

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

GERLAN DO NASCIMENTO RODRIGUES

SELETIVIDADE DE HERBICIDAS E ADUBAÇÃO NITROGENADA NO CULTIVO DE
PALMA FORRAGEIRA (*NOPALEA COCHENILLIFERA*) (L.) SALM – DICK CV MIÚDA.

RIO LARGO – AL
2024

GERLAN DO NASCIMENTO RODRIGUES

**SELETIVIDADE DE HERBICIDAS E ADUBAÇÃO NITROGENADA NO CULTIVO
DE PALMA FORRAGEIRA (*NOPALEA COCHENILLIFERA*) (L.) SALM – DICK CV
MIÚDA.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Prof^o. Dr. Jorge Luiz Xavier Lins Cunha.

Coorientador: Prof^o. Dr. Renan Cantalice de Souza

RIO LARGO – AL
2024

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias – CECA
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana
CRB - 1512

R696s Rodrigues, Gerlan do Nascimento.
Seletividade de herbicidas e adubação nitrogenada no cultivo de palma forrageira (*nopalea cochenillifera*) (L.) salm – dick cv miúda. / Gerlan do Nascimento Rodrigues. – 2024.

100 f.: il.

Orientador (a): Jorge Luiz Xavier Lins Cunha.
Coorientador: Renan Cantalice de Souza

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio largo, 2024.

Inclui Bibliografia
1. Adaptabilidade. 2. *Begomovirus*. 3. *Annonaceae*. 4. Controle alternativo. 5. Mosca-branca.

CDU:633.3: 632

Folha de Aprovação

GERLAN DO NASCIMENTO RODRIGUES

(Seletividade de herbicidas e adubação nitrogenada no cultivo de palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) (L.) Salm – dick cv miúda.)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Aprovado em: 29/05/2024

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

JORGE LUIZ XAVIER LINS CUNHA

Data: 05/06/2024 05:50:10-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Prof. Dr. Jorge Luiz Xavier Lins Cunha, Universidade Federal de Alagoas)
(Orientador)



Documento assinado digitalmente

JOAO LUCIANO DE ANDRADE MELO JUNIOR

Data: 04/06/2024 14:48:55-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Prof. Dr. João Luciano de Andrade Melo Junior, Universidade Federal de Alagoas)
(Examinador Interno)



Documento assinado digitalmente

JOAO GOMES DA COSTA

Data: 05/06/2024 09:21:16-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. João Gomes da Costa, EMBRAPA)
(Examinador Externo)



Documento assinado digitalmente

ANILDE DA GRACA SOUSA MACIEL

Data: 04/06/2024 19:50:44-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Dra. Anilde da Graça Sousa Maciel, Sec. de Agricultura)
(Examinadora Externa)

Dedico

A Deus, pelo dom da vida e clareza das coisas.

A minha família, especialmente meus pais, Josinaldo Teixeira Rodrigues e Gilvânia Marinho do Nascimento, pelo exemplo de honestidade, dedicação, apoio e incentivo em todas as etapas de minha vida.

A minha esposa Clara Daniele e minha filha do coração Eloá Gomes.

AGREDECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pela oportunidade de viver mais uma etapa sob sua proteção.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jorge Luiz Xavier Lins Cunha, pela paciência e por todos os conselhos e instruções que meu deu, o meu profundo e eterno agradecimento.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Renan Cantalice de Souza pelos ensinamentos durante toda essa jornada.

Ao colega Lucas Alceu Rodrigues de Lima, por toda ajuda concedida durante o desenvolvimento dos trabalhos.

Aos colegas Marcelo Augusto e Erisson Marques da Silva pela ajuda e contribuição no desenvolvimento dos trabalhos.

A todos alunos do laboratório de Tecnologia de Produção que me ajudaram no experimento e deram sua contribuição.

Agradeço ao Centro de Engenharias e Ciências Agrárias – UFAL, em especial ao programa de produção Vegetal e todos que o compõem pela oportunidade do aperfeiçoamento profissional.

RESUMO

A pesquisa teve como objetivos avaliar a seletividade de herbicidas e o efeito da adubação nitrogenada no cultivo da palma forrageira (*N cochenillifera*) cv Miúda. Foram realizados dois trabalhos, o primeiro para avaliação da seletividade de herbicidas e a eficácia de controle das plantas daninhas e o segundo para avaliar adubação nitrogenada. O primeiro trabalho foi dividido em dois experimentos, o primeiro para avaliação da seletividade dos herbicidas e o segundo para avaliação da eficácia de controle das plantas daninhas pelos herbicidas. O segundo trabalho, para avaliação da adubação nitrogenada, foi conduzido um experimento. O primeiro experimento, para avaliar a seletividade dos herbicidas foi realizado no delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 5 x 5 com quatro repetições totalizando 100 parcelas experimentais, sendo o primeiro fator composto por (isoxaflutole 262,5 g.i.a ha⁻¹, flumioxazina 62,50 g.i.a ha⁻¹, imazapique 147 g.i.a ha⁻¹, sulfentrazone 400 g.i.a ha⁻¹ e testemunha sem herbicida), o segundo fator foi composto por épocas de aplicação (0, 30, 60, 90 e 120) dias após o plantio. Foram avaliados a fitotoxicidade dos herbicidas, número de cladódios por planta, altura e largura das plantas e índice de área de cladódios, eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) e produtividade de massa verde e seca da parte aérea e massa seca da raiz da palma forrageira. Foram realizadas duas avaliações, aos 15 e 60 dias após a aplicação dos herbicidas, exceto para as variáveis de produtividade, cuja avaliação ocorreu no momento da colheita, aos 300 dias após o plantio. O segundo experimento, para avaliação da eficácia de controle das plantas daninhas, foi realizado no delineamento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 4 repetições, os tratamentos foram compostos pelos 4 herbicidas + a testemunha do experimento 1. Foi avaliado o percentual de controle das plantas daninhas com base no fluxo de emergência do tratamento controle, foram realizadas 3 avaliações aos 30, 60 e 90 dias após a aplicação dos herbicidas. O experimento para avaliação da adubação foi realizado no delineamento em blocos casualizado, os tratamentos foram compostos por doses de nitrogênio (0, 25, 50, 100, 200, 400) kg ha⁻¹ de N e 4 repetições, totalizando 24 parcelas. As avaliações ocorreram aos 720 dias após o plantio e foram avaliadas a produtividade de massa verde e seca da parte aérea, número de cladódios por planta e por hectare, altura e largura de planta, índice de área de cladódios e a dose econômica de N. No primeiro trabalho (experimento 1), todas as variáveis foram influenciadas pelos herbicidas. Fitotoxicidade e altura de planta apresentaram interação significativa nas duas avaliações, aos 15 e 60 dias após a aplicação (DAA). O Índice de área de cladódios e Fv/Fm apresentaram interação entre os fatores apenas na primeira avaliação, pois sofreram interferência de isoxaflutole e flumioxazina, contudo, aos 60 DAA, as plantas se recuperaram, não havendo mais efeitos desses herbicidas. O número de cladódios por planta foi afetado pelos herbicidas apenas na primeira avaliação aos 15 DAA, aos 60 DAA essa variável foi significativa apenas para épocas de aplicação indicando recuperação das plantas tratadas. A largura de planta não sofreu alterações pelos herbicidas, e apresentou significância apenas para épocas de aplicação. Os herbicidas isoxaflutole e flumioxazina causaram injúrias e redução no número de cladódios, índice de área de cladódios e fotossíntese da palma, porém não afetaram a produtividade da cultura, já imazapique e sulfentrazone não afetaram as características produtivas e morfológica da palma forrageira cv Miúda, independente da época de aplicação. Todos os herbicidas testados foram eficazes no controle das plantas daninhas e são seletivos para a palma forrageira cv Miúda, porém isoxaflutole e flumioxazina devem ser aplicados no momento do plantio para maior segurança. No

