante.

4.5. Trocas gasosas foliares

A fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci) e a taxa de transpiração foliar (E) foram medidas utilizando um analisador gases a infravermelho em sistema aberto (IRGA – Infrared Gas Analyzer), dotado de uma câmara de área amostral de 2 cm², modelo IRGA LI-6800, (LiCor, Lincoln, NE, USA) com fluorômetro

acoplado. As medições foram realizadas no penúltimo folíolo da terceira folha completamente expandida, contando a partir do ápice, em quatro repetições por tratamento no período, entre 7:00 e 15:00h. A densidade de fluxo de fótons (PPFD) era de $1200 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em condição padrão de CO_2 de 400 ppm, com controle da temperatura e umidade da câmara foliar a 27°C e 60%, respectivamente, conforme metodologia desenvolvida para guaranazeiro pela equipe de pesquisa (dados não publicados). A partir dos dados obtidos pelo IRGA foi calculada a eficiência no uso da água (EUA) (A/E) (MACHADO et al, 2005).

4.6. Avaliação da severidade da antracnose

A avaliação da severidade da antracnose foi realizada com base na escala diagramática proposta por Pereira e Araújo (2009) (Figura 3), em todos os períodos de avaliação, a partir da ocorrência da doença em folhas completamente expandidas na região central das mudas, apenas uma folha por muda foi avaliada. Para confirmação da doença foi aplicado o Postulado de Koch e, posteriormente, a inoculação em mudas de guaranazeiro para validação da patogenicidade do fungo.

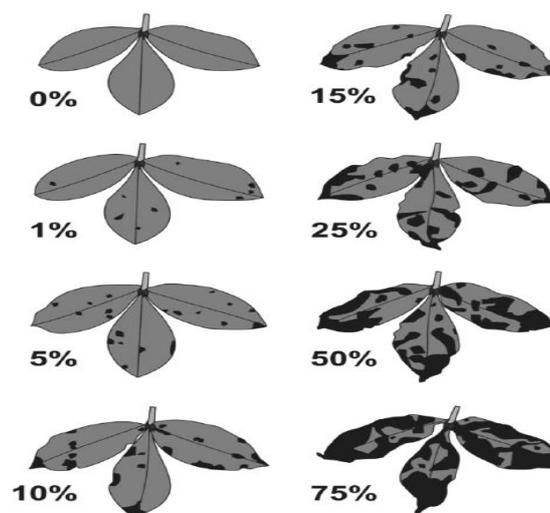


Figura 3. Escala diagramática para avaliação da severidade da antracnose do guaranazeiro.

4.7. Avaliação da fitotoxidez

As avaliações de fitotoxicidade foram realizadas a partir de observações visuais de fitointoxicação de plantas, atribuindo-se notas que variam de zero para ausência de sintomas e 100 para morte da planta (SBCPD, 1995), conforme a tabela 2. As observações eram realizadas na planta inteira, desde as ponteiros até folhas mais velhas e o caule.

Tabela 2. Notas utilizadas de verificação visual da fitointoxicação causada pelo herbicida glifosato em plantas.

Conceitos	Notas	Observação
Muito leve	0-5	Sintomas fracos ou poucos evidentes. Nota zero quando não se observam quaisquer sintomas nas plantas.
Leve	6-10	Sintomas nítidos, entretanto, de baixa intensidade.
Moderada	11-20	Sintomas nítidos, mais intensos que na classe anterior.
Aceitável	21-35	Sintomas pronunciados, mas totalmente tolerados pela planta.
Preocupante	36-45	Sintomas mais drásticos que na categoria anterior, mais ainda passíveis de recuperação.
Alta	46-60	Danos irreversíveis, com redução drástica no desenvolvimento da planta.
Muito alta	61-100	Danos irreversíveis muito severos. Nota 100 para a morte da planta.

4.8. Determinação de pigmentos fotossintéticos

Para a quantificação de clorofilas (a e b) e de carotenóides totais, 10 mg do material foliar congelado foi macerado com a ajuda de nitrogênio líquido e extraídos em etanol a 96%, a 4°C, protegidos da luz, por 24 horas. As amostras foram centrifugadas e a partir de alíquotas do sobrenadante, foram lidas as absorvâncias a 470, 649 e 665 nm em um espectrofotômetro UV-VIS (Shimazu Scientific Instruments, Columbia, MD, USA). As concentrações de clorofilas e carotenóides totais foram determinadas segundo equações descritas por Lichtenthaler e Wellburn (1983):

$$[\text{Clorofila a}] = (13,95 \times \text{Abs}_{665}) - (6,88 \times \text{Abs}_{649})$$

$$[\text{Clorofila b}] = (24,96 \times \text{Abs}_{649}) - (7,32 \times \text{Abs}_{665})$$

$$[\text{Carotenóides totais}] = [(1000 \times \text{Abs}_{470}) - (2,05 \times \text{Abs}_{649}) - (114,8 \times \text{Abs}_{665})] / 245$$

4.9. Determinação de prolina

A prolina livre das folhas foi quantificada de acordo com Bates et al, (1973) com adaptações. O procedimento consistiu na homogeneização manual de 500 mg de biomassa seca de folhas de guaranazeiro, com 10 mL de ácido sulfosalicílico a 3% e centrifugação a 3000 rpm por 10 min. Posteriormente, 2 mL da solução de ácido ninhidrina foi homogeneizado com 1mL do sobrenadante e 2 mL de ácido acético glacial, por 60 minutos em banho-maria à temperatura de 100°C. Após esta reação 4mL de tolueno foram adicionados e agitados por 15 a 20 segundos. A leitura de absorvância das amostras foi mensurada no comprimento de onda 520 nm, utilizando-se o espectrofotômetro. A concentração foi determinada a partir da curva de prolina calculada a partir dos resultados de um ensaio preliminar.

4.10. Análise estatística

Todos os dados foram submetidos aos pressupostos quanto a normalidade e homogeneidade e quando não normais foram transformados. Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade, quando significativos, foram realizados testes de regressão com a escolha da equação de melhor ajuste aos dados originais combinados à explicação biológica da característica.

Para os dados de severidade de antracnose, antes da análise de variância, estes foram ajustados e a partir do ajuste com base no valor do coeficiente de variância, plotados em gráfico com a média da porcentagem da antracnose versus o tempo, e expressos em curva de progresso da doença a fim de representar a incidência da doença por tratamento (dose) ao longo do período avaliado.

Para os dados de fitotoxidez foi realizado o teste de correlação de Pearson para avaliar a magnitude da correlação dos fatores dose e tempo em relação a fitotoxidez, os dados também foram submetidos a análise de variância e testes de regressão.

Todas essas análises foram realizadas com auxílio do software livre R (versão 4.0.2), utilizando-se os pacotes adequados para cada caso.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Características Biométricas

Na primeira aplicação do herbicida, a análise de variância apresentou interação significativa entre os fatores dose e tempo para todas as características biométricas, exceto biomassa seca da raiz. O fator dose, isoladamente, apresentou significância para todas as variáveis analisadas, com exceção da biomassa seca da raiz. Para as características com interações significativas foi aplicada a análise de regressão. Na segunda aplicação, não houve interação entre as variáveis dose e tempo para nenhuma das características analisadas. No entanto, isoladamente, o tempo foi significativo para número de folha e diâmetro do caule, enquanto a dose influenciou significativamente a altura, a área foliar e a biomassa da parte aérea. (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da Anova para número de folhas (NF), altura das mudas (ALT), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF) e da biomassa seca da raiz (BSR) e biomassa seca da parte aérea (BPA) de mudas de guaranazeiro (Cultivar BRS- Maués) submetidas a doses de glifosato, avaliadas até 60DAA. Manaus-Am, 2020.

FV	GL	QM			
		NF	ALT (cm)	DC (cm ³)	AF (cm ²)
1ª Aplicação					
Tempo	5	14,34*	10,60*	58,59*	555,88*
Doses	6	15,07*	12,81*	39,12*	1193,52*
Tempo x Doses	30	13,56*	11,05*	44,13*	523,13*
Resíduos	126	0,1425	0,15	2,24	114,15
CV%		13,94	22,51	12,91	19,43
2ª Aplicação					
Tempo	5	68,03 *	3,42 ns	29,81 *	3025497 ns
Doses	4	42,92 ns	30,50 *	6,90 ns	8294041 *
Tempo x Doses	20	18,83 ns	2,07 ns	3,52 ns	2232535 ns
Resíduos	90	19,99	4,49	4,29	3329078
CV%≤		44,63	50,72	15,45	36,91
FV	GL	QM			
		BRS g	BPA g		
1ª Aplicação					
Doses	6	11,53 ns	1086,64 *		
Resíduos	22	321,53	90,30		
CV%					
2ª Aplicação					
Doses	4	742,32 ns	9183,3*		
Resíduos	16	991,94	629,26		
CV%					

* = significativo ao nível 5% de probabilidade; ns= não significativo.

Doses menores utilizadas em pesquisas com espécies perenes, a exemplo do café, na pesquisa de França et al, (2010), a maior dose aplicada (460,8g ae ha⁻¹) reduziu de forma significativa as características biométricas das mudas. Em mudas de seringueira a dose de 345,6 g ae ha⁻¹ proporcionou redução na altura e diâmetro do caule nas plantas (FARIAS et al, 2012), e em mudas de eucalipto, doses de glifosato a partir de 720 g ae ha⁻¹ proporcionaram redução em características de crescimento para a espécie (CERVEIRA JUNIOR et al, 2020).

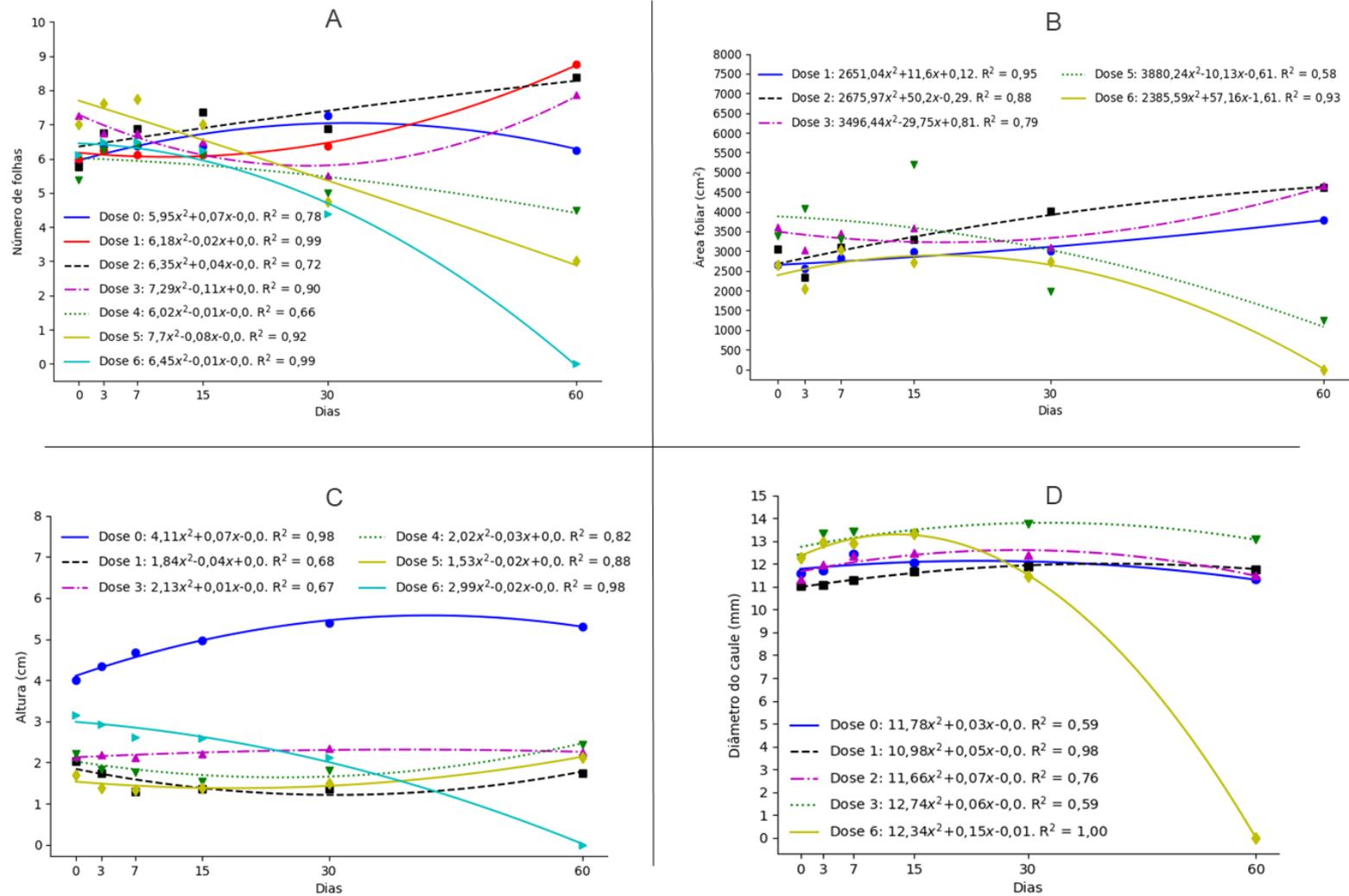
Doses menores que as utilizadas neste estudo já haviam sido testadas em cultivares de guaranazeiro e nenhuma alteração nas características fisiológicas básicas foram apontadas (LEITE et al, 2020), desta maneira, testar doses maiores de glifosato em tempo maior de observação permite compreender melhor a ação deste produto para a espécie, uma vez que o guaranazeiro é semi-domesticado e pouco se conhece sobre seu metabolismo fisiológico em relação a ação de herbicidas.

5.5.1. Primeira aplicação

Para este estudo, na primeira aplicação, foram usadas as doses 0g, 126g, 252g, 540g, 1.080g, 2.160g e 3.240g ae. ha⁻¹, representadas em gráfico como doses 0, 1, 2, 3, 4, 5 e 6 respectivamente, avaliadas ao longo de 60 dias. Os gráficos apresentam apenas as equações com o coeficiente de determinação =>,5.

As doses 5 e 6 reduziram o número de folhas (NF) a partir dos 7 DAA e, conseqüentemente, a área foliar (AF) das mudas de guaranazeiro. Aos 60 DAA a dose 5 reduziu em 57% o NF e 63% a AF, enquanto a dose 6 reduziu em 100% o NF e AF em relação ao controle (Figura 4. A e B), e prejudicou a altura da planta e o diâmetro do caule do guaranazeiro, levando a morte das mudas (Figura 4. C e D).