experimento de adubação, todas as variáveis foram influenciadas pelas doses de nitrogênio e apresentaram resposta quadrática significativa ($p < 0,01$). Os maiores valores estimados de produtividade de MV e MS 308,84 e 31,29 t ha⁻¹ estão respectivamente associados às doses de 214,17 e 251 kg ha⁻¹ de N o que representa um incremento produtivo de 45,32 e 67,42% em relação ao tratamento sem adubação, o NCP e NCH apresentaram resposta quadrática significativa ($p < 0,01$) à adubação nitrogenada com valores máximos estimados de 48,62 e 2.035.100,43 cladódios respectivamente. Para ALP e LGP os valores máximos estimados foram de 95,98 e 65 cm nas doses de 212 e 200 kg ha⁻¹ de N respectivamente. O índice de cladódios apresentou valor máximo de 3,88 m² m⁻² na dose de 221 kg ha⁻¹ de N, que representa um incremento 55,20% quando não se usa N. A palma forrageira (*N. cochenillifera*) cv Miúda é responsiva a adubação nitrogenada que promove ganhos significativos em suas características produtivas e de crescimento.

Palavras chave: cactácea, xerófita, forrageiras, controle químico, nutrição mineral.

ABSTRACT

The research aimed to evaluate the selectivity of herbicides and the effect of nitrogen fertilization on the cultivation of forage cactus (*N. cochenillifera*) cv Miúda. Two studies were conducted: the first to evaluate the selectivity of herbicides and weed control efficacy, and the second to assess nitrogen fertilization. The first study was divided into two experiments: the first for herbicide selectivity evaluation and the second for weed control efficacy assessment. The second study involved one experiment to evaluate nitrogen fertilization. The first experiment, assessing herbicide selectivity, was conducted in a completely randomized design with a 5 x 5 factorial scheme and four replications, totaling 100 experimental plots. The first factor comprised (isoxaflutole 262.5 g a.i. ha⁻¹, flumioxazin 62.5 g a.i. ha⁻¹, imazapic 147 g a.i. ha⁻¹, sulfentrazone 400 g a.i. ha⁻¹, and control without herbicide), and the second factor comprised application times (0, 30, 60, 90, 120) days after planting. Evaluated variables included herbicide phytotoxicity, number of cladodes per plant, plant height and width, cladode area index, photochemical efficiency of photosystem II (F_v/F_m), and green and dry mass productivity of the aerial part and root dry mass. Evaluations occurred at 15 and 60 days after herbicide application, except for productivity variables, which were assessed at harvest, 300 days after planting. The second experiment, assessing weed control efficacy, was conducted in a completely randomized design with five treatments and four replications. Treatments included the four herbicides plus the control from the first experiment. Weed control percentage was evaluated based on the emergence flux in the control treatment, with assessments at 30, 60, and 90 days after herbicide application. The nitrogen fertilization experiment was conducted in a randomized block design. Treatments included nitrogen doses (0, 25, 50, 100, 200, 400 kg ha⁻¹) with four replications, totaling 24 plots. Evaluations occurred 720 days after planting and assessed green and dry mass productivity of the aerial part, number of cladodes per plant and per hectare, plant height and width, cladode area index, and economic nitrogen dose. In the first study (experiment 1), all variables were influenced by herbicides. Phytotoxicity and plant height showed significant interaction at both 15 and 60 days after application (DAA). Cladode area index and F_v/F_m showed interaction only in the first evaluation, affected by isoxaflutole and flumioxazin, but plants recovered by 60 DAA. Number of cladodes per plant was affected by herbicides only at 15 DAA, with significance for application times at 60 DAA, indicating plant recovery. Plant width was not affected by herbicides but was significant for application times. Isoxaflutole and flumioxazin caused injuries and reduced number of cladodes, cladode area index, and photosynthesis, but did not affect productivity. Imazapic and sulfentrazone did not affect productivity or morphology of forage cactus cv Miúda, regardless of application time. All herbicides were effective in weed control and selective for forage cactus cv Miúda, with isoxaflutole and flumioxazin recommended at planting for safety. In the fertilization experiment, all variables were influenced by nitrogen doses, showing significant quadratic response ($p < 0.01$). Estimated maximum green and dry mass productivity were 308.84 and 31.29 t ha⁻¹, respectively, associated with 214.17 and 251 kg ha⁻¹ of N, representing 45.32% and 67.42% increases over no fertilization. Number of cladodes per plant and per hectare showed significant quadratic response ($p < 0.01$) with maximum estimated values of 48.62 and 2,035,100.43 cladodes, respectively. Maximum estimated plant height and width were 95.98 and 65 cm at 212 and 200 kg ha⁻¹ of N, respectively. Cladode area index reached a maximum of 3.88 m² m⁻² at 221 kg ha⁻¹ of N, a 55.20% increase without N. Forage cactus (*N.*

cochenillifera) cv Miúda responds well to nitrogen fertilization, significantly enhancing growth and productivity.

Keywords: cactus, xerophyte, forage plants, chemical control, mineral nutrition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO II

Figura 1 - Visão geral das parcelas experimentais.....	43
Figura 2 - Pinça adaptada para palma forrageira (A) e mensuração com uso da pinça (B). ...	46
Figura 3 - Procedimento para a retirada das raízes do vaso. Torrão contendo o cladódio e o solo (A), Solo depositado na bandeja para humedecimento (B), Solo com água para extração das raízes (C), Extração das raízes com água e peneira (D).	46
Figura 4 - Fitotoxicidade de herbicidas na palma forrageira cv Miúda, em função de épocas de aplicação (DAP), com 15 dias após a aplicação. Dados médios referentes a notas, variando de 1 (ausência de injúrias) a 9 (perda total).....	50
Figura 5 - Fitotoxicidade de isoxaflutole e flumioxazina na palma forrageira cv Miúda em função das épocas de aplicação desses herbicidas.	52
Figura 6 - Fitotoxicidade de herbicidas na palma forrageira cv Miúda, em função de épocas de aplicação (DAP), com 60 dias após a aplicação. Dados médios referentes a notas, variando de 1 (ausência de injúrias) a 9 (perda total).....	53
Figura 7 - Cladódios com sintomas de fitotoxicidade causadas pelos herbicidas (isoxaflutole A) e (Flumioxazina B).	54
Figura 8 - Rendimento quântico potencial do fotossistema II (Fv/Fm), da palma forrageira (N. cochenillifera) cv Miúda submetida a aplicação de herbicidas em diferentes épocas de aplicação com 15 DAA.....	55
Figura 9 - Efeito de isaxaflutole sobre a atividade fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) da palma forrageira cv Miúda em função das épocas de aplicação do herbicida.....	56
Figura 10 - Número de cladódios por planta da palma forrageira Miúda em função dos herbicidas (A) e épocas de aplicação (B) com 15 dias após a aplicação.	58
Figura 11 - Número de cladódios por planta da palma forrageira Miúda em função das épocas de aplicação dos herbicidas com 60 dias após a aplicação.	58
Figura 12 - Efeito dos herbicidas na altura de planta da palma forrageira Miúda em diferentes épocas de aplicação, aos 15 DAA.	60
Figura 13 - Efeito de herbicidas na altura de planta da palma forrageira Miúda em diferentes épocas de aplicação de herbicidas aos 60 dias após a aplicação.	61
Figura 14 - Largura de planta da palma forrageira cv Miúda em diferentes épocas de aplicação de herbicidas, aos 15 dias após a aplicação (A) e aos 60 dias após a aplicação (B).	62
Figura 15 - Índice de área de cladódios (IAC) da palma Miúda em resposta à aplicação dos herbicidas e épocas de aplicação aos 15 (DAA).	63
Figura 16 - Índice de área foliar (IAC) da palma forrageira cv Miúda submetida à aplicação de flumioxazina e isoxaflutole em diferentes épocas de aplicação.	64
Figura 17 - Índice de área de cladódios (IAC) da palma Miúda em função de diferentes épocas de aplicação de herbicidas com 60 DAA.....	65