A biomassa seca da parte aérea (PA) foi reduzida em 34% com a dose 2.160g ae. ha⁻¹, e cerca de 55% para a dose 3.240g ae. ha⁻¹, em relação ao controle. Este resultado é coerente com o obtido em NF e AF para estas doses aos 60 DAA. As doses mais baixas, a partir da 1.080g ae. ha⁻¹, apresentaram biomassa seca semelhante a dose controle aos 60DAA (Figura 5). As raízes não sofreram alteração com aplicação das doses de glifosato, em relação à biomassa massa seca. Vale ressaltar que as doses 2.160 e 3.240g ae. ha⁻¹ correspondiam, respectivamente, a 100 e 150% da dose recomendada de glifosato para a limpeza de uma área.



Doses 0= 0g ae/ha; 1= 126g ae/ha; 2= 252g ae/ha; 3= 540g ae/ha; 4= 1.080g ae/ha; 5= 2.160g ae/ha; 6= 3.240g ae/ha.

Figura 4. Número de folhas, Área foliar, Altura e Diâmetro do caule de mudas de guarapeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, avaliados durante 60 DAA. Manaus-Am, 2019.

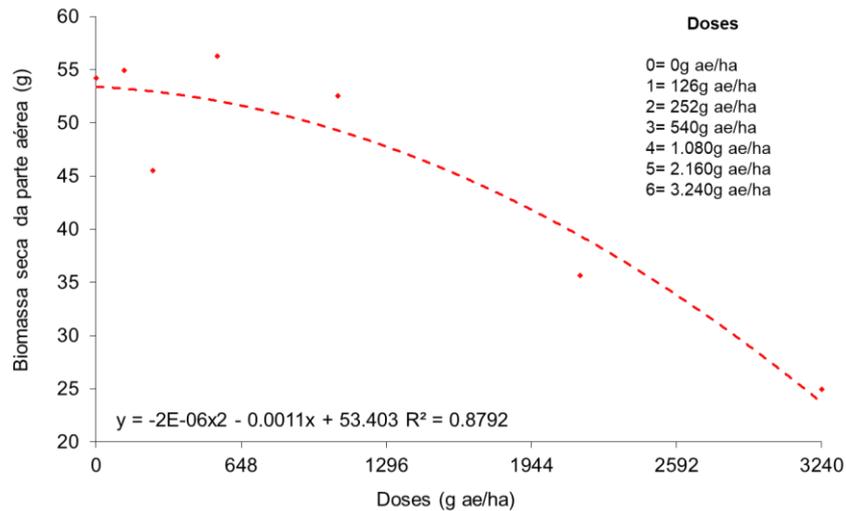


Figura 5. Biomassa seca da parte aérea de mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas à primeira aplicação de 7 doses de glifosato, aos 60 DAA. Manaus-Am, 2019.

5.1.2. Segunda aplicação

Na segunda aplicação, foram usadas as doses 0g, 126g, 252g, 540g e 1.080g nas mesmas mudas da aplicação anterior. Essas concentrações correspondiam às doses em que mais de 50% dos indivíduos sobreviveram na primeira aplicação de glifosato. A biomassa seca da parte aérea reduziu em 19% na dose 540 g ae. ha⁻¹, e em 39% para a dose 1.080 g ae. ha⁻¹, em relação ao controle (Figura 6).

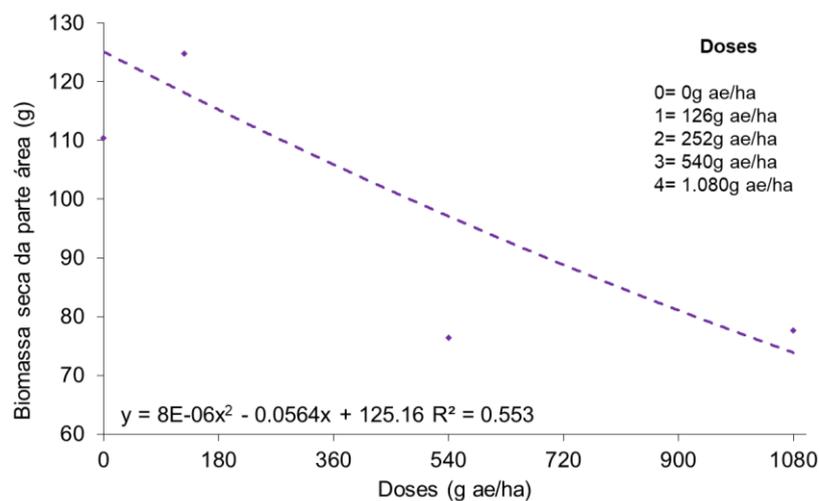


Figura 6. Biomassa seca da parte aérea de mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas à segunda aplicação de 5 doses de glifosato aos 60 DAA. Manaus-Am, 2019.

Ao relacionar os dois momentos (Primeira e segunda aplicação), apenas as maiores doses (2.160g e 3.240g ae. ha⁻¹) causaram, ao longo do período, prejuízos ao desenvolvimento das mudas de guaranazeiro, afetando principalmente a área fotossintética das mudas e comprometendo o seu metabolismo, uma vez que é a principal fonte de energia das plantas. Nesse caso, pode-se inferir que o limite suportado pelas mudas foi a dose 1.080g ae. ha⁻¹. Na segunda aplicação a afirmativa que as doses até 1.080g ae. ha⁻¹ não prejudicaram crescimento das mudas, se confirma, pois não houve diferença significativas para as variáveis biométricas observadas para doses e tempo (Figura 7).

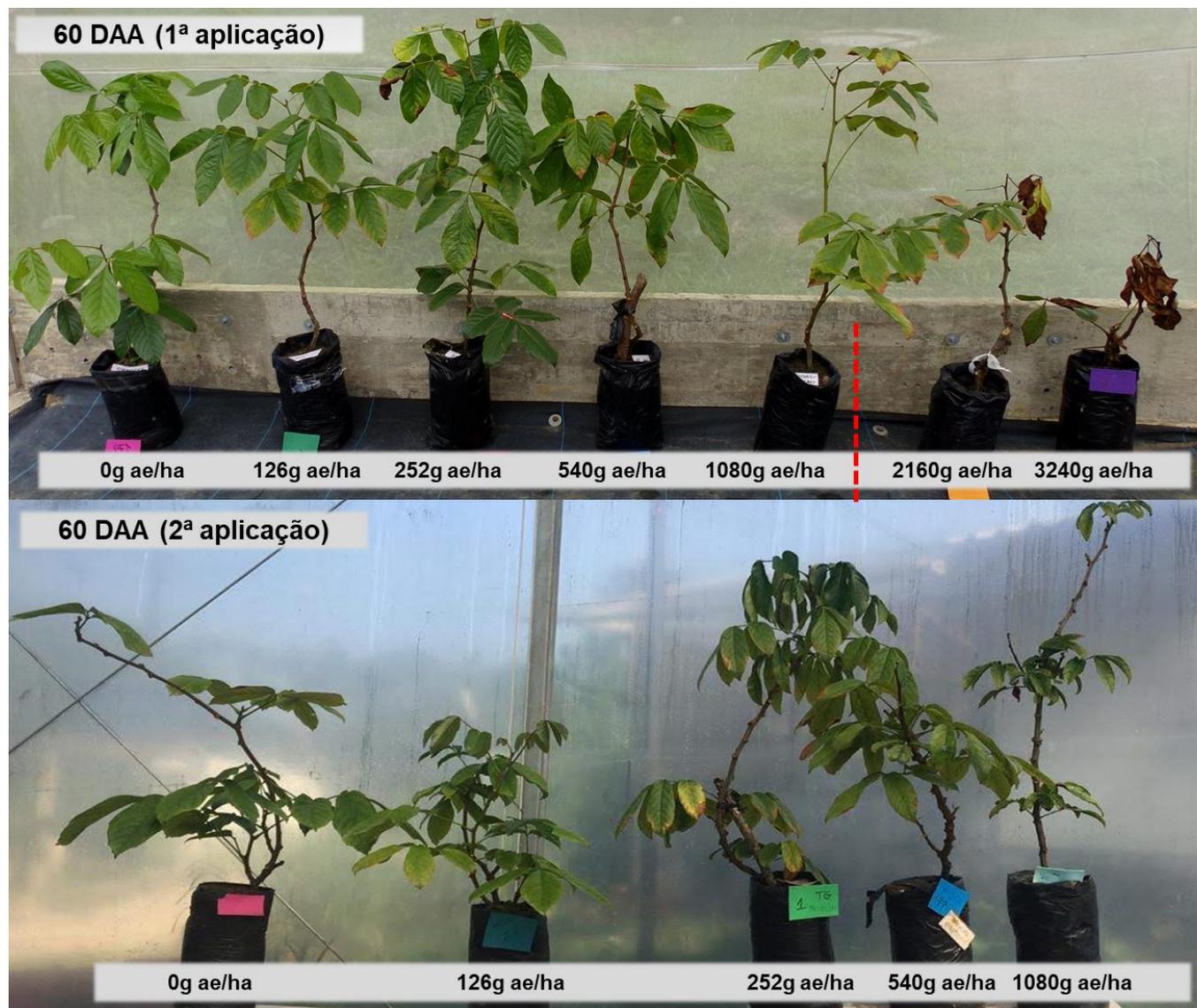


Figura 7. Mudanças de guaranazeiros, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato (primeira aplicação) e 5 doses (segunda aplicação) avaliadas por 60 dias. Manaus- Am, 2019.

Em geral doses de herbicidas causam prejuízos ao desenvolvimento inicial das espécies. Lins et al (2018), em estudo com duas variedades de melão e diferentes herbicidas observaram que uma das variedades apresentaram redução significativa em todas as características de crescimento observadas, quando submetidas a doses de herbicidas, enquanto a outra variedade não. Semelhante ao estudo de França et al (2010) e França et al (2013), ao avaliarem cultivares de cafeeiro. Neste estudo, a ação gerada pela aplicação de herbicidas varia até mesmo entre cultivares de uma mesma espécie, desta maneira, não se pode afirmar que o uso do herbicida gera, inevitavelmente, prejuízo ao desenvolvimento das plantas, pois depende de inúmeros fatores intrínsecos as espécies.

As mudas de guaranazeiro variedade BRS-Maués não apresentaram alterações no crescimento em doses consideradas altas, enquanto espécies perenes como *Genipa americana*, a dose de 345,6 g ae. ha⁻¹ de glifosato promoveu a morte das mudas de um ano de idade (GUSMÃO et al, 2011). Em mudas de *A. polyphylla*, *C. speciosa*, *E. contortisiliquum* e *L. Divaricata*, espécies da Amazônia, todas as doses de glifosato reduziram a massa seca da parte aérea, sendo que as doses de 1.140 e 2.160 g ae. ha⁻¹ causaram maior redução (MONQUERO et al, 2011).

Em *Jatropha curcas*, doses de 30 g ae. ha⁻¹ foram suficientes para promover a redução da massa seca das plantas, pois afetou diretamente a produção de lignina e fitoalexinas, promovendo vulnerabilidade a espécie (COSTA et al, 2018). É possível observar que a ação de herbicidas depende das características das espécies, da dose administrada e idade das plantas.

O guaranazeiro é uma espécie semi-domesticada e estudos apresentam particularidades em seu metabolismo secundário que podem contribuir para a maior tolerância aos estresses em geral. Schimpl et al (2014) observou grandes concentrações de metilxantinas nas folhas do guaranazeiro, substâncias estas pertencentes ao grupo dos alcaloides que estão ligados diretamente a defesa das plantas, tal fato pode justificar o comportamento das mudas em relação a ação do herbicida.

Outra característica importante do guaranazeiro é sua espessa camada cuticular observada por De Areia (1966), esta característica confere proteção contra agentes externos, enquanto Faria (2020), afirma que a camada cuticular espessa em folhas, reduz a absorção de glifosato. Dessa forma, as baixas concentrações do princípio ativo são pouco translocadas dentro da planta, anulando ou alterando os efeitos do herbicida, o que confere tolerância a espécie para baixas doses do glifosato.

Feng et al, (2003) observaram que a dose de glifosato depositado sobre as folhas de uma planta não altera a forma como o produto é distribuído e sim a concentração do produto que é translocado. Com base nestas informações é possível inferir que são necessárias altas doses de glifosato para alterar de forma significativa o crescimento e desenvolvimento das mudas de guaranazeiro. Além disso, espécies em estágio inicial podem reduzir ou inibir a ação de herbicidas (SANTOS et al, 2016) pois na fase jovem as plantas direcionam sua energia para mecanismos de defesa, auxiliando na superação do estresse químico causado por herbicidas, bem como outros tipos de estresses (VERCAMPT et al, 2016).

5.2. Trocas gasosas

Na análise de trocas gasosas, foram utilizadas as mesmas doses citadas anteriormente para as características biométricas. Na primeira aplicação do herbicida, a análise de variância apresentou interação entre os fatores dose e tempo, para todas as características avaliadas, exceto, eficiência no uso da água (EUA). No entanto, na segunda aplicação, só houve interação (dose e tempo) para transpiração (E) e condutância estomática (GS). (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da Anova para Fotossíntese líquida (A), Transpiração (E), Concentração interna de CO₂ (Ci), Condutância estomática (Gs) e Eficiência no Uso da Água (EUA) em mudas de guaranazeiro (Cultivar BRS-Maués) submetidas a sete doses de glifosato, avaliados durante 60DAA. Manaus-Am, 2020.

FV	GL	QM				
		A	E	Ci	Gs	EUA
1ª Aplicação						
Tempo	5	122,988*	3,1e-5*	3,113*	0,148*	2484668,025*
Doses	6	36,331*	3,3e-6*	3,103*	0,067*	667579,401ns
Tempo x Doses	30	12,566*	2,2e-7*	3,048*	0,056*	1529140,667ns
Resíduos	126	5,480	3,1e-6	0,010	0,001	364081,114
CV%		35,18	33,31	2,13	5,21	28,83
2ª Aplicação						
Tempo	5	34,546*	2,493e-6*	16124,122*	0,110*	5443179,897*
Doses	4	19,775*	6,114e-5*	918,279ns	0,030*	272109,663ns
Tempo x Doses	12	8,976ns	3,727e-6*	1900,200ns	0,014*	599996,050ns
Resíduos	60	6,420	1,723e-6	1579,204	0,007	676836,152
CV%		40,76	39,69	13,72	52,75	38,28

* = significativo ao nível 5% de probabilidade; ns= não significativo.

5.2.1. Primeira aplicação

Entre o período de 14 a 30 dias após a aplicação do herbicida, observou-se queda natural significativa das folhas mais velhas, as quais estavam selecionadas para coleta de trocas gasosas. Necessitando a adoção de critérios para seleção de novas folhas. No entanto quando avaliado os dados coletados a partir dos 30DAA, observou-se características de trocas gasosas de folhas não maduras dificultando a interpretação da ação do glifosato aos 30 e 60 DAA. Assim foram apresentados os dados até os 14 DAA. Entende-se que este fato não prejudicou a interpretação dos dados, uma vez que, em geral, na maioria das espécies a ação do glifosato ocorre entre os quatro até 20 dias após aplicação (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

Apesar das interações significativas nas trocas gasosas e na clorofila B, não foi possível encontrar equações adequadas para interpretar a ação de cada dose ao longo do tempo. Dessa forma, a análise dos dados foi realizada em gráficos de barras, considerando as doses dentro de cada tempo. Para efeito didático, esses gráficos apresentam as cores das doses no tempo 0, porém não houve aplicação do herbicida neste período.