CAPÍTULO III

Figura 18 - Precipitação e temperatura média no período de condução do experimento.	81
Figura 19 - Pesagem da palma no campo.	84

Figura 20 - Produtividade de massa verde (A) e seca (B) da parte aérea da palma forrageira cv Miúda (<i>Nopalea cochenillifera</i>) em função de doses de adubação nitrogenada.	87
Figura 21 - Efeito das doses de adubação nitrogenada sobre a quantidade de cladódios por planta e por hectare da palma forrageira CV Miúda (<i>Nopalea cochenillifera</i>).	88
Figura 22 - Efeito das doses de adubação nitrogenada sobre a altura (A) e largura (B) de planta da palma forrageira CV Miúda (<i>Nopalea cochenillifera</i>).	89
Figura 23 - Efeito das doses de adubação nitrogenada sobre o índice de área de cladódios (IAC) da palma forrageira CV Miúda (<i>Nopalea cochenillifera</i>).	91

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1 - Análise química do solo.	44
Tabela 2 - Escala de nota visual para avaliação de fitotoxicidade E.R.W.C. (European Research Weed Council, 1964). Onde “nota 1” significa ausência de sintomas e “nota 9” significa morte de 100% das plantas.	44
Tabela 3 - Resumo da análise de variância para as características fisiológicas e morfológicas da palma forrageira em função dos herbicidas e dias após o plantio (DAP) aos 15 dias após a aplicação.	48
Tabela 4 - Resumo da análise de variância para as características fisiológicas e morfológicas da palma forrageira submetida a aplicação de herbicidas com 60 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA).	49
Tabela 5 - Resumo da Análise de variância para as características produtivas da palma forrageira submetida a aplicação de herbicidas e épocas de aplicação.	66
Tabela 6 - Valores médios de controle de plantas daninhas aos 30, 45 e 90 dias após a aplicação (DAA).	69

CAPÍTULO III

Tabela 7 - Resultado da análise do solo da área experimental na profundidade de 20 cm.	82
Tabela 8 - Resumo das análises de variância para as variáveis produtivas e morfológica da palma forrageira cv Miúda submetida a doses de adubação nitrogenada.	86

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	16
1. INTRODUÇÃO	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Caracterização da palma forrageira	17
2.2 Importância da palma forrageira	19
2.3 Nutrição mineral da palma	20
2.4 Adubação nitrogenada na palma forrageira	21
2.5 Seletividade de herbicidas	23
2.5.1 Flumioxazina	24
2.5.2 Sulfentrazone	26
2.5.3 Isoxaflutole	27
2.5.4 Imazapique	29
3. REFERÊNCIAS	30
CAPÍTULO II	40
Seletividade de herbicidas pré-emergentes no cultivo da palma forrageira (<i>Nopalea cochenillifera</i>) (L.) Salm – Dick cv Miúda.	
RESUMO	40
ABSTRACT	41
1. INTRODUÇÃO	42
2. MATERIAL E MÉTODOS	43
2.1 Local da pesquisa	43
2.2 Avaliação da seletividade dos herbicidas	43
2.3 Avaliação da eficácia dos herbicidas no controle das plantas daninhas	47
2.4 Análise estatística	47
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
3.1 Análise de variância das variáveis morfológicas e fisiológicas	48
3.2 Fitotoxicidade dos herbicidas na palma forrageira	49
3.3 Rendimento quântico potencial do fotossistema II (Fv/Fm)	54
3.4 Número de cladódios por planta	57
3.5 Altura de planta	59
3.6 Largura de planta	62
3.7 Índice de área de cladódios (IAC)	63

3.8 Análise de variância das variáveis de produtividade	65
3.9 Produtividade de massa verde da parte área	66
3.10 Produtividade de massa seca da parte área	67
3.11 Produtividade de massa seca de raiz.	67
3.12 Eficácia dos herbicidas no controle das plantas daninhas	68
4. CONCLUSÕES.....	70
5. REFERÊNCIAS	71

CAPÍTULO III 77

Adubação nitrogenada sobre o desenvolvimento e a produtividade da palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) (L.) Salm – Dick cv Miúda.

RESUMO.....	77
ABSTRACT	78
1. INTRODUÇÃO	79
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	81
2.1 Local do experimento e variáveis meteorológicas.....	81
2.2 Amostragem do solo e calagem	82
2.3 Plantio e adubação de fundação	82
2.4 Instalação do experimento.....	82
2.5 Variáveis e avaliação do experimento	83
2.6 Análise estatística.....	85
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
3.1 Análise de variância	86
3.2 Produtividade de massa verde (MV) e seca (MS).	86
3.3 Número de cladódios por planta e por hectare	88
3.4 Altura e largura de planta	89
3.5 Índice de área de cladódios	90
3.6 Dose econômica de nitrogênio	91
4. CONCLUSÕES.....	93
5. REFERÊNCIAS	94

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

A palma forrageira é uma planta originária do México, encontrada na maioria dos continentes, principalmente em países de clima árido e semiárido. No Brasil, sua introdução ocorreu no século XVIII, sendo os dois gêneros mais conhecidos e cultivados *Opuntia spp.* e *Nopalea spp.* (LIRA; SANTOS; DIAS, 2017). Estima-se que no Brasil existam em torno de 600.000 hectares cultivados com palma, sendo a maior parte dessa área presente no Nordeste. Os principais clones cultivados são Clone IPA-20 (*Opuntia ficus-indica*), Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) e Miúda e IPA-Sertânia (*Nopalea cochenillifera*). Todos são resistentes à Cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*), (CAVALCANTE et al., 2014; BEZERRA et al., 2015; MOREIRA et al., 2020).

O cultivo da palma forrageira para a alimentação animal tem se difundido de forma significativa nos últimos anos, em regiões que sofrem com a estacionalidade na produção das culturas no período da seca, contribuindo assim com a resiliência desses sistemas produtivos (LEITE et al., 2018). A palma forrageira é uma planta com potencial de exploração na região semiárida brasileira, em virtude de sua adaptação às características ambientais e de seu alto potencial produtivo em regiões com irregularidade na distribuição de chuvas (SOARES et al., 2021).

Dentre suas características, a palma forrageira é uma planta que possui o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), que garante a sobrevivência dessa planta em ambientes com restrição hídrica. Nesse sentido, essa planta é uma fonte alimentar de relevância para regiões semiáridas, sendo principalmente utilizada como forragem na alimentação animal (SILVA et al., 2014). Por outro lado, a competição com plantas daninhas e o manejo nutricional da cultura são alguns dos principais desafios enfrentados pelos produtores, afetando diretamente a produtividade e a qualidade desta cultura (GALON et al., 2021).

De acordo com Schiessel et al. (2019), as plantas daninhas, ao competirem por fatores de produção, podem reduzir até 92% na produtividade de uma cultura quando não se faz o manejo correto. Essa interferência pode ser mais intensificada no cultivo da palma forrageira devido ao crescimento lento da cultura (SILVA; SOUZA, 2020). Além disso, devido à indisponibilidade de herbicidas seletivos para essa cultura, o manejo de plantas daninhas torna-se mais difícil, tendo os agricultores que lançar mãos de métodos mecânicos de controle, encarecendo os custos de produção.