Todas as doses desencadearam redução da fotossíntese líquida (A) das mudas aos 7DAA, o que era esperado, uma vez que a ação do glifosato ocorre nos primeiros 20 dias após a aplicação, porém, essa variação depende da espécie e do status sanitários das plantas (Figura 8- A).

Para as taxas de transpiração, a alteração pode ser observada a partir de 3DAA, onde as menores doses (126g e 252g ae. ha⁻¹) reduziram a transpiração. As demais doses apresentaram redução transpiratória a partir dos 7DAA (Figura 8-B). O processo transpiratório é um fator importantíssimo para o acúmulo de biomassa e conseqüentemente crescimento das plantas em geral, além de participar na elevação de nutrientes nas plantas pelo processo de fluxo de massa.

A baixa taxa transpiratória pode ser uma resposta ao estresse, evitando a perda de água para o ambiente (VIEIRA et al, 2010). A transpiração e conseqüentemente a fotossíntese líquida estão diretamente ligadas a condutância estomática que é o principal mecanismos para as trocas gasosas em folhas.

Os dados de condutância estomática apresentaram os mesmos comportamentos, reduzindo a atividade estomática a partir dos 3DAA (Figura 8-D). A condutância estomática é bem sensível aos estímulos ambientais, quaisquer variações de umidade, luminosidade e

temperatura sujeitam a planta a alterações significativas (VIEIRA et al, 2010). A temperatura era uma característica controlada na casa de vegetação, e a umidade era suprida por meio das nebulizações ocorridas ao longo do dia, apenas a irradiância não era controlada, mas foi possível observar variações de 100 a 200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ nos horários da coleta das trocas gasosas no dia 0 o que não ocorreu nos outros dias de avaliação. Isso pode ter afetado esta característica antes mesmo da aplicação do glifosato.

Não houve diferença significativa na concentração de carbono interno (C_i) entre as doses em cada período (Figura 8-C). Os valores de C_i variaram entre 200 e 350 μmol de CO_2 nesta pesquisa, valores semelhantes foram encontrados em plantas adultas de guaranazeiro em condição de campo (Dados não publicados). Dessa forma, entende-se que não houve prejuízo na concentração de carbono interno nas mudas, pela ação do glifosato.

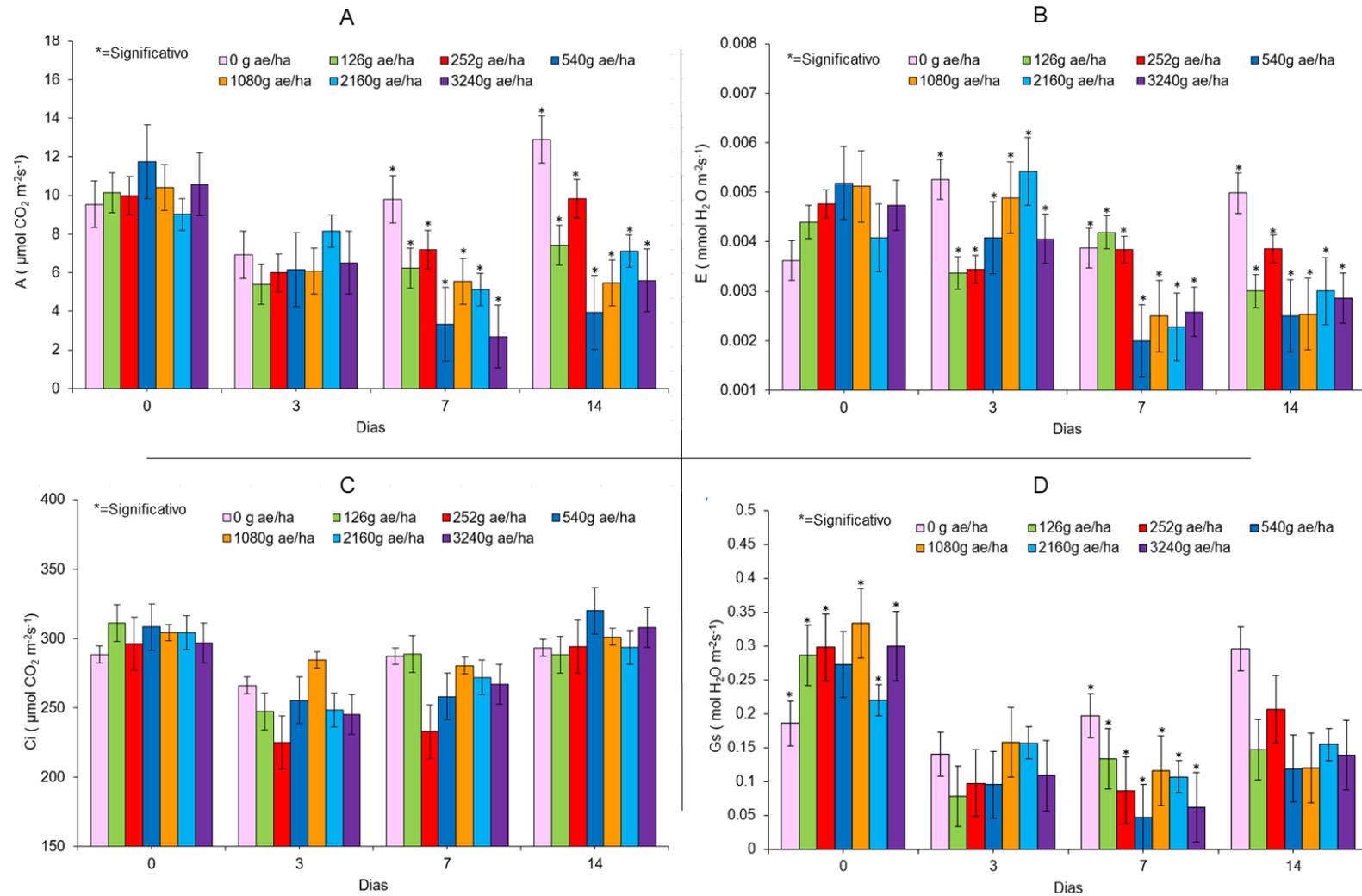


Figura 8. Taxa de assimilação de CO₂ (A), Transpiração (E), Concentração interna de CO₂ (Ci) e Condutância estomática (Gs) de mudas de guarazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, avaliadas durante 14 DAA. Manaus-Am, 2019. Dias seguidos de “*” indicam que houve diferença significativa entre as doses no tempo observado.

A eficiência no uso da água (EUA) indica a capacidade que a planta tem em fixar CO_2 em função da água perdida pela transpiração, quanto maior esse valor, mais adaptada ao estresse a espécie está. A EUA teve diferenças significativa entre as doses apenas aos 7DAA (Figura 9).

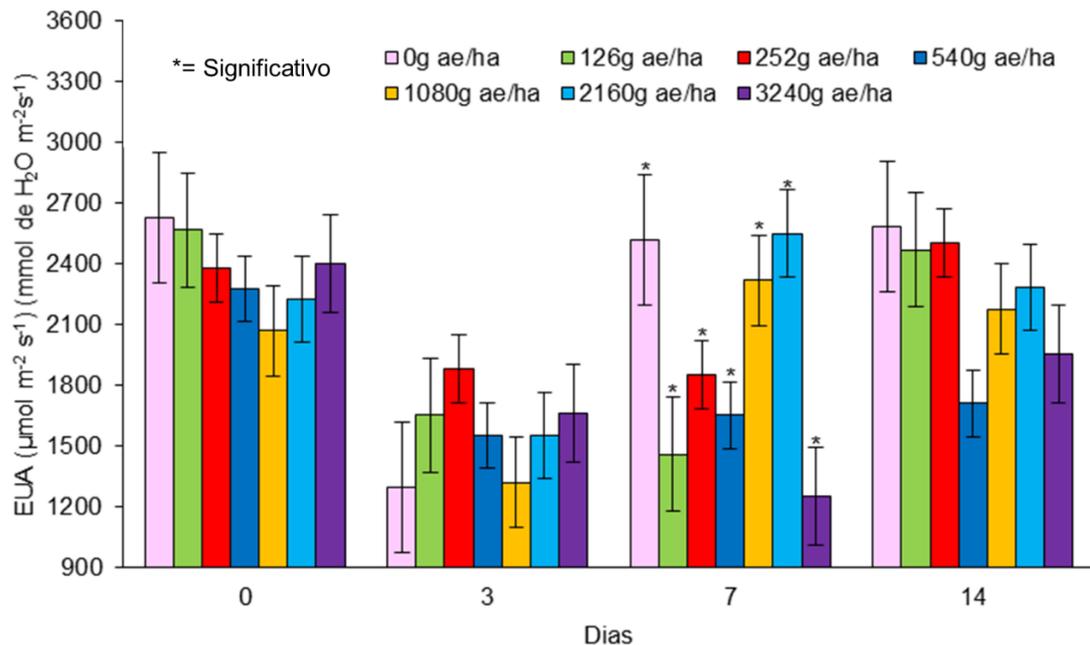


Figura 9. Eficiência no uso da água (EUA) de mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, avaliadas durante 14 DAA. Manaus-Am, 2019.

Para a realização da fotossíntese as plantas precisam basicamente da disponibilidade de água e de CO_2 no sistema e estes dois fatores estão interligados. Em plantas de mecanismos C_3 , que é o caso do guaranazeiro, toda ação que gere interferência na concentração de CO_2 interfere significativamente a eficiência de uso da água (EUA) (KERBAUY, 2004). Por isso as baixas na assimilação de CO_2 apresentadas na fotossíntese líquida, nestes dois períodos 3 e 7 DAA, explicam as alterações da EUA. Porém, apenas aos 7DAA podemos inferir que a ação do glifosato interferiu nas trocas gasosas, apresentando tendência de superação ao estresse nos 14DAA.

5.2.2. Segunda aplicação

As interações que ocorreram entre dose e tempo para as variáveis transpiração (E) e condutância estomática (Gs) foram significativas nos dias 0 e 7 DAA. No entanto, esta diferença significativa entre as doses no dia 0, não foi em decorrência da ação do glifosato, por não haver a aplicação do produto (Figura 10).

Aos 7DAA, as doses 126g e 540g ae. ha⁻¹ aumentaram transpiração e condutância estomática, em relação as demais doses no mesmo período. Pelo fato do dia 0 (sem a aplicação do produto), apresentar diferença significativa para estas características (E e Gs), sugere-se que possivelmente não foi a ação do glifosato que alterou estas características no dia 7 DAA, podendo ser um fator externo alheio aos avaliados (Figura 10).

As variáveis de trocas gasosas estão interligadas, ou seja, quando há uma variação significativa em uma taxa, desencadeia uma variação em todas as outras e isso não ocorreu nas mudas submetidas na segunda aplicação, então já era de se esperar que não foi a ação do glifosato.

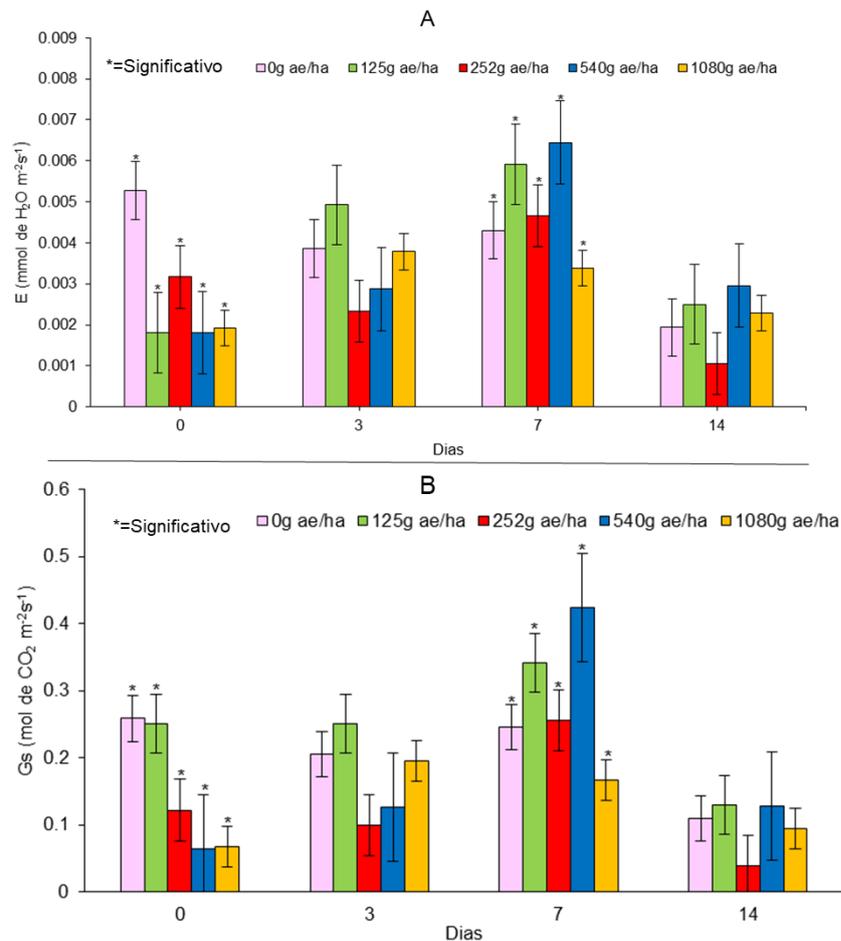


Figura 10. Transpiração (E) e Condutância estomática (Gs) de mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, avaliadas durante 14 DAA. Manaus-Am, 2019.

Ao avaliar as variáveis de trocas gasosas nas duas aplicações, não foi possível identificar um padrão de dose-resposta. Esperava-se que à medida que as doses fossem aumentando, as trocas gasosas em questão, apresentassem redução ou acréscimo do incremento, a exemplo do estudo realizado com duas cultivares de Eucalipto, que responderam a ação do glifosato proporcionalmente com o aumento das doses.

No estudo com o Eucalipto, as doses variaram entre 18 e 720g ae. ha⁻¹ (doses menores que as utilizadas nas mudas de guaranazeiro), causando redução da fotossíntese líquida, da transpiração e da condutância estomática. Nesse caso, a velocidade e proporção da redução destas variáveis dependeram do genótipo. Parte dessa alteração pode ser explicada pelo acúmulo diferencial de ácido chiquímico (CARVALHO et al, 2018).

Outra pesquisa conduzida por Radwan; Fayez (2016) demonstrou alterações proporcionais ao aumento das doses de glifosato (360g e 720g ae. ha⁻¹) reduzindo a

fotossíntese líquida, condutância estomática, eficiência no uso da água e transpiração e leve aumento da concentração de carbono interno, neste caso a planta superou o estresse aumentando sua atividade antioxidante total, como uma resposta de defesa contra a toxicidade.

Apesar das mudas de guaranazeiro apresentar diferenças pouco coerentes após a aplicação do glifosato, ainda assim as trocas gasosas podem ser usadas como uma ferramenta importante para identificar o estresse químico causado a cultura do guaranazeiro e inclusive essa pouca variação nas trocas gasosas pode configurar certa tolerância da cultura ao herbicida.

Yannicari et al, (2012) identificaram que a condutância estomática por exemplo é um parâmetro sensível a ação do glifosato e sugerem que seja usado como ferramenta para ajudar na identificação de plantas resistentes ou susceptíveis. Isso por que estes autores, ao avaliar ação de doses de glifosato (0g, 700g, 1400g, e 2800g ae. ha⁻¹), em dois grupos de plantas da espécie *Lolium perenne* L., perceberam que o grupo de plantas susceptíveis, aos cinco dias, apresentaram redução no incremento da fotossíntese líquida, da condutância estomática e outros mecanismos do aparato fotossintético, enquanto isso, no mesmo período sob as mesmas doses os grupos de plantas resistentes apresentaram apenas uma leve redução na condutância.

Em contrapartida, em pesquisa de Yanev; Kalinova, (2020) as plantas de tabaco que foram submetidas a doses de glifosato (0,144 l. ha⁻¹ e 0,240 l. ha⁻¹) não apresentaram influência sobre as trocas gasosas e que as alterações que ocorreram foram influenciadas pela ação do ambiente.

Apesar de esperar-se que as doses de glifosato causassem danos as trocas gasosas, essa alteração depende da espécie e do estágio de crescimento das plantas, no entanto não se pode descartar que as variáveis de trocas gasosas são ferramentas importantes para a identificação do estresse e ainda pode-se sugerir que a não alteração desse aparato confere as plantas tolerância ao estresse.

Em pesquisa com guaranazeiro, duas cultivares (BRS-Maués e BRS-Andirá) foram submetidas a ação de baixas doses de glifosato (0, 324 e 432 g ae. ha⁻¹) por 7 dias, e não foi observado diferenças significativas sobre as trocas gasosas das mudas (LEITE et al, 2020), corroborando com o apresentado neste estudo e reforçando a tolerância da espécie à ação do glifosato.

5.3. Concentração de pigmentos fotossintéticos

Na análise de pigmentos fotossintéticos, foram utilizadas as mesmas doses citadas anteriormente para as características biométricas, e avaliadas durante 60DAA. Na primeira aplicação houve interação significativa entre os fatores (dose e tempo) para as variáveis clorofila A e Carotenoides totais. Na segunda aplicação houve interação entre os fatores, para todos os pigmentos. Apesar das interações, foram consideradas apenas aquelas cuja dose foi significativa isoladamente, uma vez que nesta pesquisa objetiva-se compreender a ação das doses de glifosato sobre as mudas de guaranazeiro (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da Anova para Clorofila A Clorofila B e Carotenoides totais, em mudas de guaranazeiro (Cultivar BRS- Maués) submetidas a doses de glifosato, avaliados ao longo de 60 DAA. Manaus-Am, 2020.

FV	GL	QM		
		Clorofila A	Clorofila B	Carotenóides totais
1ª Aplicação				
Tempo	5	2,694*	15,778*	15,778*
Doses	6	0,518*	0,726ns	0,726ns
Tempo x Doses	30	0,336*	0,399ns	0,399*
Resíduos	126	0,058	0,432	0,432
CV%		11,59	32,44	32,44
2ª Aplicação				
Tempo	5	29,268*	2,999*	1,287*
Doses	4	0,519ns	2,028*	0,235ns
Tempo x Doses	20	3,371*	2,667*	0,543*
Resíduos	90	1,434	0,321	0,151
CV%		32,11	24,21	25,95

* = significativo ao nível 5% de probabilidade; ns= não significativo.

5.3.1. Primeira aplicação

Houve redução da concentração de clorofila a partir dos 7 DAA, em todas as doses, inclusive no controle (Figura 11). Aos 60 DAA, as doses 2, 3, 5 e 6 reduziram 64, 60, 50 e 55% respectivamente a concentração da clorofila enquanto para a dose controle, a redução foi de 34%. Em geral houve redução significativa para todas as doses, no entanto as mudas

tratadas obtiveram reduções mais significativas ao longo do tempo. Para as doses 126g e 1.080g ae. ha⁻¹ não se encontrou equações com coeficiente de determinação maiores que 0,5.

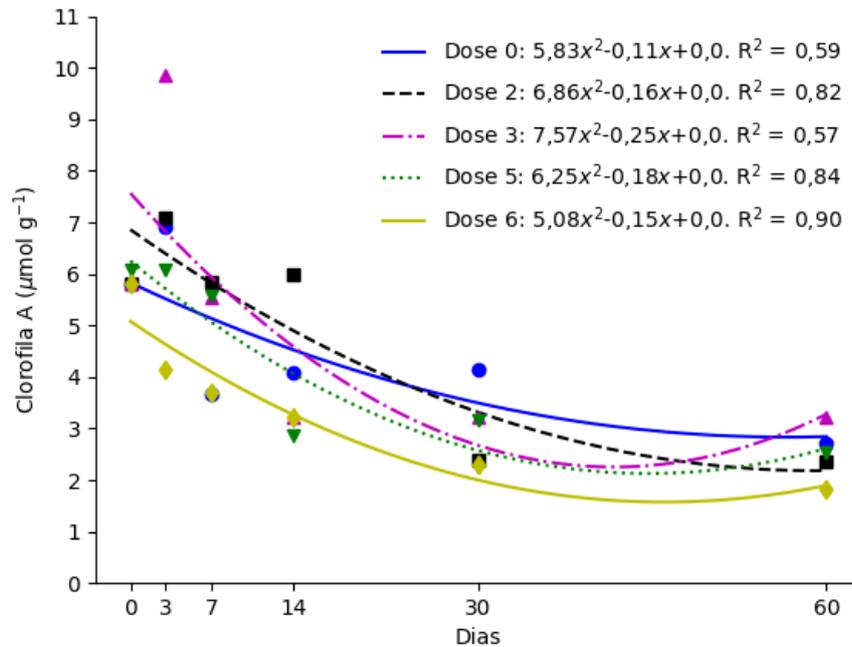


Figura 11. Clorofila A em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, avaliadas durante 60 DAA. Manaus-Am, 2020.

5.3.2. Segunda aplicação

Apesar da interação significativa na concentração de clorofila B (Tabela 5), não foi possível encontrar equações adequadas para interpretar a ação de cada dose ao longo do tempo. Dessa forma, a análise dos dados foi realizada em gráficos de barras, considerando as doses dentro de cada tempo (Figura 12).

Para a clorofila B, houve diferença significativa entre as doses em todos os períodos avaliados, exceto aos 14DAA. Aos 60DAA a dose 540g ae. ha⁻¹ apresentou a maior concentração comparada a todas as doses, com uma concentração de 5µmol g⁻¹, a maior concentração para a dose em todos os tempos.

A dose 125g ae. ha⁻¹ reduziu a concentração de clorofila B a partir dos 3 dias, mas recupera-se aos 60DAA. A dose 252g ae. ha⁻¹ reduz aos 3DAA, recuperando a concentração inicial aos 7DAA, após este período apresentou uma leve baixa mantendo-se estável. Nas

condições do experimento o, comportamento não evidencia um padrão de dose-resposta nas mudas de guaranazeiro, em relação a concentração de clorofila B e a aplicação de glifosato.

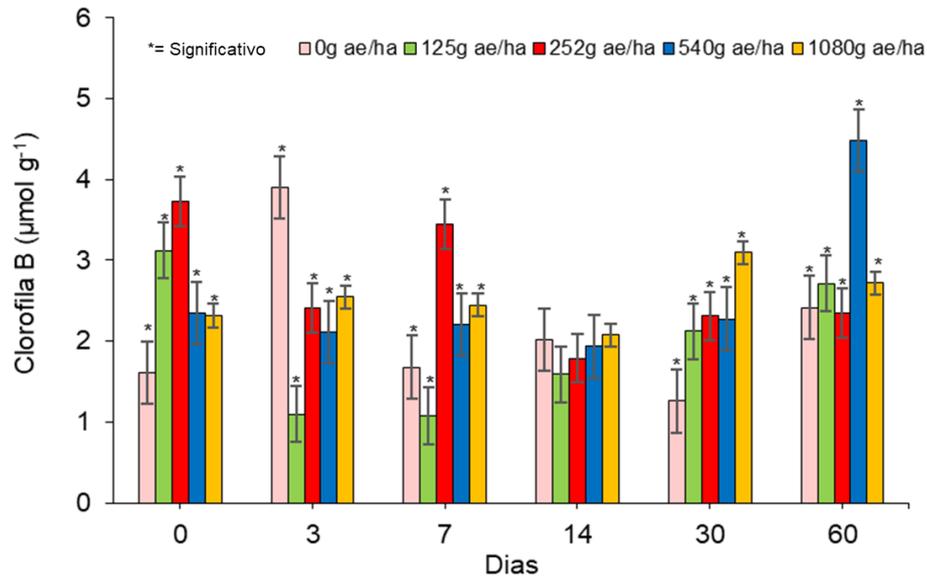


Figura 12. Clorofila B em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, avaliadas durante 60 DAA. Manaus-Am, 2020.

Não houve ação direta do glifosato na concentração dos pigmentos fotossintéticos em mudas de guaranazeiro, uma vez que a clorofila A foi reduzida no tratamento controle da primeira aplicação, e na segunda aplicação houve alteração da clorofila B sem aplicação de glifosato (Tempo 0).

Ao translocar-se nas plantas o glifosato interfere nas sínteses de compostos como o ácido indol acético (IAA) e clorofila, e isso pode ser facilmente visível a partir da clorose que se inicia nas folhas novas até as mais velhas (YAMADA, 2007), há relatos também de que o glifosato altera a síntese de ácido aminolevulínico (ALA), precursor na biossíntese de clorofila (KITCHEN et al, 1981).

Outro fator que colabora para a clorose nas plantas submetidas ao glifosato é o acúmulo do ácido aminometilfosfônico (AMPA), principal metabolito proveniente da interrupção da EPSPS. Estas informações reforçam a hipótese de que plantas submetidas a doses de glifosato tenham redução de pigmentos fotossintéticos considerados importantes. E muitos estudos comprovam esse fato.

Estudos como os de Yanev; Kalinova, (2020) com tabaco e Langaro et al, (2014) com tomateiro, submetidos a baixas doses de glifosato observam redução da concentração de pigmentos fotossintéticos, a saber clorofila A e B, o que trouxe prejuízos diretos ao desenvolvimento destas espécies nos estudos realizados. A determinação dos pigmentos fotossintéticos é uma ferramenta eficaz e necessária para compreender a ação do glifosato nas plantas. No entanto existe a possibilidade de não serem identificados danos a esses compostos mesmo em plantas que sofreram ação do produto.

Santos et al (2020), em estudo com mudas de *Cenostigma macrophyllum* (caneleiro) submetidas a 7 doses de glifosato (25, 50, 100, 200, 400, 800 g ae. ha⁻¹), não observaram diferenças significativas nos pigmentos fotossintéticos nas mudas tratadas, em relação ao controle, apesar de comprovado que as doses de glifosato alteraram outros mecanismos do aparelho fotossintético e que houve a ocorrência de fitotoxidez, a saber clorose das folhas. Estudos com duas cultivares de guaranazeiro submetidas a baixas doses de glifosato (0, 324 e 432 g ae. ha⁻¹) também não demonstraram diferenças significativas no conteúdo de clorofila quando realizado o índice SPAD aos 2 e 7 DAA (LEITE et al, 2020).

5.4. Fitotoxidez

Para as análises de fitotoxidez foi realizado uma correlação de Pearson para os fatores tempo e dose, em cada aplicação. Na primeira aplicação houve correlação forte entre os fatores (Correlação= 0,88*) e na segunda aplicação, moderada (Correlação= 0.69*)

A fitotoxidez na primeira aplicação estava mais correlacionada com tempo, e na segunda, com a dose aplicada (Figura 13).

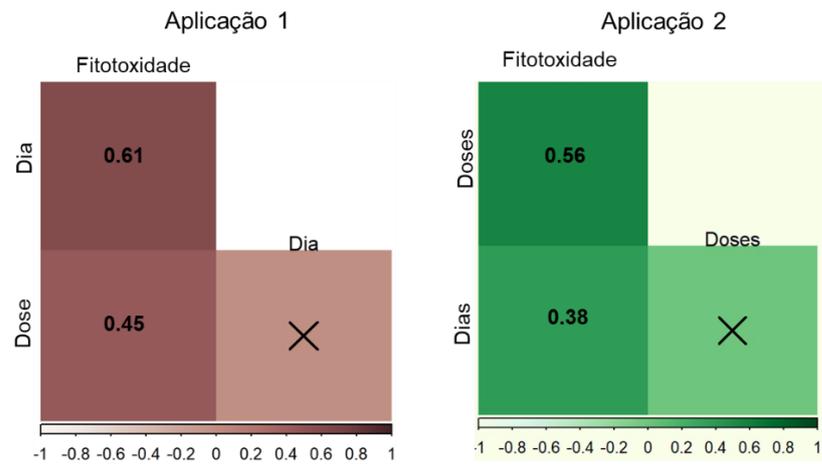


Figura 13. Correlação de Pearson entre os fatores dose e tempo em relação aos sintomas de fitotoxidez em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a doses de glifosato. Manaus-Am, 2019.

5.4.1. Primeira aplicação

Aos 14 DAA, as mudas que receberam a dose 3.240g ae. ha⁻¹ apresentaram morte das ponteiros, seguida de amarelecimento das folhas jovens e necrose nas nervuras e ao final das avaliações as mudas deste tratamento perderam toda área foliar e morreram. As mudas da dose 2.160g ae. ha⁻¹ apresentaram amarelecimento das folhas novas aos 14 DAA após aplicação, aos 30 DAA houve perda das folhas novas e ponteiros e a ocorrência de manchas nas folhas mais velhas, aos 60DAA houve perda de quase 50% das mudas. As doses 1.080g e 540g ae. ha⁻¹ apresentaram também amarelecimento nas folhas novas aos 14DAA, no entanto não houve perda significativa de folhas e ponteiros. Aos 60DAA observaram-se manchas amareladas nas bordas das folhas mais velhas (Figura 14).