Outro fator que está relacionado à manutenção de altas produtividades na cultura da palma forrageira é o uso de fertilizantes, tanto orgânicos quanto mineral (SILVA et al., 2016). De acordo com Silva (2012), a palma forrageira é uma cultura bastante exigente em nutrientes e extrai cerca de 374 kg ha⁻¹ de N, 26,4 kg ha⁻¹ de P, 547,8 kg ha⁻¹ de K e 589,6 kg ha⁻¹ de Ca respectivamente. Matos (2020), em seu trabalho com adubação nitrogenada com várias cultivares de palma forrageira, constatou que a cultivar Miúda extraiu a maior quantidade de nitrogênio por kg de massa seca (0,0133 kg kg⁻¹) com adubação de 300 kg ha⁻¹ de N.

Assim, a inserção de fontes externas de nutrientes minerais é imprescindível para aumentar o crescimento e a produção de biomassa da palma forrageira, possibilitando melhoria significativa na rentabilidade do sistema produtivo (SILVA et al., 2015).

Diante do exposto, a pesquisa teve como objetivos avaliar a seletividade de herbicidas pré-emergentes e o efeito da adubação nitrogenada no cultivo da palma forrageira (*N cochenillifera*) cv Miúda.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização da palma forrageira

A palma forrageira é originária do México, mas possui ampla distribuição geográfica, encontra-se dispersa em todos os continentes, exceto nas regiões polares (MARQUES et al. 2017). Essa forrageira pertence ao reino Plantae; divisão Embryophyta; subdivisão Angiospermea; classe Dicotyledoneae; subclasse Archiclamideae; ordem Opuntiales; família Cactaceae. Apresenta 178 gêneros, contemplando em torno de 2.000 espécies conhecidas. Contudo, os dois gêneros de palma utilizados para a produção de forragem no semiárido brasileiro são *Opuntia* e *Nopalea* (SALVADOR et al., 2021).

Dentro do gênero *Nopalea*, as variedades IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck) e Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) ou doce são as mais cultivadas no semiárido alagoano, pois apresentam alta palatabilidade pelos animais e são resistentes a cochonilha do carmim (ALBUQUERQUE et al., 2021). Por outro lado, são exigentes quanto às características do solo, que deve apresentar boa fertilidade, textura arenosa à argilosa, pH próximo de 7 e drenagem eficiente, uma vez que solos encharcados dificultam o desenvolvimento da palma (BARROS et al., 2016).

A variedade míuda apresenta cladódios com média de 25 cm de comprimento com formato abovado (base mais fina que a ponta) e coloração verde intenso brilhante, o caule apresenta grande ramificação e de pequeno porte, as flores são vermelhas e durante o ciclo a

corola permanece semiaberta, o fruto tem formato de baga e com cor roxa (SILVA; SANTOS, 2006; MARQUES et al., 2017).

A propagação é por via sexuada ou assexuada. Sendo a propagação vegetativa por cladódio (modificação de caule e folhas) a mais utilizada (TELES et al., 2002). Em sistemas de plantios adensados é necessário realizar a adubação química, incluindo macro e micronutrientes, sendo a adubação nitrogenada a que mais influencia o crescimento e produtividade da forrageira (CÂNDIDO et al., 2013). A colheita é realizada manualmente quando os palmais atingem idade entre 1 a 2 anos, seguindo-se cortes de intervalos anuais (PADILHA JUNIOR et al., 2016).

De acordo com Amorim et al (2015), as plantas de palma pertencentes ao gênero *Nopalea* apresentam largura média de planta variando de 76,25 cm a 95,50 cm. Pereira et al. (2015A) verificaram largura média de 48,9 cm para IPA Sertânia, e 48,8 cm para Miúda. Em relação aos pesos dos cladódios, Amorim et al. (2015), ao estudar onze variedades de palma forrageira do gênero *Nopalea*, constataram que o peso médio dos cladódios variou de 193,18 g a 516,52 g. Rocha; Voltolini; Gava, (2017) encontraram valores de peso médio de cladódios para Miúda de 0,175 kg, com 16 meses de cultivo. Em relação ao sistema radicular, a palma forrageira se caracteriza por ter um sistema de raízes superficiais, com uma distribuição horizontal no solo que pode atingir uma profundidade de 30 cm em diferentes tipos de solo o que confere a planta maior sobrevivência a grandes períodos de seca, (MARQUES et al., 2017).

A palma forrageira realiza o processo fotossintético CAM (Metabolismo do Ácido das Crassuláceas), o que a torna muito eficiente no uso da água, armazenamento e absorção do CO₂ (Gás Carbônico) no período noturno e transformação em biomassa durante o dia, indicada para as regiões onde a escassez de água é um fator limitante para a produção agropecuária (SANTOS; SANTOS, 2018).

Além disso, a palma forrageira apresenta uma cutícula foliar espessa, cerosa e impermeável que lhe garante manutenção no equilíbrio hídrico, possibilitando uma maior retenção de água no interior das células, além de servir como proteção contra o ataque de algumas pragas, microrganismos e até dificultar a penetração de algumas moléculas químicas como herbicidas (INGLESE; LIGUORI; BARRERA, 2017).

A produtividade e a composição química bromatológica da palma forrageira apresenta grande variação entre as espécies e gêneros em virtude das alterações sazonais e interanuais das condições do ambiente e das práticas de manejo que são realizadas durante seu cultivo (CUNHA, 2021). De acordo com Nkoi et al. (2021), a palma forrageira pode alcançar alta

produtividade se manejada corretamente. Nesse sentido, a adubação orgânica e mineral é uma importante medida de manejo da cultura da palma, devendo ser realizada a cada corte, considerando a elevada extração de nutrientes com a remoção das raquetes.

Em condições de sequeiro, Dubeux Júnior et al. (2015) observaram que a palma forrageira teve produtividade de até 30 t de MS ha⁻¹ ano⁻¹. Por outro lado, Santos et al. (2013) observaram produtividade média de 18,08 t MS ha⁻¹ na palma Miúda, em dois anos de cultivos.

2.2 Importância da palma forrageira

A palma forrageira especialmente as do gêneros *Opuntia* e *Nopalea* são de grande importância para a alimentação humana e animal. Atualmente, essa planta é utilizada nas áreas médicas, na indústria de cosméticos e na produção de aditivos naturais, representando uma alternativa de renda para as populações de regiões áridas e semiáridas em diferentes partes do mundo (SANTOS et al., 2023).

O semiárido, que representa 10% do território nacional e 56,46% do território Nordeste (SOUZA; ARTIGAS; LIMA, 2015), tem como características singulares a baixa disponibilidade hídrica (300 a 700 mm) anuais, altas temperaturas, além da elevada evapotranspiração, além disso, os solos geralmente apresentam características com limitações físicas, no que diz respeito à topografia, profundidade, pedregosidade e drenagem, dificultando o cultivo de plantas que se adaptem a essas condições e causando severos danos à economia da região com custos sociais elevados (LOPES, et al., 2019).

Nesse sentido, a palma tem grande importância, pois pode ser considerada como uma alternativa eficaz para combater a fome e a desnutrição no semiárido nordestino por ser rica em vitaminas A, do complexo B e C, minerais, como cálcio, magnésio, sódio e potássio, e 17 tipos de aminoácidos (NUNES, 2011). Além disso, é uma excelente planta forrageira devido às características agrônômicas peculiares que ela apresenta.