As doses 126g e 252g ae. ha⁻¹ causaram aumento anormal no lançamento de folhas novas aos 30DAA. Estas folhas apresentavam aspecto rugoso, com limbo foliar despigmentado, de tamanho reduzido e bordas irregulares. Para a dose 252g ae. ha⁻¹ estes sintomas persistiram até os 60 DAA (Figura 15).



Figura 14. Sintomas de fitotoxidez em mudas de guaranazeiro cultivar BRS-Maués, submetidas as maiores doses de glifosato (1.080g, 2.160g e 3.240g ae. ha⁻¹) ao longo dos 60DAA. Manaus-Am, 2019.



Figura 15. Sintomas de fitotoxidez em mudas de guaranazeiro cultivar BRS-Maués, submetidas a doses 152g, 252g e 540g 60DAA do herbicida glifosato. Manaus-Am, 2019

A fitotoxidez foi proporcional ao aumento da dose de glifosato e os sintomas, visíveis a partir dos 7DAA. Apenas as doses 2.160g e 3.240g ae. ha⁻¹ (Dose 5 e 6) apresentaram fitotoxidez consideradas altas a muito altas, em ambos os casos as injúrias foram irreversíveis (Figura 16) sendo que a dose 3.240g causou a morte das plantas aos 60DAA, e a dose 2.160g, danos severos nas mudas ao final das avaliações (SBCPD, 1995).

As doses 152g e 252g ae. ha⁻¹ (Dose 1 e 2) causaram injúrias consideradas leves, ou seja, sintomas nítidos, entretanto, com baixa intensidade. A dose 540g ae. ha⁻¹ (Dose 3) apresentou sintomas aceitáveis, ou seja, pronunciados, mas totalmente tolerados pela planta e a dose 1.080g ae. ha⁻¹ (Dose 4) atingiu a fitotoxidez preocupante, segunda a escala, que são sintomas mais drásticos, mas ainda passíveis de recuperação (Figura 16).

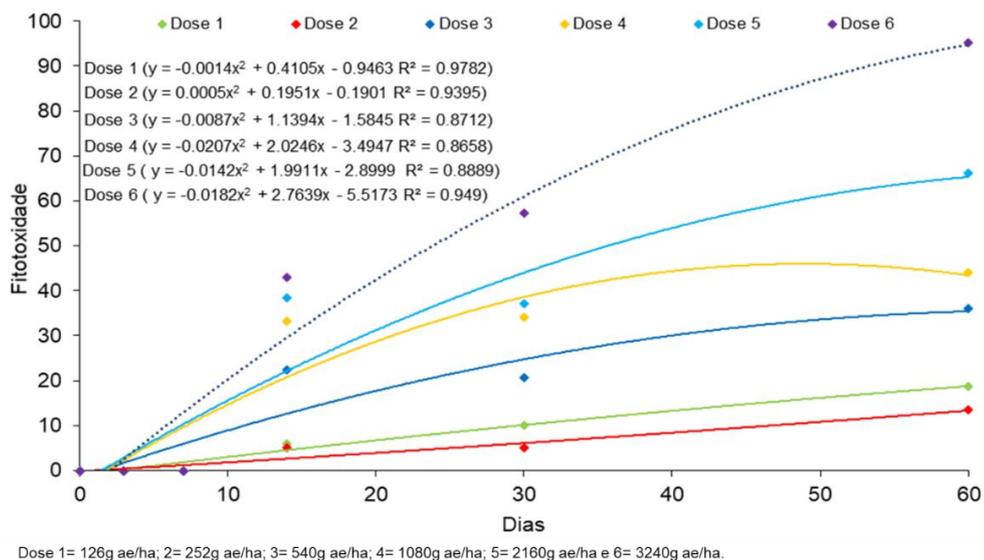


Figura 16. Intensidade da fitotoxidez em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 6 doses de glifosato, avaliados durante 60DAA. Manaus-Am, 2019.

5.4.2. Segunda aplicação

Na segunda aplicação os sintomas chegaram a apresentar níveis preocupantes, mas passíveis de serem recuperados pelas plantas. Aos 60DAA houve alteração na coloração do limbo foliar, ondulações nas bordas e encarquilhamento das folhas (Figuras 17, 18 e 19).

As doses 540g e 1.080g causaram estreitamento nas folhas tanto novas quanto as completamente expandidas, além de alteração na forma das bordas das folhas e

despigmentação ao longo dos folíolos. As mudas de guaranazeiros submetidas as doses mais baixas (126g e 252g ae. ha⁻¹) apresentaram despigmentação apenas nas folhas mais velhas, mas foi possível observar a emissão de folhas novas saudáveis (Figura 18).



Figura 17. Sintomas de fitotoxidez nas mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas as doses 540g e 1.080g ae. ha⁻¹ de glifosato aos 60DAA. Manaus-Am, 2019.



Figura 18. Sintomas de fitotoxidez nas mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas as doses 126g e 252g ae. ha⁻¹ de glifosato aos 60DAA. Manaus-Am, 2019.

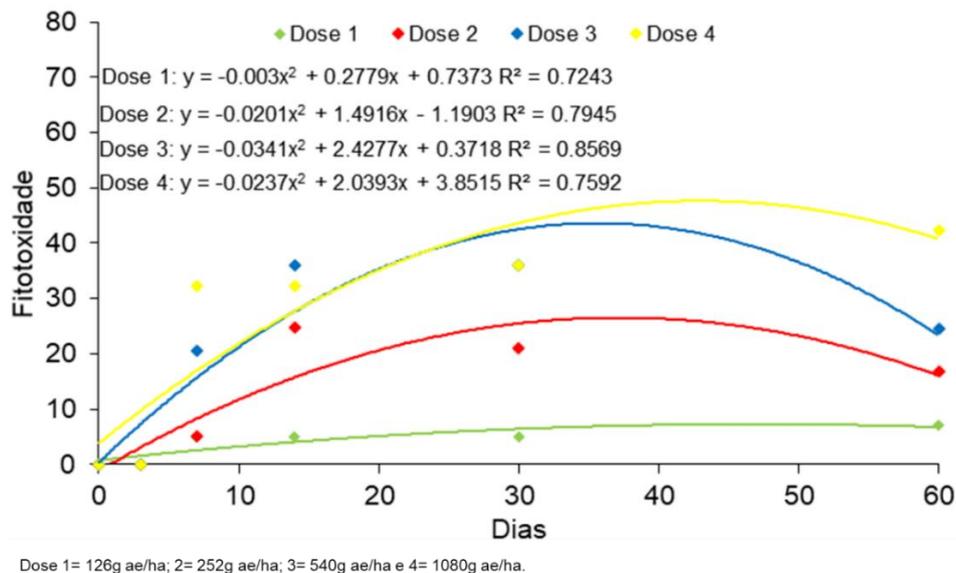


Figura 19. Fitotoxidez em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 4 doses de glifosato, avaliadas durante 60DAA. Manaus- Am, 2019.

Os sintomas apresentados nas mudas de guaranazeiro neste estudo, são comuns em plantas submetidas a ação do glifosato. Esses sintomas são clorose foliar seguida de necrose, e ainda, enrugamento foliar ou malformações (especialmente nas áreas de rebrotamento) e necrose de meristema. A ação do glifosato é mais lenta que outros herbicidas, por isso é importante avaliar as plantas por mais tempo, até que haja morte (GRUYS e SIKORSKI, 1999). De fato, essa informação é coerente ao encontrado neste estudo, só houve morte das mudas a partir dos 30DAA até os 60DAA.

Em mudas de cafeeiro, que também é uma planta perene, o aparecimento dos sintomas de fitotoxicidade só ocorreu a partir dos 10 dias após a aplicação do glifosato, com sintomas comuns da ação do herbicida, tais como, folhas com leve clorose nas regiões meristemáticas, enrijecimento de galhos foliares e brotação excessiva nas regiões de gemas axilares, e os autores atribuem a clorose à redução de clorofila e o enrijecimento do limbo foliar à disfunção celular causada pelo herbicida, fazendo com que três aminoácidos essenciais não sejam produzidos para o desenvolvimento da planta (CASTANHEIRA et al, 2019). As mudas de guaranazeiro apresentaram sintomas semelhantes, principalmente para as doses abaixo de $2.160 \text{ g ae. ha}^{-1}$, havendo brotações foliares excessivas e malformações das folhas novas, o que também pode estar relacionado à ação do produto sobre os hormônios de crescimento.

Em plantas de cacaueteiro a ação de doses de glifosato (00, 144, 288, 432 e $864 \text{ g ae. ha}^{-1}$) também causaram clorose, seguida de murcha e necrose das folhas, assim como nesta

pesquisa, esses sintomas ocorreram aos 7DAA. Os autores inferiram que a fitointoxicação nas plantas foi proporcional com o aumento das doses, mas diferente das mudas de guaranazeiro desta pesquisa, as plantas já sofreram prejuízos irreversíveis desde a menor dose aplicada, sendo extremamente sensível a ação do glifosato (NETO et al, 2021).

No entanto há espécies que assim como o guaranazeiro (nas condições deste experimento), apesar de apresentarem sintomas de fitotoxidez, não sofreram danos ao desenvolvimento da espécie quando submetidas a baixas doses de glifosato. Na pesquisa de Rusin et al, (2017), com pessegueiro cv. Chimarrita, submetida às doses de 0, 178g; 356g; 712g e 1424g ae. ha⁻¹ de glifosato, apresentou sintomas de fitotoxidez proporcionais ao aumento das doses, mas não houve danos ao desenvolvimento da cultura, essa ação corrobora com as afirmativas da estabilidade do produto dentro da planta, sendo necessário a aplicação de doses mais elevadas para proporcionar maiores níveis de fitotoxidez, enquanto em doses menores o aumento da fitotoxidez é relativo ao tempo.

5.5. Severidade da antracnose

A análise de variância indicou interação entre os fatores dose e tempo na primeira aplicação de glifosato, nas mudas de guaranazeiro (Cultivar BRS-Maués). Na segunda aplicação não houve significância, apesar da ocorrência de antracnose nas mudas tratadas.

A ocorrência de antracnose iniciou aos 14 dias após a primeira aplicação, com aumento da severidade da doença nas mudas tratadas com as maiores doses. As mudas do tratamento controle, e as submetidas a dose 2, não apresentaram ocorrência de antracnose (Figura 20).

É importante ressaltar que não foi realizada inoculação de antracnose nas mudas e que não havia manchas ou quaisquer indícios da doença antes da aplicação do herbicida glifosato. Todavia sabe-se que o fungo *Colletotrichum guaranicola*, possui hábito endofítico, vivendo no interior dos tecidos das plantas e podendo ou não causar danos ao hospedeiro durante todo seu ciclo vital.

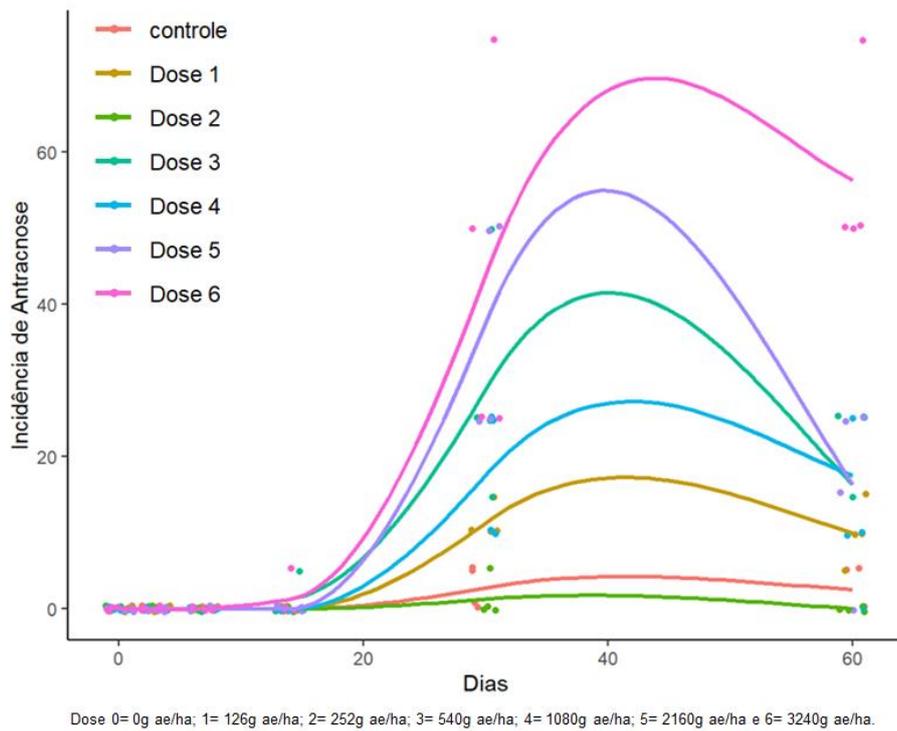


Figura 20. Severidade de antracnose em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, observados durante 60 DAA. Manaus-Am, 2019.

Em pesquisa realizada por Silva, (2016) foram encontrados pelos menos 9 isolados endofíticos de *Colletotrichum spp.* em folhas de guaranazeiro, sem sintomas de antracnose. Estes isolados apresentaram predominância de coloração cinza, diferenciando apenas na intensidade da cor, o que corrobora com os testes realizados em fragmentos de lesões de antracnose nas mudas deste estudo (Figura 21).



Figura 21. Característica dos fragmentos isolados de lesões de antracnose e comprovação da patogenicidade dos isolados. Manaus-Am, 2019.

Os principais sintomas da antracnose em plantas de guaranazeiro são crestamento (queima) em folhas jovens, com subseqüentes lesões necróticas de formato variável. A doença pode ocorrer em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, podendo ser altamente destrutiva. Quando as lesões são numerosas, causam deformações e enrolamento das folhas, principalmente ao atingirem as nervuras. Folhas maduras ou velhas não são infectadas (PEREIRA, 2005). E foi possível observar todos os tipos de sintomas nas mudas de guaranazeiro para este estudo, após a aplicação do glifosato (Figura 22).

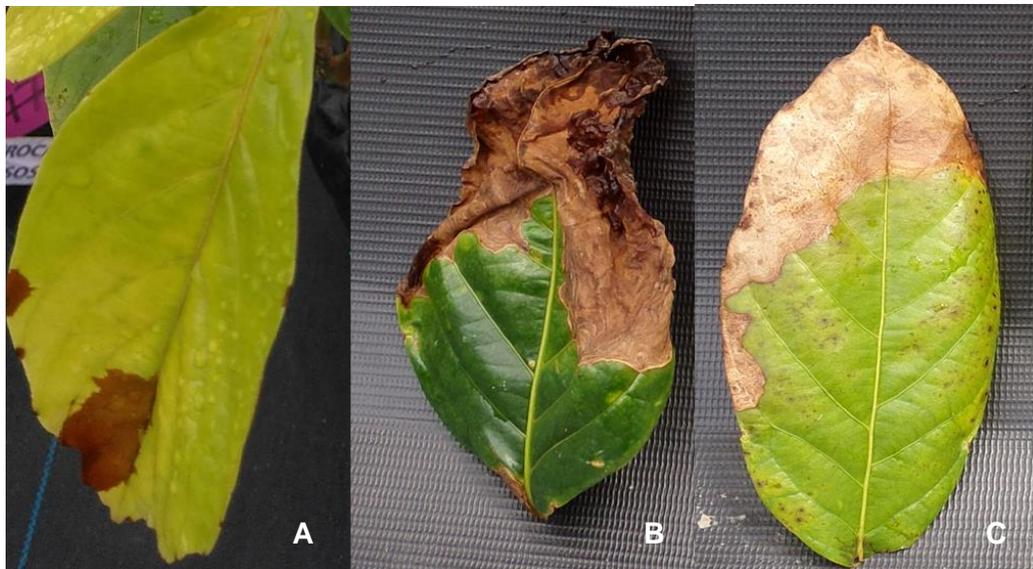


Figura 22. Manchas ocasionadas pela incidência de *Colletotrichum spp* em folhas novas em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, (A= Necrose inicial; B=Enrolamento; C= Crestamento), submetidas a 7 doses de glifosato. Manaus-Am, 2019.

A BRS-Maués é tolerante a antracnose e faz parte das cultivares lançadas ao longo dos anos, no programa de melhoramento genético do guaranazeiro da EMBRAPA - Amazônia Ocidental, dessa forma supõe-se que o glifosato quebrou a tolerância da planta a antracnose.

É comprovado que o glifosato interrompe a via metabólica do chiquimato bloqueando a produção de aminoácidos aromáticos envolvidos em vários metabólitos vegetais. Segundo Fuchs et al (2020), a ação residual do glifosato afeta as interações entre plantas e organismos heterotróficos, interferindo substancialmente na resistência das plantas. Em muitas lavouras é possível observar que a constante aplicação do glifosato está associada com o aumento significativo na gravidade de doenças nas plantas, isso pode ocorrer, pois o glifosato enfraquece as defesas das plantas, o que aumenta a população e virulência dos patógenos.

Também podem estar relacionadas com a imobilização de micronutrientes específicos, envolvidos na resistência a doenças, na redução do crescimento e no vigor da planta (JOHAL; HUB, 2009).

Alguns estudos comprovam que o glifosato aumenta a severidade de doenças em diversas culturas, no entanto esse efeito depende de muitos fatores. A principal causa é o bloqueio das defesas naturais das plantas, no entanto, nem mesmo culturas resistentes a ação do produto estão livres da susceptibilidade às doenças. Isso por que o herbicida pode interagir com fungos e alterar seus mecanismos, já que alguns microrganismos possuem a via do chiquimato e, portanto, podem ser influenciados positiva ou negativamente pela ação do herbicida (HAMMERSCHMIDT, 2018).

Existe a hipótese de que o uso intensivo de glifosato leva à resistência de plantas daninhas e microrganismos, pois as mudanças nas composições microbianas devido à pressão seletiva do produto contribuem para a proliferação de patógenos de plantas e podem gerar microrganismos resistentes a antibióticos e fungicidas (BRUGGEN et al, 2018).

Essas informações levam a crer que além da própria ação sobre as plantas, o glifosato pode alterar a composição microbiana dos ambientes, proporcionando a incidência ou a severidade de doenças em plantas, isso pode explicar a ocorrência de antracnose nas mudas do guaranazeiro mesmo sem a inoculação do fungo e/ou a presença de hospedeiros.

5.6. Concentração de prolina

A análise de variância indicou interação significativa entre dose e tempo para a concentração de prolina em mudas de guaranazeiro, na primeira aplicação. Na segunda aplicação, apesar da interação, a dose isoladamente não apresentou significância, portanto os dados não foram apresentados (Tabela 6).

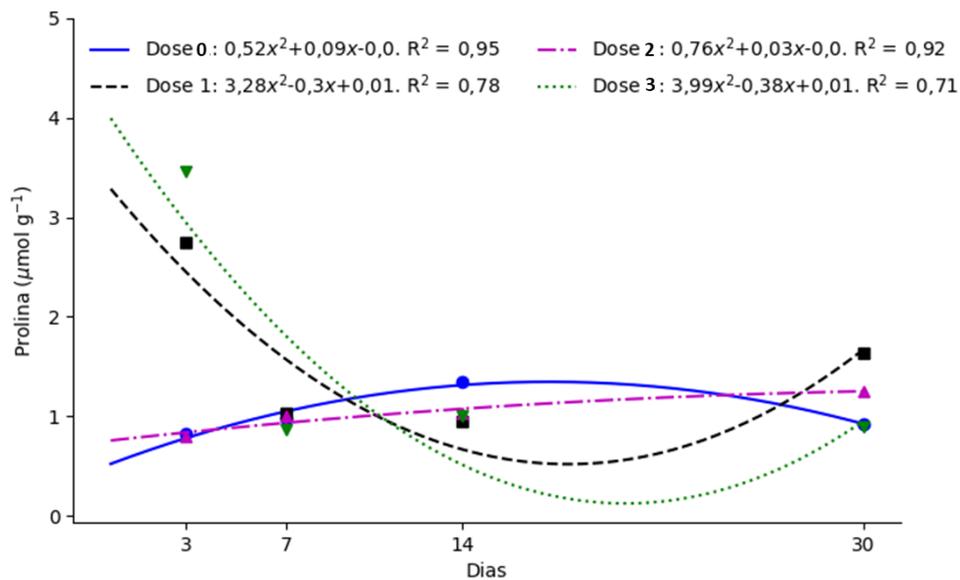
Tabela 6. Concentração de prolina de mudas de guaranazeiro (Cultivar BRS- Maués) submetidas a doses de glifosato, avaliados ao longo de 60 DAA. Manaus-Am, 2020.

FV	GL	QM
1ª Aplicação		
Tempo	3	9,156*
Doses	6	5,314*
Tempo x Doses	18	3,098*
Resíduos	84	0,655
CV%		52,59
2ª Aplicação		
Tempo	5	1,371*
Doses	4	0,063ns
Tempo x Doses	20	0,130*
Resíduos	90	0,028
CV%		17,79

* = significativo ao nível 5% de probabilidade; ns= não significativo.

A concentração de prolina foi avaliada até os 30 dias após a aplicação de glifosato, devido a perda excessiva de folhas após este período. Para as doses não apresentadas em gráfico, não foram encontradas equações que explicassem biologicamente a ação do glifosato sobre as concentrações de prolina em mudas de guaranazeiro.

A dose 2 teve semelhante comportamento das mudas sem aplicação de glifosato portanto não houve alteração nos teores de prolina esta dose. Todavia as doses 1 e 3 sofreram redução de concentração de prolina a partir dos 7DAA, mas os 30DAA a concentração de prolina foi semelhante ao controle (Figura 23).



Dose 0= 0g ae/ha; 1= 126g ae/ha; 2= 1080g ae/ha e 3= 3240g ae/ha.

Figura 23. Concentração de prolina em mudas de guaranazeiro, cultivar BRS-Maués, submetidas a 7 doses de glifosato, avaliadas durante 60 DAA. Manaus-Am, 2020.

Em linhas gerais a ação do glifosato não alterou a concentração de prolina em mudas de guaranazeiro, apesar do comportamento das curvas na aplicação 1. A prolina é um aminoácido que concentra principalmente nas plantas que sofrem estresse hídrico e salino, mas pode ser indicador de outros tipos de estresses (SILVA, 2010). Em espécies submetidas à interferência por plantas daninhas, o acúmulo de prolina apresentou-se como excelente indicador para estabelecer o período de interferência das plantas daninhas, para a cultura da mandioca (MILÉO, 2014); laranjeira (GONÇALVES, 2015) e em abacaxizeiro (OLIVEIRA, 2019) estudos esses conduzidos no Estado do Amazonas com culturas bem adaptadas a região como é o caso da cultura do guaranazeiro.

6. CONCLUSÃO

Baixas doses do herbicida glifosato não interferiram no crescimento de mudas de guaranazeiro cultivar BRS-Maués;

Apenas as maiores doses aplicadas causaram a morte das mudas de guaranazeiro;

O glifosato não alterou o incremento de trocas gasosas e nem a concentração de compostos cloroplastídeos;

O glifosato causou sintomas visuais de fitotoxidez nas folhas de mudas de guaranazeiro, no entanto as baixas doses não comprometeram o seu desenvolvimento;

As maiores doses de glifosato causaram a incidência e severidade de antracnose nas mudas de guaranazeiro, porém nas baixas doses, não houve incidência;

Com base nos resultados obtidos, o uso do glifosato é uma ferramenta que pode ser inserida como parte do manejo integrado de plantas daninhas, em área com o cultivo de guaranazeiro, sem que haja prejuízos no desenvolvimento da cultura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAS, T et al. Limitations of existing weed control practices necessitate development of alternative techniques based on biological approaches. Cap 5. **Advances in Agronomy**, v.147, p.239-280, 2018.
- AHMAD, P et. al. Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. **Critical Reviews in Biotechnology**, v.30, p.161-175, 2010.
- ALBERTINO, S. M. F et al. Rooting of guarana cultivar cuttings with fertilization of matrix plants. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1449-1454, 2012.
- ALBURQUEQUE A et al. Pesticides in Brazilian freshwaters: a critical review. **Environ Sci Process Impacts**, v.18, p.779-787, 2016.
- ALVES, L. W. R; SILVA, J. B; SOUZA, I. F. Efeito da aplicação de subdoses dos herbicidas glyphosate e oxyfluorfen, simulando deriva sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, p.889-897, 2000.
- ALVINO, C. A. et al. Interferência e controle de plantas daninhas nas culturas agrícolas. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, 2011.
- ASHIHARA, H et al. Xanthine Alkaloids: Occurrence, Biosynthesis, and Function in Plants. **Progress in the Chemistry of Organic Natural Products**, v.105, p 1-88, 2017.
- ARAÚJO, J. C. A. et al. Antracnose do Guaranazeiro e seu Controle. **Comunicado Técnico**, 46, Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, p. 4, 2007.
- DE AREIA, C. A. Anatomia da folh de guaraná *Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke (Sapindaceae). **Rodriguésia**, v. 25, p.297-312, 1996.
- ATROCH, A. L. Avaliação e seleção de progênies de meios irmãos de guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) utilizando caracteres morfo-agronômicos. **Tese**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus, p.72, 2009.
- ATROCH, A. L. Situação da cultura do guaraná no Estado do Amazonas. **Reunião técnica da cultura do guaraná no estado do Amazonas**, v. 1, 2001.
- ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J. Guarana - *Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke. **Exotic Fruits**, Elsevier, p. 225-236, 2018.
- ATROCH, A.L. Aspectos gerais da cultura do guaraná. **Foods and Food Ingredients Journal of Japan**, v.204, p.53-59, 2002.
- BAGATTA, M. V. B. et al. Efeito de subdoses de glyphosate e 2,4-d simulando deriva na cultura de mamona. **Cultura Agronômica**, v.24, p.361-370, 2015.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.

BAYLIS, A. D. Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. **Pest Management Science**, v. 56, p. 299-308, 2000.

BRUGGEN, V. et al. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. **Science of The Total Environment**, v. 616–617, p. 255–268, 2018.

CARDOSO, F. B. Aspectos da produção da guaranicultura nos municípios de Apuí e Urucará no período de 1990 à 2007: a produtividade da terra. **Dissertação**. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, p. 93, 2010.

CASTANHEIRA, D. T. et al. Growth, anatomy and physiology of coffee plants intoxicated by the herbicide glyphosate. **Coffee Science**, v. 14, p. 76 – 82, 2019.

CEDERLUND, H. Effects of spray drift of glyphosate on nontarget terrestrial plants - a critical review. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 36, p. 2879 - 2886, 2017.

CERVEIRA JUNIOR, W. R. et al. Growth, orphological, metabolic and photosynthetic responses of clones of eucalyptus to glyphosate. **Forest Ecology and Management**, v. 470-471, p. 118218, 2020.

CETESB. Glifosato: Ficha de informação toxicológica. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Glifosato.pdf>. Acesso em: dez. 2021.

CHEN, R.; WANG, H.; WANG, C. Translocation and Metabolism of Injected Glyphosate in Lead Tree (*Leucaena leucocephala*). **Weed Science**, v. 57, p. 229-234, 2009.

CHEN C. T; KAO, C. H. Osmotic stress and water stress have opposite effects on putrescine and proline production in excised rice leaves. **Plant Growth Regulation** v.13, p.197-202, 1993

CORRÊA, M. J. P; ALVES, P. L. C. A. Efeitos da aplicação de herbicidas sobre a eficiência fotoquímica em plantas de soja convencional e geneticamente modificada. **Ciências e Agrotecnologia**, v. 34, p.1136-1145, 2010.

CONCENÇO, C. et al. Características fisiológicas de *Crambe abyssinica* sob aplicação de herbicidas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, p. 361-369, 2014.

COSTA, N. V; FERREIRA, S. D; SILVA, S. C. Crescimento inicial de *Jatropha curcas* L. sob doses de fósforo e deriva de glyphosate. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, p.5506, 2018.

COSTA, R. S. C; FERREIRA, M. G. R. Instruções para o cultivo do guaranazeiro em Rondônia. **Folder**. EMBRAPA Rondônia, Porto Velho, 2011.

FERREIRA, E. A. et al. Respostas fisiológicas da mandioca à aplicação de herbicidas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, p. 645-656, 2015.

DUCKE, A. Diversidades dos guaranás. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 3, p.155-156, 1937.