Adaptada as condições áridas e semiáridas, a palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea cochenillifera*) é uma importante cultura para alimentação de rebanhos nessa região, possuindo boa produtividade, rica em água, alto teor de minerais e um bom desempenho quanto à palatabilidade, esta se apresenta como uma importante fonte para suprimento alimentício para os rebanhos mesmo em épocas com grandes estiagens (SANTOS et al., 2021). Essa importância se dá pelo fato da palma forrageira possuir mecanismos de adaptação ao clima semiárido, como a capacidade de capturar o CO₂ durante a noite e evitar a perda de água no processo de fotossíntese, tornando-se uma planta capaz de produzir em ambientes com restrição hídrica e

também armazenar grande quantidade de água que supre uma parte da necessidade de água dos animais que fazem seu consumo (SCALISI et al. 2016).

Além de planta forrageira para consumo animal, a palma é cultivada em diversos continentes do mundo e utilizada para outros fins, dos quais se destacam a criação de cochonilha do carmim para produção de corante, para alimentação humana como planta frutífera e para a produção de bebidas e cosméticos (MACÊDO et al., 2020). A palma também é fonte de metabólitos secundários, que proporcionam benefícios à saúde e à alimentação de pessoas e ruminantes (OLIVEIRA et al., 2021). Surup et al. (2021) abordam que estudos referentes aos frutos de palma vêm sendo realizado para identificar o perfil fotoquímico e identificar metabólicos, vendo essa espécie como uma opção comercial crescente em áreas agrícolas, devido as mudanças climáticas globais. Ademais, Benhamou et al. (2021) estudaram características das fibras de celulose a base de cladódios *Opuntia ficus indica*, sendo mais uma possibilidade de mercado.

Messina et al. (2021) relataram que a mucilagem do cladódio tem potencialidades como aditivo para diversos produtos, apresentando potencial para a indústria de alimento e/ou nutricional. Além destas potencialidades, o cultivo da palma por pequenos agricultores garante o aumento na oferta de alimentos para os rebanhos durante o verão, reduzindo a lotação animal em áreas de vegetação nativa e diminuindo os gastos com a compra de alimentos para os animais (LEITE et al., 2018).

2.3 Nutrição mineral da palma

A palma forrageira é cultivada em larga escala em vários estados do Nordeste por apresentar características morfofisiológicas de adaptação às condições de semiárido, sendo que em muitas regiões, o sistema de produção e a utilização dessa cultura ainda são caracterizados pela baixa adoção de tecnologias que levam à obtenção de uma produtividade inferior ao potencial de planta (SILVA; ALBUQUERQUE; SILVA, 2021).

Como quaisquer outras culturas, a palma forrageira necessita de adubação para alcançar altas produtividades, sendo um fator determinante na produção de matéria verde e seca. No entanto, a extração de nutrientes do solo pela cultura é alta (PESSOA, 2022). Logo, com o uso contínuo do solo, sem reposição de nutrientes, a produção tende a diminuir, seja pela exportação ou pela perda de nutrientes por erosão (SINGH, 2018). Com isso, para que o potencial produtivo da palma forrageira possa ser maximizado, as relações de nutrientes

deverão ser adequadas para garantir condições normais de desenvolvimento da planta (TEIXEIRA et al., 2019).

Nesse sentido, a adubação com fontes de fertilizantes minerais, orgânicos ou organominerais, em proporções adequadas, otimiza a produção de matéria verde, o acúmulo de nutrientes nos cladódios e o rendimento de matéria seca da palma forrageira. Além disso, pode determinar diferenças nas quantidades de nutrientes extraídas e exportadas pelos cladódios, o que se torna mais relevante ao considerar vários ciclos de colheita (LEDO et al., 2021).

Padilha Junior et al. (2016) relataram que as adubações química, orgânica e organomineral aumentam o rendimento da palma forrageira, os autores encontraram produtividade superior a 13 t ha⁻¹ de massa seca. No entanto, Leite et al. (2014) relataram que a adubação na cultura da palma forrageira ainda não é prática usual, predominando a orgânica, sendo utilizado esterco das próprias unidades rurais.

A extração e exportação dos nutrientes pela palma forrageira é influenciada por alguns fatores, dentre eles a disponibilidade do elemento no solo. Silva et al. (2016), verificaram que, para cada 10 toneladas de matéria seca produzida, a palma extrai 177,88 kg de N, 10,11 kg de P e 421 kg de K por hectare, isso quando as plantas recebem adubação adequada. Por outro lado, Donato (2011) encontrou valores de extração de 131,6 kg N, 1.032 kg de K, 19,4 kg de P por ha. Em relação a ordem de exportação, a palma absorve preferencialmente K > Ca > N > Mg > S > P quando é utilizada adubação mineral e orgânica (LEDO et al., 2021).

2.4 Adubação nitrogenada na palma forrageira

O nitrogênio (N) é um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. O manejo desse nutriente é bastante complexo e muitas vezes pouco eficiente, devido às instabilidades climáticas ocasionadas durante o cultivo no semiárido e também à falta de informações a respeito do manejo desse elemento na cultura da palma forrageira (CUNHA et al., 2012). A adubação nitrogenada é geralmente o principal componente do manejo de nutrientes do solo, uma vez que, devido a sua mobilidade, este pode facilmente se dissipar ou volatilizar (ZHENG et al., 2015).

De acordo com Jarvis, Scholefield, Pain (1995), o nitrogênio está entre os elementos minerais de maior importância no crescimento e desenvolvimentos das forrageiras, por permitir maiores incrementos na produção e qualidade dessas plantas, além de estar presente na constituição de proteínas, enzimas, clorofilas, ácidos nucleicos, nucleotídeos e outros compostos importantes no metabolismo celular. Entretanto, o entendimento da utilização do

nitrogênio pelas culturas é de suma importância para determinação das doses a serem fornecidas para minimizar o custo de produção.

De acordo com Barros et al (2016), no cultivo de palma forrageira, o nitrogênio é o nutriente com maior influência no crescimento das plantas, pois proporciona alterações na morfologia das plantas e promove maior desenvolvimento da cultura. Além disso, o incremento no fornecimento do N também proporciona maior acúmulo de compostos orgânicos compatíveis que atuam no ajustamento osmótico celular e pode minimizar os efeitos deletérios da salinidade nas plantas (SOUZA, 2018).

A palama forrageira é uma cultura que responde bem à adubação nitrogenada. A introdução de fontes alternativas de N é vital para a elevação da produção de biomassa dessa forrageira, aumentando reflexos na rentabilidade do sistema produtivo (FONSECA et al., 2021). Por outro lado, a falta de resultados de ensaios que demonstrem a resposta agrônômica da palma forrageira sob fertilização nitrogenada, de certa forma, induz pecuaristas a utilizarem recomendações empíricas, o que gera, geralmente, respostas insatisfatórias, a causar descrédito acerca da adoção da tecnologia (CUNHA et al., 2012).

Vários autores relatam efeitos positivos da adubação com nitrogênio sobre a cultura da palma forrageira, contudo existem na literatura resultados controversos. Matos (2020), trabalhando com irrigação e adubação nitrogenada na palma forrageira, constatou aumento de produtividade de massa verde da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*), quando submetida a dose crescente de nitrogênio. Desta mesma forma, Cunha et al. (2012), verificaram que a aplicação de doses de nitrogênio contribuiu para o aumento do número de cladódios e a produtividade da palma forrageira cv. Miúda, onde na dose de 300 kg ha⁻¹ de N, apresentou o melhor resultado. Neto et al. (2020) verificaram que a fertilização nitrogenada aumentou o crescimento e as produtividades de biomassa verde, da água e econômica da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia* sp.)