- DUKE, S.O et al. Interactions of synthetic herbicides with plant disease and microbial herbicides. **Novel Biotechnologies for Biocontrol Agent Enhancement and Management**, NATO Security through Science Series, p. 277-296, 2007.
- DUKE, S. O; BAERSON, S. R; RIMANDO, A. M. **Glyphosate**: Encyclopedia of agrochemicals. 1ªEd. Journal of the American Chemical Society, v.125, p. 6010-6341, 2003.
- EMBRAPA. Portfólio de Cultivares de Guaranazeiro. **Cartilha**. Embrapa Amazonia Ocidental, Manaus, p.1-16, 2011.
- FARIA, G. S. Tolerância de duas espécies de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. e *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne) ao glifosato. **Dissertação**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 63p, 2020.
- FARIAS, C.C.M et al. Efeitos de subdoses de glyphosate em plantas jovens de seringueira (*Hevea brasiliensis* Aubl.). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 11, p. 119-125, 2012.
- FENG, P. C. C; CHIU, T; SAMMONS, R.D. Glyphosate efficacy is contributed by its tissue concentration and sensitivity in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 77, p. 83-91, 2003.
- FONTES, J. NASCIMENTO-FILHO, F. Controle de plantas daninhas em guaranazais. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus. **Circular Técnica**, 29, p.19, 2007.
- FRANÇA, A. C. et al. Deriva simulada do glyphosate em cultivares de café Acaiá e Catucaí. **Planta Daninha**, v. 31, p. 443-451, 2013.
- FRANÇA, A. C. et al. Growth of Arabica Coffee Cultivars Submitted to Glyphosate Doses. **Planta Daninha**, v. 28, p. 599-607, 2010.
- FUCHS, B. SAIKKONEN, K; HELANDER, M. Glyphosate-Modulated Biosynthesis Driving Plant Defense and Species Interactions. **Trends in Plant Science**, v. 26, p. 312-323, 2020.
- GAMA, L. A. Phytosociology and cover analysis in the suppression of weeds from an Amazonian agrosystem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, p. 1-9, 2020.
- GARCIA, M. et al. 2021. **Guia prático para caracterização de plântulas de soja e milho sob conjugação TSI e glifosato**. 1ªEd. Nova Xavantina: Ed. Pantanal.
- GODINHO, J. D. et al. A Deriva do herbicida 2, 4-d aplicado com pontas hidráulicas de jato plano tipo leque. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 550-554, 2017.
- GOMES M. P. et al. Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview. **Journal Experimental Botanical**, v.65, p. 4691-4703, 2014.
- GOMES, M. P. et al. Differential effects of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) on photosynthesis and chlorophyll metabolism in willow plants. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 130, p. 65-70, 2016.

GONÇALVES, G. S. Período crítico de interferência de plantas infestantes e seus efeitos sobre as características fisiológicas e nutricionais em laranja “Pera”, no Amazonas. **Tese**. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, p. 104, 2015.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de Adubação para Eucalyptus, Pinus e Espécies Típicas da Mata Atlântica. **Documentos florestais**, v. 23, p.15, 1995.

GRAVENA, R. Respostas bioquímicas e fisiológicas de plantas de citros atingidas pelo glyphosate. **Tese**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, p. 145, 2006.

GRUYS, K. J.; SIKORSKI, J. A. Inhibitors of tryptophan, phenylalanine and tyrosine biosynthesis as herbicides. In: SINGH, B. K. Plant amino acids: biochemistry and biotechnology. 1ª Ed. **Bioscience, Environment & Agriculture, Physical Sciences**, p. 357-384, 1999.

GUSMÃO, G. A, RONDON NETO, R. M; YAMASHITA, O. M. Deriva simulada de glyphosate em plantas jovens de jenipapo (*Genipa americana* L.). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, p. 13-19, 2011.

HERRMANN, K. M; WEAVER, L. M. The shikimate pathway. **Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.**, v. 50, p. 473-503, 1999.

HAMMERSCHMIDT, R. How glyphosate affects plant disease development: it is more than enhanced susceptibility. **Pest. Manag. Sci**, v. 74, p.1054-1063, 2018.

JOHAL, G. S; HUB, D. M. Glyphosate effects on diseases of plants. **European Journal of Agronomy**, v. 31, p. 144-152, 2009.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais renováveis. 2021. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#historicodecomercializacao>> Acesso em: dez. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. **Levantamento sistemático da produção agrícola – LSPA**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: dez. 2021

KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal. 1ª Ed: **Guanabara Kogan S.A**, Rio de Janeiro, p. 479, 2006.

KITCHEN, L. M; WITT, W. W; RIECK, C. E. Inhibition of chlorophyll accumulation by glyphosate. **Weed Science**, v.29, p.513-516, 1981.

KURI, C. M. B. The guaraná industry in Brazil. **International Business & Economics Research Journal**, v. 7, p. 87-98, 2008.

LANGARO, A. C. et al. Alterações fisiológicas na cultura do tomateiro devido à deriva simulada de herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.13, p.40-46, 2014.

LEITE, B. N. et al. Photosynthetic Performance of Guaranazeiro Plants as Affected by Glyphosate Application. **Journal of Agricultural Science**, v. 12, p. 287-294, 2020.

- LICHTENTHALER, H. K; WELLBURN, A. R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, v.603, p.591-592, 1983.
- LINS, H. Crescimento inicial do melão após aplicação de herbicidas em pós-emergência. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.17, p. 11, 2018.
- MACHADO, E. C. et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1161-1170, 2005.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. 1ª Ed. Piracicaba: **Agronômica Ceres**, p. 252, 1980.
- MARQUES, L. L. M. et al. *Paullinia cupana*: a multipurpose plant – a review. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.29, p.77–110. 2019.
- MILÉO, L. J. Período crítico de interferência de plantas daninhas sobre características agronômicas e fisiológicas de duas variedades de mandioca (*Manihot Esculenta* Crantz). **Tese** Universidade Federal do Amazonas, Manaus, p.121, 2014.
- MILÉO, L. J. et al. Plantas daninhas hospedeiras alternativas de *Colletotrichum guaranicola* em cultivos de guaraná no Estado do Amazonas. **Planta Daninha**, v. 25, p.771-782, 2007.
- MOHR, K; SELLERS, B. A; SMEDA, R. J. Application time of day influences glyphosate efficacy. **Weed technology**, v.21, p.7-13, 2007.
- MONQUERO, P. A. et al. Seletividade de herbicidas em mudas das espécies nativas *Acacia polyphylla*, *Enterolobium contortisiliquum* (Fabaceae), *Ceiba speciosa* e *Luehea divaricata* (Malvaceae). **Planta Daninha**, v. 29, p. 159-168, 2011.
- MONQUERO, P et al. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, v.22, p.445-451, 2004.
- MONTEIRO, J. G. et al. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v.49, p.18-25, 2014.
- MORAES, P.V.D; ROSSI, P. Comportamento ambiental do glifosato. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.9, p.22-35, 2010.
- NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Guaraná: BRS-Amazonas e BRS-Maués - clones para o Estado do Amazonas. **Folder**. Embrapa Amazônia Ocidental. Manaus, 1999.
- NETO, A. S. et al. Efeito de doses de glyphosate em deriva simulada em plantas jovens de cacau. **Revista Principia**, n. 56, p. 1-10, 2021.
- OLIVEIRA, S. P. Interferência das plantas daninhas e níveis de infestação do percevejo *Thlastocoris laetus* (Mayr, 1866) (Hemiptera: Coreidae) na cultura do abacaxi (*Ananas comosus* (L) Merrill). **Tese**. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, p. 118, 2019.

- PEREIRA, J. C. R. **Cultura do Guaranazeiro no Amazonas: Sistemas de Produção**. Manaus. Embrapa Amazônia Ocidental. 4^a Ed. 2005.
- PEREIRA, J. C. R; ARAÚJO, J. C. A. Escala Diagramática para Quantificar a Antracnose do Guaranazeiro. **Comunicado técnico**, 70. Embrapa Amazônia Ocidental. Manaus, p. 4, 2009.
- PEREIRA, M. R. R. et al. Absorção de subdoses glyphosate aplicadas em diferentes locais de plantas de eucalipto. **Revista árvore**, v. 35, p. 589-594, 2011.
- PEREIRA, M. R. R. Efeito da deriva de glyphosate sobre algumas características fisiológicas em plantas de eucalipto. **Interciência**, v. 35, p. 279, 2010.
- QUINN, J; TRINKLEIN, D. Accidental herbicide damage on vegetables. **Missouri Produce Growers Bulletin**, p.1-5, 2016.
- RADWAN, D.E.M; FAYEZ, K.A. Photosynthesis, antioxidant status and gas-exchange are altered by glyphosate application in peanut leaves. **Photosynthetica**, v.54, p.307-316, 2016.
- REDDY, K N; RIMANDO A M; DUKE S O. D. Aminomethylphosphonic Acid, a Metabolite of Glyphosate, Causes Injury in Glyphosate-Treated, Glyphosate-Resistant Soybean. **J. Agric. Food Chem.**, v. 52, p. 5139–5143, 2004.
- RODRIGUES, B. N; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. Londrina: IAPAR, p. 697, 2011.
- RUSIN, C; HORST, M.V; et al. Desenvolvimento de mudas de pessegueiros submetidas a doses de glifosato. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.10, p.103-109, 2017.
- SANTOS, S. et al. Ação herbicida na severidade de doenças em plantas cultivadas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, p. 107-115, 2016.
- SANTOS, V. R. S. et al. Análises fisiológicas e morfoanatômicas de *Cenostigma macrophyllum* Tul. (Fabaceae) submetida a diferentes concentrações de glifosato. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, p.159-173, 2020.
- SANYAL, D; SHRESTHA, A. Efeito direto de herbicidas sobre fitopatógenos e desenvolvimento de doenças em vários sistemas de cultivo. **Weed Science**, v. 56, p.155-160, 2008.
- SCHIMPL, F. C. et al. Guarana: Revisiting a highly caffeinated plant from the Amazon. **J Ethnopharmacol**, v. 150, p. 14-31, 2013.
- SCHIMPL, F. C. et al. Molecular and biochemical characterization of caffeine synthase and purine alkaloid concentration in guarana fruit. **Phytochemistry**, v. 105, p. 25-36, 2014.
- SIEHL, D. L. Inhibitors of EPSP synthase, glutamine synthetase and histidine synthesis. **Herbicide Activity: Toxicology, Biochemistry and Molecular Biology**, p.37-68, 1997.
- SILVA, F. B. et al. Drift from herbicides application on cultivated and native plants: a review. **Revista Brasileira de Herbicidas**. v.15, p.79-88, 2016.

SILVA, L. et al. Modificações fisiológicas em folhas de pequi (*Caryocar brasiliense*) causadas pela aplicação de glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, p. 165-174, 2016

SILVA, M. A. et al. Efeito hormótico de glyphosate no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v.68, p.973-978, 2009.

SILVA, M. C. A. Caracterização morfológica, atividade enzimática e processo inicial de colonização de *Colletotrichum guaranicola* patogênico e endofítico. **Tese**. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, p. 137, 2016.

SINGH, S. et al. Glyphosate uptake, translocation, resistance emergence in crops, analytical monitoring, toxicity and degradation: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, p. 663–702, 2020.

SOARES, D. O. P. Period of Weed Interference in Guarana Crop. **Planta daninha**, v. 37, p. 1-7, 2019.

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

SOUZA, V. C; LORENZI, H. Botânica Sistemática—Guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. 2ª Ed. Nova Odessa, **Instituto Plantarum**, 2008.

SOUZA, V. C. Botânica Sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II. 2ª Ed. Nova Odessa, **Instituto Plantarum**, 2008.

TORRES, L. G. et al. Alterações nas características fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. **Revista Planta Daninha**, v.30, p.581-587, 2012.
TRICAUD, S; PINTON, F; PEREIRA, H. S. Saberes e práticas locais dos produtores de guaraná (*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis*) do médio Amazonas: duas organizações locais frente à inovação. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 11, p. 33-53, 2016.

TROPICOS.ORG. Missouri Botanical Garden. Acesso em: dez. 2021 Disponível em: <<http://www.tropicos.org>>.

VERCAMPT, H, et al. The functional role of the photosynthetic apparatus in the recovery of *Brassica napus* plants from pre-emergent metazachlor exposure. **Journal of plant physiology**, v. 31, p. 144-152, 2016.

VIEIRA, E. L. et al. Manual de Fisiologia Vegetal. **EDUFMA**: São Luís, p. 230, 2010.

VITAL, R. G. et al. Physiological changes and in the carbohydrate content of sunflower plants submitted to sub-doses of glyphosate and trinexapac-ethyl. **Bragantia**, v. 76, p. 33-44, 2017.

YAMASHITA, O. M et al. Influence of glyphosate and 2,4-D in initial development of forest species. **Scientia Forestalis**, v. 37, p. 359-366, 2009.

YAMADA, T; CASTRO, P. R. C. Efeitos do glyphosate nas plantas: Implicações fisiológicas e agronômicas. **Encarte Técnico: Informações Agronômicas**, International Plant Nutrition Institute, 119, p. 1-24 2007.

YANEV, M; KALINOVA, S. Influence of glyphosate on leaf gas exchange and photosynthetic pigments of broomrape-infested tobacco plants. **Bulg. J. Agric. Sci.**, v. 26, p. 435–440, 2020.

YANNICCARI, M. et al. Glyphosate effects on gas exchange and chlorophyll Fluorescence responses of two *Lolium perenne* L. biotypes with differential herbicide sensitivity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 57, p. 210-217, 2012.

ZHONG, G; WU, Z; et al. Responses of *Hydrilla verticillata* (Lf) Royle and *Vallisneria spiralis* (Lour.) Harato glyphosate exposure. **Chemosphere**, v.193, p.385-393, 2018.

ANEXOS

1. Variáveis das trocas gasosas (Primeira Aplicação)

Tabela 1. Análise de variância para a variável taxa fotossintética A, com interação dos fatores detalhadas, Manaus-Am, 2019.

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	Pr.Fc
Dia	5	614.94113	122.98823	22.4409	0
dose:dia 1	6	17.64646	2.94108	0.5366	0.7795
dose:dia 2	6	18.71873	3.11979	0.5692	0.7542
dose:dia 3	6	136.90800	22.818	4.1635	7 ⁻⁰⁴
dose:dia 14	6	221.31294	36.88549	6.7303	0
dose:dia 30	6	99.70465	16.61744	3.0321	0.0084
dose:dia 60	6	100.68459	16.78077	3.0619	0.0079
<i>Resíduos</i>	<i>126</i>	<i>690.</i>	<i>54824</i>	<i>5.48054</i>	
<i>Total</i>	<i>167</i>	<i>1900</i>	<i>46474</i>		
Dose	6	217.99105	36.33184	6.6292	0
dia:dose 0	5	132.35674	26.47135	4.8301	4 ⁻⁰⁴
dia:dose 6	5	87.81355	17.56271	3.2046	0.0093
dia:dose 12	5	111.89935	22.37987	4.0835	0.0018
dia:dose 30	5	178.39547	35.67909	6.5101	0
dia:dose 50	5	132.18976	26.43795	4.824	5 ⁻⁰⁴
dia:dose 100	5	92.84900	18.5698	3.3883	0.0066
dia:dose 150	5	256.42158	51.28432	9.3575	0
<i>Resíduos</i>	<i>126</i>	<i>690.54824</i>	<i>5.48054</i>		
<i>Total</i>	<i>167</i>	<i>1900.46474</i>			

Tabela 2. Análise de variância para a variável transpiração E, com interação dos fatores detalhadas, Manaus-Am, 2019.

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	Pr.Fc
Dia	5	0.00013	3 ⁻⁰⁵	21.5452	0
dose:dia 0	6	0.00001	0	1.0536	0.3941
dose:dia 3	6	0.00002	0	2.3085	0.0378
dose:dia 7	6	0.00002	0	2.6362	0.0192
dose:dia 14	6	0.00002	0	2.5857	0.0214
dose:dia 30	6	0.00001	0	1.6145	0.1484
dose:dia 60	6	0.00000	0	0.2001	0.9762
<i>Resíduos</i>	<i>126</i>	<i>0.00015</i>	<i>0</i>		
<i>Total</i>	<i>167</i>	<i>0.00036</i>			
Dose	6	0.00001	0	1.9393	0.0794
dia:dose 0	5	0.00002	0	3.5235	0.0051
dia:dose 6	5	0.00002	0	3.0976	0.0113
dia:dose 12	5	0.00002	0	3.469	0.0057
dia:dose 30	5	0.00003	1 ⁻⁰⁵	5.4657	1 ⁻⁰⁴
dia:dose 50	5	0.00004	1 ⁻⁰⁵	6.6796	0
dia:dose 100	5	0.00004	1 ⁻⁰⁵	6.1375	0
dia:dose 150	5	0.00002	0	3.3235	0.0075
<i>Resíduos</i>	<i>126</i>	<i>0.00015</i>	<i>0</i>		
<i>Total</i>	<i>167</i>	<i>0.00036</i>			

Tabela 3. Análise de variância para a variável carbono interno (Ci), com interação dos fatores detalhados, Manaus-Am, 2019.

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	Pr.Fc
Dia	5	166.84695	33.36939	37.8656	0
dose:dia 0	6	1.30886	0.21814	0.2475	0.9595
dose:dia 3	6	8.55910	1.42652	1.6187	0.1472
dose:dia 7	6	8.96386	1.49398	1.6953	0.1274
dose:dia 14	6	2.30723	0.38454	0.4364	0.8534
dose:dia 30	6	2.27458	0.3791	0.4302	0.8577
dose:dia 60	6	911.67214	151.94536	172.4188	0
<i>Resíduos</i>	<i>126</i>	<i>111.03847</i>	<i>0.88126</i>		
<i>Total</i>	<i>167</i>	<i>1212.97119</i>			
Dose	6	162.41259	27.06877	30.7161	0
dia:dose 0	5	2.10151	0.4203	0.4769	0.7929
dia:dose 6	5	9.54749	1.9095	2.1668	0.0619
dia:dose 12	5	21.26084	4.25217	4.8251	5 ⁻⁰⁴
dia:dose 30	5	15.39135	3.07827	3.493	0.0054
dia:dose 50	5	3.95949	0.7919	0.8986	0.4843
dia:dose 100	5	10.39914	2.07983	2.3601	0.0438
dia:dose 150	5	876.86030	175.37206	199.002	0
<i>Resíduos</i>	<i>126</i>	<i>111.03847</i>	<i>0.88126</i>		
<i>Total</i>	<i>167</i>	<i>1212.97119</i>			

Tabela 4. Análise de variância para a variável condutância estomática (Gs) com interação dos fatores detalhados, Manaus-Am, 2019.

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	Pr.Fc
Dia	5	0.61265	0.12253	26.2738	0
dose:dia 0	6	0.06213	0.01035	2.2203	0.0453
dose:dia 3	6	0.02479	0.00413	0.886	0.5074
dose:dia 7	6	0.05938	0.0099	2.122	0.0552
dose:dia 14	6	0.09509	0.01585	3.3985	0.0038
dose:dia 30	6	0.04493	0.00749	1.6058	0.1508
dose:dia 60	6	0.00338	0.00056	0.121	0.9937
<i>Resíduos</i>	<i>126</i>	<i>0.58761</i>	<i>0.00466</i>		
<i>Total</i>	<i>167</i>	<i>1.48997</i>			
Dose	6	0.05190	0.00865	1.8546	0.0937
dia:dose 0	5	0.08539	0.01708	3.6622	0.004
dia:dose 6	5	0.12814	0.02563	5.4953	1 ⁻⁰⁴
dia:dose 12	5	0.14779	0.02956	6.338	0
dia:dose 30	5	0.12380	0.02476	5.3094	2 ⁻⁰⁴
dia:dose 50	5	0.17544	0.03509	7.5238	0
dia:dose 100	5	0.05185	0.01037	2.2237	0.0559
dia:dose 150	5	0.13804	0.02761	5.92	1 ⁻⁰⁴
<i>Resíduos</i>	<i>126</i>	<i>0.58761</i>	<i>0.00466</i>		
<i>Total</i>	<i>167</i>	<i>1.48997</i>			

Tabela 5. Análise de variância para a variável eficiência no uso da água (EUA) com interação dos fatores detalhados, Manaus-Am, 2019.

Fatores	GL	SQ	QM	Pc	Fr.Pc
Dia	5	12423340.1	2484668.02585	6.8245	0
dose:dia 0	6	898701.0	149783.50658	0.4114	0.8704
dose:dia 3	6	997906.8	166317.80247	0.4568	0.839
dose:dia 7	6	6592665.1	1098777.50903	3.0179	0.0086
dose:dia 14	6	2446168.3	407694.71514	1.1198	0.3546
dose:dia 30	6	1696892.7	282815.44455	0.7768	0.5896
dose:dia 60	6	8247678.8	1374613.1267	3.7756	0.0017
<i>Resíduos</i>	<i>126</i>	<i>45874220.4</i>	<i>364081.11406</i>		
<i>Total</i>	<i>167</i>	<i>79177573.1</i>			
Dose	6	4005476	667579.40145	1.8336	0.0977
dia:dose 0	5	5042494	1008498.74825	2.77	0.0208
dia:dose 6	5	5521240	1104248.06878	3.033	0.0128
dia:dose 12	5	2123278	424655.63437	1.1664	0.3294
dia:dose 30	5	6505984	1301196.81218	3.5739	0.0047
dia:dose 50	5	3624857	724971.38891	1.9912	0.0843
dia:dose 100	5	3058768	611753.62549	1.6803	0.1441
dia:dose 150	5	3421255	684250.99151	1.8794	0.1025
<i>Resíduos</i>	<i>126</i>	<i>45874220</i>	<i>364081.11406</i>		
<i>Total</i>	<i>167</i>	<i>79177573</i>			

2. Variáveis das trocas gasosas (Segunda Aplicação)

Tabela 1. Análise de variância para a variável taxa fotossintética (A) com interação dos fatores detalhados, Manaus-Am, 2019.

Fatores	DF	SS	MS	Fc	Pr.Fc
Dia	5	172.72862	34.54572	5.3747	2 ⁻⁰⁴
dose:dia 0	4	119.44736	29.86184	4.646	0.0019
dose:dia 3	4	22.44226	5.61057	0.8729	0.4835
dose:dia 7	4	63.74205	15.93551	2.4793	0.0495
dose:dia 14	4	46.47044	11.61761	1.8075	0.1343
dose:dia 30	4	2.24691	0.56173	0.0874	0.9862
dose:dia 60	4	4.27457	1.06864	0.1663	0.955
<i>Resíduos</i>	<i>90</i>	<i>578.47475</i>	<i>6.4275</i>		
<i>Total</i>	<i>119</i>	<i>1009.82696</i>			
Dose	4	79.09982	19.77495	3.0766	0.0201
dia:dose 0	5	41.65730	8.33146	1.2962	0.2726
dia:dose 6	5	155.51316	31.10263	4.839	6 ⁻⁰⁴
dia:dose 12	5	86.78735	17.35747	2.7005	0.0255
dia:dose 30	5	47.29735	9.45947	1.4717	0.2069
dia:dose 50	5	20.99723	4.19945	0.6534	0.6597
<i>Resíduos</i>	<i>90</i>	<i>578.47475</i>	<i>6.4275</i>		
<i>Total</i>	<i>119</i>	<i>1009.82696</i>			

Tabela 2. Análise de variância para a variável transpiração (E) com interação dos fatores detalhados, Manaus-Am, 2019.

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	Pr.Fc
Dia	5	80620.611	16124.12227	10.2103	0
dose:dia 0	4	20692.797	5173.1992	3.2758	0.0148
dose:dia 3	4	1743.469	435.86729	0.276	0.8928
dose:dia 7	4	1829.640	457.40991	0.2896	0.884
dose:dia 14	4	10622.419	2655.60474	1.6816	0.1612
dose:dia 30	4	5186.554	1296.63848	0.8211	0.5151
dose:dia 60	4	1602.357	400.58937	0.2537	0.9067
<i>Resíduos</i>	90	142128.376	1579.20418		
<i>Total</i>	119	264426.223			
Dose	4	3673.118	918.27938	0.5815	0.6768
dia:dose 0	5	20014.594	4002.91875	2.5348	0.0341
dia:dose 6	5	27510.024	5502.00476	3.484	0.0063
dia:dose 12	5	23236.905	4647.381	2.9429	0.0166
dia:dose 30	5	29816.718	5963.34369	3.7762	0.0038
dia:dose 50	5	18046.489	3609.29775	2.2855	0.0527
<i>Resíduos</i>	90	142128.376	1579.20418		
<i>Total</i>	119	264426.223			

Tabela 3. Análise de variância para a variável carbono interno (Ci) com interação dos fatores detalhados, Manaus-Am, 2019.

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	Pr.Fc
Dia	5	0.00012	2 ⁻⁰⁵	14.4691	0
dose:dia 0	4	0.00004	1 ⁻⁰⁵	6.4527	1 ⁻⁰⁴
dose:dia 3	4	0.00002	0	2.2975	0.0651
dose:dia 7	4	0.00002	1 ⁻⁰⁵	3.5561	0.0097
dose:dia 14	4	0.00001	0	1.1882	0.3214
dose:dia 30	4	0.00000	0	0.5838	0.6752
dose:dia 60	4	0.00000	0	0.3039	0.8747
<i>Resíduos</i>	90	0.00016	0		
<i>Total</i>	119	0.00038			
Dose	4	0.00002	1 ⁻⁰⁵	3.5656	0.0095
dia:dose 0	5	0.00003	1 ⁻⁰⁵	3.9003	0.003
dia:dose 6	5	0.00006	1 ⁻⁰⁵	6.7245	0
dia:dose 12	5	0.00004	1 ⁻⁰⁵	4.7069	7 ⁻⁰⁴
dia:dose 30	5	0.00005	1 ⁻⁰⁵	6.2085	1 ⁻⁰⁴
dia:dose 50	5	0.00001	0	1.5821	0.1732
<i>Resíduos</i>	90	0.00016	0		
<i>Total</i>	119	0.00038			

Tabela 4. Análise de variância para a variável condutância estomática (Gs) com interação dos fatores detalhados, Manaus-Am, 2019.

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	Pr.Fc
Dia	5	172.72862	34.54572	5.3747	2e-04
dose:dia 0	4	119.44736	29.86184	4.646	0.0019
dose:dia 3	4	22.44226	5.61057	0.8729	0.4835
dose:dia 7	4	63.74205	15.93551	2.4793	0.0495
dose:dia 14	4	46.47044	11.61761	1.8075	0.1343
dose:dia 30	4	2.24691	0.56173	0.0874	0.9862
dose:dia 60	4	4.27457	1.06864	0.1663	0.955
<i>Resíduos</i>	<i>90</i>	<i>578.47475</i>	<i>6.4275</i>		
<i>Total</i>	<i>119</i>	<i>1009.82696</i>			
Dose	4	79.09982	19.77495	3.0766	0.0201
dia:dose 0	5	41.65730	8.33146	1.2962	0.2726
dia:dose 6	5	155.51316	31.10263	4.839	6e-04
dia:dose 12	5	86.78735	17.35747	2.7005	0.0255
dia:dose 30	5	47.29735	9.45947	1.4717	0.2069
dia:dose 50	5	20.99723	4.19945	0.6534	0.6597
<i>Resíduos</i>	<i>90</i>	<i>578.47475</i>	<i>6.4275</i>		
<i>Total</i>	<i>119</i>	<i>1009.82696</i>			

Tabela 5. Análise de variância para a variável eficiência no uso da água (EUA) com interação dos fatores detalhados, Manaus-Am, 2019.

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	Pr.Fc
Dia	5	27215899.5	5443179.89798	8.0421	0
dose:dia 0	4	5258507.0	1314626.75119	1.9423	0.1102
dose:dia 3	4	367814.4	91953.60854	0.1359	0.9687
dose:dia 7	4	1051206.0	262801.49211	0.3883	0.8165
dose:dia 14	4	3852536.5	963134.13251	1.423	0.2328
dose:dia 30	4	1494150.1	373537.52122	0.5519	0.6981
dose:dia 60	4	1064145.9	266036.48213	0.3931	0.8131
<i>Resíduos</i>	<i>90</i>	<i>60915253.8</i>	<i>676836.15291</i>		
<i>Total</i>	<i>119</i>	<i>101219513.2</i>			
Dose	4	1088439	272109.66329	0.402	0.8067
dia:dose 0	5	8409443	1681888.50185	2.4849	0.0372
dia:dose 6	5	10302416	2060483.14133	3.0443	0.0139
dia:dose 12	5	6951672	1390334.46516	2.0542	0.0785
dia:dose 30	5	8110183	1622036.6291	2.3965	0.0434
dia:dose 50	5	5442107	1088421.42006	1.6081	0.166
<i>Resíduos</i>	<i>90</i>	<i>60915254</i>	<i>676836.15291</i>		
<i>Total</i>	<i>119</i>	<i>101219513</i>			

3. Variável clorofila B (Segunda Aplicação)

Tabela 1. Análise de variância para a clorofila B com interação dos fatores detalhados, Manaus-Am, 2020.

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	Pr.Fc
Dia	5	14.99944	2.99989	9.329	0
dose:dia 0	4	11.28298	2.82075	8.7719	0
dose:dia 3	4	16.06529	4.01632	12.4899	0
dose:dia 7	4	14.22014	3.55504	11.0554	0
dose:dia 14	4	0.60631	0.15158	0.4714	0.7566
dose:dia 30	4	6.84210	1.71053	5.3194	7 ⁻⁰⁴
dose:dia 60	4	12.41234	3.10309	9.6499	0
<i>Resíduos</i>	<i>90</i>	<i>28.94098</i>	<i>0.32157</i>		
<i>Total</i>	<i>119</i>	<i>105.36959</i>			
Dose	4	8.08612	2.02153	6.2865	2 ⁻⁰⁴
dia:dose 0	5	17.90428	3.58086	11.1357	0
dia:dose 6	5	14.36573	2.87315	8.9348	0
dia:dose 12	5	11.17012	2.23402	6.9473	0
dia:dose 30	5	22.44505	4.48901	13.9598	0
dia:dose 50	5	2.45732	0.49146	1.5283	0.1889
<i>Resíduos</i>	<i>90</i>	<i>28.94098</i>	<i>0.32157</i>		
<i>Total</i>	<i>119</i>	<i>105.36959</i>			