Por outro lado, existem na literatura resultados controversos, por exemplo, Pinto et al. (2020) relatam que a palma forrageira não responde à aplicação do nitrogênio, segundo os autores, o nitrogênio não promove ganho nas características morfológicas e produtivas da cultura. Leite et al (2018), também não verificaram resposta produtiva da palma forrageira com a aplicação de doses de nitrogênio na palma (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) cv. Miúda.

Diante do exposto, torna-se necessário a realização de mais estudos para gerar recomendações regionais a respeito do uso do nitrogênio na adubação da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*).

2.5 Seletividade de herbicidas

A seletividade de herbicidas é a base para o sucesso do controle químico de plantas daninhas na produção agrícola, sendo considerada como uma medida da resposta diferencial de diversas espécies de plantas a um determinado herbicida. Além disso, a seletividade de uma cultura aos herbicidas é um fator relativo e não absoluto, pois depende do estágio de desenvolvimento das plantas, das condições climáticas, do tipo de solo, da dose aplicada, do uso correto da tecnologia de aplicação, entre outras coisas. Quanto maior a diferença de tolerância entre a cultura e a planta daninha, maior a segurança de aplicação (OLIVEIRA JR et al., 2011; CARVALHO 2013).

A seletividade de herbicidas também pode ser entendida como a incapacidade do herbicida matar determinada planta, ou seja, por algum motivo, normalmente metabólico, a planta é capaz de metabolizar o produto, reduzindo o potencial tóxico ou mesmo inativando o produto (CARVALHO, 2013). Ou, ainda, como a capacidade que uma determinada planta tem de metabolizar rapidamente o composto químico pulverizado, formando composto não fitotóxicos (SOUZA et al., 2014).

De acordo com Carvalho (2013), a seletividade de herbicidas pode ser dividida em, seletividade genuína quando a planta é capaz de metabolizar o herbicida a compostos pouco tóxicos ou não tóxicos, permitindo tolerância à exposição ao produto em determinadas condições; seletividade adquirida que está relacionada à modificação genética nas culturas através da introdução de genes que conferem sua tolerância a determinado herbicida e a seletividade toponômica que está relacionada à prática agrônômica de posicionar o herbicida no tempo e no espaço, tornando um produto essencialmente tóxico (não seletivo) em um produto seletivo, pois o mesmo não entra em contato com a cultura tratada.

A detecção da seletividade de um herbicida à determinada cultura é feita, comumente, por meio de avaliações de índices de fitotoxicidade e do rendimento da cultura. Dessa forma, quanto menor o índice de fitotoxicidade, mais seletivo é o herbicida (CARVALHO; ONOHARA, 2015). Por outro lado, Melhorança (1999), relata que em alguns casos, certos herbicidas podem reduzir a produtividade das culturas sem causar efeitos visualmente detectáveis de fitotoxicidade e outros podem provocar injúrias tóxicas evidentes na cultura e não causar redução na produtividade, sendo necessário se fazer uma avaliação mais aprofundada.

A seletividade de um herbicida é afetada por diversos fatores, dentre eles destacam-se os relacionados ao herbicida, à cultura e ao ambiente (TORRES et al., 2014). Em relação ao herbicida, a dose é fator mais importante, visto que, tem que ser suficiente para exercer controle

das plantas daninhas com pouco ou nenhum dano para a cultura, ademais, os ingredientes inertes também exercem influência sobre a seletividade dos herbicidas, pois podem interferir na toxicidade desses produtos (CARVALHO, 2015).

O estágio de desenvolvimento da cultura é outro fator que interfere na seletividade dos herbicidas. Plantas jovens são mais sensíveis à aplicação desses produtos, pois possuem tecidos meristemáticos pouco diferenciados, o que aumenta a capacidade de toxicidade dos herbicidas que afetam processos metabólicos (OLIVEIRA JR. et al., 2011). Outro fator ligado à planta é a capacidade desta em metabolizar os herbicidas em composto não tóxico, esse processo é conhecido como metabolismo diferencial (COLEN et al., 1994). Este mecanismo é o mais comum e o que mais contribui para a seletividade de herbicidas nas plantas. De acordo com Akobundu (1987), plantas que não possuem esse mecanismo são mortas quando submetidas à aplicação de determinados produtos.

O ambiente também possui grande influência sobre a seletividade dos herbicidas, seja de forma direta quanto indiretamente. As condições ambientais, como temperatura, luminosidade e umidade relativa, afetam o crescimento e a fisiologia das plantas e a quantidade de herbicida capaz de ser absorvido e translocada por elas (ROMAN et al., 2005). De acordo com Pereira (2015B), a exposição de plantas tratadas a altas temperaturas, após a aplicação, pode reduzir a ação seletiva dos herbicidas e prejudicar as culturas. Isto ocorre principalmente pelas mudanças na composição e na permeabilidade da cutícula das plantas após serem submetidas a essa condição (HARRINGTON et al., 2017). Nas altas temperaturas, o influxo do herbicida na planta é favorecido devido à viscosidade reduzida das ceras cuticulares e aumento da taxa de difusão através da cutícula (DIAS et al., 2017).

A luminosidade é outro fator ambiental que altera o comportamento vegetal e a seletividade a herbicidas. Alta intensidade de luz aumenta a penetração do herbicida na folha através dos estômatos abertos (SOMERVILLE et al., 2017). Como a luz é a fonte de energia para a fotossíntese, ela influencia o movimento do herbicida na planta que é transportado juntamente com os açúcares no floema (MCMULLAN, 1996).

2.5.1 Flumioxazina

O herbicida Flumioxazina, (2-[7-fluoro-3,4-dihydro-3-oxo-4-(2 propynyl)2H-1,4-benzoxazin-6-yl]-4,5,6,7-tetrahydro-1H-isoindole-1,3(2H)-dione), pertence ao grupo químico das N-fenil-ftalimidas, seletivo e destinado ao controle de plantas daninhas nas culturas de Algodão, Batata, Café, Cana-de-açúcar, Cebola, Citros, Espécies Florestais (Eucalipto e Pinus),

Feijão, Maçã, Mandioca, Milho, Soja e Trigo, e em diferentes densidades de solo (WEED SCIENCE, 2014). É um herbicida não sistêmico, não-iônico, inibidor da enzima PPO (Protoporfirinogênio Oxidase), possui solubilidade em água de $1,79 \text{ mg L}^{-1}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e pressão de vapor de $2,41 \times 10^{-6} \text{ mmHg}$ a $22 \text{ }^\circ\text{C}$, com meia-vida no solo de aproximadamente 22 dias (CARBONARI; GOMES; VELINI, 2010; SOUSA JONAS et al., 2020).

O Flumioxazina é suscetível a fotodecomposição. Sua degradação no solo é, predominantemente, microbiana. A mobilidade no solo é reduzida devido a sua baixa solubilidade. Apresenta alta adsorção pela matéria orgânica do próprio solo. Também é considerada não volátil (LOBATO, 2016). Esse herbicida é indicado para aplicação em pré e pós-emergência, quando aplicado em pós-emergência, apresenta como sintomas clorose e, em seguida, necrose foliar, que surgem entre um e três dias após sua aplicação. Quando aplicados em pré-emergência, o tecido da planta suscetível é danificado por contato com o herbicida, no instante que a plântula emerge (OLIVEIRA et al., 2018; SOUSA-JONAS et al., 2020; MELLO, 2020; SILVA, 2022).

A flumioxazina atua inibindo a enzima protoporfirinogênio-oxidase (PPO), comumente chamada de Protox. Esta enzima é responsável pela oxidação do Protoporfirinogênio-IX em Protoporfirina-IX. Desta forma, a molécula do herbicida acaba inibindo a enzima Protox (PPO), levando ao acúmulo de protoporfirinogênio IX nos cloroplastos. Com a diferenças no gradiente de concentração dentro e fora dos cloroplastos, ocorre a migração do protoporfirinogênio IX, para o citoplasma, onde este composto é convertido em protoporfirina IX. A partir disso, a protoporfirina IX no citoplasma acaba interagindo com luz e outros compostos, formando o oxigênio singleto, causando uma reação em cadeia de peroxidação lipídica, e consequente ruptura das membranas e inibição da fotossíntese (GEHRKE et al., 2020). Plantas suscetíveis a este herbicida apresentam sintomas necróticos que acabam sendo mais severos com a presença de luz (MAZARURA, 2013).

A seletividade de herbicidas inibidores da PROTOX, em geral, está relacionada com o rápido metabolismo do herbicida nas plantas (comumente via citocromos P-450 ou conjugação com glutathiona), porém também pode haver menor absorção foliar ou radicular, menor translocação, super produção ou insensibilidade enzimática e sequestração do herbicida (CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016). Shoup et al. (2003), constataram em seu experimento que a resistência aos inibidores da PORTOX não está associado ao metabolismo diferencial. Li et al. (2004), trabalhando com biótipos de *Amaranthus tuberculatus* resistentes aos inibidores

da PROTOX, observaram que o acúmulo de protoporfirina-IX no citoplasma celular das plantas resistentes tratadas com os herbicidas foi menor quando comparado às plantas suscetíveis.

Patzoldt et al. (2006), trabalhando com *A. tuberculatus*, demonstraram que a resistência aos inibidores da PROTOX foi resultado de um único mecanismo, a eliminação de apenas um aminoácido (Gly210) no gene PPX₂L (perda de três nucleotídeos), que codifica as duas isoformas da enzima PROTOX. Lee et al. (2008) e Wuerffel et al. (2015), também trabalhando com *A. tuberculatus*, obtiveram a mesma conclusão.

2.5.2 Sulfentrazone

O herbicida Sulfentrazone, N-[2,4-dicloro-5-[4-(difluorometil)-4,5-dihidro-3-metil-5-oxo-1H-1,2,4-triazol-1-il] fenil] metanossulfonamida, é um herbicida do grupo químico aril triazolinona (SHANER, 2014) que é um ácido fraco (pKa 6,56). Sua constante de dissociação está na mesma faixa de pH (pKa \pm 1) da maioria dos solos agrícolas. Portanto, o pH é um dos fatores extrínsecos mais importantes na sua atividade (GEHRKE et al., 2020).

É um herbicida pré-emergente, registrado para o controle de plantas daninhas monocotiledôneas, dicotiledôneas e ciperáceas, nas culturas de cana-de-açúcar, café, soja, fumo e eucalipto. Possui alta solubilidade em água (780 mg L⁻¹), pressão de vapor de 1x10⁻⁷ mm Hg a 25°C, moderada mobilidade, baixa adsorção (K_{oc} 43), pKa 6,56 e K_{ow} 9,8 (pH 7,0), com meia vida no solo em média de 180 dias, e sua degradação ocorre via microrganismos (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

O sulfentrazone, assim como os demais herbicidas do grupo das triazolinonas, inibem a enzima PPO, impedindo a conversão de protoporfirinogênio IX em protoporfirina IX, provocando acúmulo desse substrato no cloroplasto das células, e quando a organela não comporta a quantidade do protoporfirinogênio IX acumulado, há extravasamento celular para o citosol, no qual o protoporfirinogênio IX é convertido em protoporfirina IX, que na presença de luz gera oxigênio reativo e a membrana celular é rompida, acarretando a morte da planta (BARBERIS et al., 2009).

A absorção de sulfentrazone ocorre preferencialmente pelas raízes e a translocação é feita pelo xilema para as folhas até atingir o cloroplasto onde se localiza o Protox (MATRINGE et al., 1989); com a exposição à luz, os primeiros sintomas começam a aparecer (WEHTJE et al., 1997). Por se tratar de um ácido fraco (pKa = 6,5) sua absorção depende do pH do meio em que as plantas estão expostas devido à protonação da molécula de sulfentrazone em pH abaixo de

6,5, o que reduz sua solubilidade e sua disponibilidade na solução do solo (GREY et al., 1997). Entretanto, a absorção pelas raízes é maior quando a molécula está na forma protonada.

As folhas também podem absorver o sulfentrazone; no entanto, sua translocação simplástica no floema é baixa devido à rápida dessecação foliar (SHANER, 2014), que é um sintoma típico de herbicidas que inibem a Protox. Na aplicação em plântulas emergidas, a eficiência do sulfentrazone pode ser aumentada devido à absorção foliar; no entanto, a maior parte do herbicida é absorvida pelas raízes (WEHTJE et al., 1997).

A seletividade do sulfentrazone nas plantas envolve vários mecanismos, como absorção, translocação e metabolização diferencial (THOMAS et al., 2005). No entanto, a rápida metabolização do sulfentrazone é atribuída como o principal fator responsável pela tolerância das plantas ao sulfentrazone (DAYAN et al., 1997; FMC, 2004; FISHER et al., 2006). O metabolismo diferencial é o principal fator de tolerância em plantas como a soja e tabaco (DAYAN et al., 1998; THOMAS et al., 2005; FISHER et al., 2006). Após a absorção, o sulfentrazone, ainda nas raízes, é rapidamente convertido em seus metabólitos 3-hidroximetil, 3-carboxílico e 3-dimetil.

Em espécies tolerantes ao sulfentrazone, o metabolismo do herbicida ocorre rapidamente, com 90% sendo transformado em metabólitos dentro de 24 horas após a aplicação (DAYAN et al., 1997). Dayan et al. (1996) mostraram que a espécies tolerantes conseguem metabolizar 91,6% do sulfentrazone após nove horas de absorção. Por outro lado, espécies sensíveis como a *Cassia occidentalis*, metaboliza apenas 17% neste período.

2.5.3 Isoxaflutole

O isoxaflutole [5-ciclopropil-4-(2-metilsul fonil-4-trifluorometilbenzoil)-isoxaflutole, do grupo químico dos isoxazóis é considerado um pró-herbicida, uma vez que em contato com o solo ou diretamente com a planta é rapidamente convertido em metabólito diquetonitrila, que é a molécula biologicamente ativa no controle de plantas daninhas, (CEZARINO, 1997). Solo alcalino e com alta úmida favorece a conversão. Segundo Rouchaud et al. (1998), a dissipação do isoxaflutole em diquetonitrila é mais rápida em pH 7,2 do que em pH 5,5. O metabólito diquetonitrila é mais solúvel, estável e persistente que o isoxaflutole e apresenta solubilidade em água de 326 mg L⁻¹ (MITRA et al., 2000; TAYLOR-LOVELL et al., 2002). De acordo com Taylor-Lovell et al. (2002) a meia-vida de diquetonitrila é maior que 56 dias em solo com pH 7,0 e 2,5% de carbono orgânico, ao passo que o isoxaflutole possui meia vida de dois dias nessas condições.

O isoxaflutole é recomendado para controle de gramíneas anuais e perenes, propagadas por meio de sementes, e algumas plantas de folhas largas em milho, mandioca, batata, algodão e cana-de-açúcar (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018). Nessas culturas, esse herbicida pode ser usado em pré e pós emergência inicial (KRUSE, 2001).

O herbicida isoxaflutole atua inibindo a síntese de pigmentos carotenoides, levando ao surgimento de sintomas característicos de “branqueamento” de tecidos desenvolvidos após a aplicação nas espécies suscetíveis, seguido de paralisação de crescimento e necrose (PALLET et al., 1998). Esse “branqueamento” ocorre devido à fotoxidação e destruição da clorofila, provocada pela presença de luz e ausência de carotenóides, que não exercem seu papel protetor contra a fotoxidação (DEVINE et al., 1993; VIDAL, 1997; SPRAGUE et al., 1999).

A inibição da síntese de carotenoide pelo herbicida isoxaflutole ocorre de forma indireta, uma vez que o metabólito diquetonitrila atua inibindo a enzima 4-hidroxifenil-piruvato dioxigenase (HPPD) a partir da degradação do aminoácido tirosina, causando a depleção de plastoquinona que é um co-fator para o funcionamento da enzima fitoeno desaturase responsável pela produção de licopeno e conseqüentemente α -caroteno e β -caroteno (PALLET et al., 1998; VIVIANI et al., 1998).

O isoxaflutole é absorvido preferencialmente pelas raízes, embora possa ser absorvido também pelas sementes. Isso não ocorre com seu derivado diquetonitrila, que é absorvido somente pelas raízes. Após absorvido, tanto o isoxaflutole como o diquetonitrila são transportados rapidamente para o ápice da plântula, onde a maior parte do isoxaflutole é então convertida em diquetonitrila. Estudos com aplicações de isoxaflutole sobre as folhas mostraram que ocorre absorção foliar e posterior translocação, evidenciando mobilidade simplástica e apoplástica desse herbicida e do seu principal metabólito (SPRAGUE et al., 1999; YOUNG; HART, 2000).

A grande responsável pela seletividade do isoxaflutole para espécies tolerantes, como o milho e a cana-de-açúcar, é a capacidade de metabolizar rapidamente o isoxaflutole para diquetonitrila e, principalmente, deste para ácido benzóico, que não possui qualquer ação herbicida, e, ao final do processo, para gás carbônico (PALLET et al., 1998; SPRAGUE et al., 1999). Em espécies sensíveis, essa metabolização ocorre lentamente, permitindo a inibição enzimática pelo diquetonitrila. Parece não haver diferenças na absorção e translocação entre milho e plantas sensíveis, com o diquetonitrila sendo translocado através de toda a planta para folhas novas e formadas, predominantemente, pela rota apoplástica. A redistribuição de

diquetonitrila de folhas maduras para folhas jovens via floema deve também ocorrer (PALLET et al., 1998).

2.5.4 Imazapique

O imazapique (ácido (RS) -2- (4-isopropil-4-metil-5-oxo-2-imidazolin-2-il) -5 metilnicotínico) é um herbicida sistêmico, pertencente à classe das imidazolinonas, indicado para aplicação em condições de pré e pós-emergência inicial, é amplamente utilizado em culturas agrícolas, principalmente em produções de arroz, amendoim e cana-de-açúcar visando o controle de plantas daninhas como a Tiririca (*Cyperus rotundus* L.) Possui alta solubilidade em água (2200 mg L⁻¹), kow 0,01 (pH 7,0), pressão de vapor a 25°C (1,3 x 10⁻⁵ mm Hg). Possui meia-vida média de 30 dias, que pode variar com as condições edafoclimáticas locais, sendo a atividade microbiológica seu principal mecanismo de degradação (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

O imazapique atua na inibição da enzima acetolactato sintase (ALS) ou também conhecida como hidroxiacético sintetase (AHAS), bloqueando a síntese de três aminoácidos alifáticos de cadeia ramificada, valina, leucina e isoleucina, com isso há interrupção da síntese proteica, por consequência a biossíntese do DNA e crescimento celular serão cessados e a planta morre. Em função da sua eficácia no controle de diversas espécies de plantas daninhas à baixas doses, seletividade a várias culturas e baixa toxicidade aos mamíferos, esses herbicidas têm se destacado nas escolhas do agricultor (LEITE et al., 1998; MONQUERO et al., 2000; RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

Devido às características físico-químicas dos herbicidas classificados nesse grupo, tais como os coeficientes de dissociação em meio ácido (pKa) e de partição octanol: água (Kow), as quais regulam a dinâmica desses produtos no solo, sua persistência no solo é prolongada (VENCILL, 2002; RODRIGUES; ALMEIDA, 2018). Estudos realizados por Souza et al. (2016) comprovaram que o herbicida e Imazapic têm longa persistência em Gleissolo Háplico (GX) e pode permanecer por um período superior a 150 dias após sua aplicação em concentração suficiente para causar “Carryover” em culturas sensíveis cultivadas em sucessão à cultura principal.

3. REFERÊNCIAS

- ABREU, F. E. R.; DE CARVALHO, W. F.; DE NORONHA, D. M.; LOPES, M. N.; DE SOUZA MENEZES, M. D. S.; SOUSA, K. R. F.; DA SILVA, T. S. B. Crescimento e produtividade da palma forrageira cv. orelha de elefante mexicana em função da densidade de plantas no semiárido piauiense. **ILPF - Integração lavoura pecuária floresta: desafios, perspectivas, retrocessos e avanços**, v.1, p. 48-61, 2021.
- ALBUQUERQUE, A. L. S.; SILVA, W. R. T.; SOARES, F. M. F.; SOARES, C. F.; CARNEIRO, M. C.; MAIOR JÚNIOR, R. J. S. Desenvolvimento vegetativo de palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* Salm Dick) no Sertão de Alagoas. **Inovações na nutrição animal: desafios da produção de qualidade**, v. 4, p. 58-71, 2021.
- AMORIM, P. L. et al. Morphological and productive characterization of forage cactus varieties. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 230–238. 2015.
- ALENCAR, E. S.; GEIST, M. L.; PEREIRA, J. P. M.; SCHEDENFFELDT, B. F.; NUNES, F. A.; SILVA DA, P. V.; DUPAS, E.; MAUAD, M.; MONQUERO, P. A.; MEDEIROS, E. S.; Selectivity of post-emergence herbicides and foliar fertilizer in soybean crop. **Revista de Ciências Agroveterinária, Lages, SC, Brasil**, v. 21, p.11, 2022.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONCALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n. 6, p.711-728, 2014.
- ALVES, F. A. L.; SILVA, M. C.; DOS SANTOS, D. C.; FREITAS, E. V. Composição botânica e controle de plantas daninhas no cultivo da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*). **Revista multidisciplinar**, v.26, n.2, p. 1-14, 2023.
- BARBERIS, L. R. M.; TRINDADE, M. L. B.; VELINI, E. D. Seleção de genótipos de cana de-açúcar para acúmulo de protoporfirina IV com uso de herbicidas inibidores da PROTOX. **Planta Daninha**, v.27, n.4, p. 809-814, 2009.
- BARROS, J. L.; DONATO, S. L. R.; GOMES, V. M.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A.; JÚNIOR, M. S. P. Palma forrageira ‘gigante’ cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia, Ipameri**, v.7, n.1, p. 53-65, 2016.
- BENHAMOU, A.; BOUSSETTA, A.; GRIMI, N.; IDRISSE, M. E.; NADIFIYINE, M.; BARBA, F. J.; MOUBARIK, A. Characteristics of cellulose fibers from *Opuntia ficus indica* cladodes and its use as reinforcement for PET based composites. **Journal of Natural Fibers**, n. 20, v.1, p.1-17, 2021.
- BEZERRA, S.A.F.; SILVA, T.G.F.; SOUZA, L.S.B.; MOURA, M.S.B.; MORAIS, J.E.F.; DINIZ, W.J.S.; QUEIROZ, M.G. Demanda hídrica bruta da Palma Forrageira em cenários futuros de mudanças climáticas no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, p.1628– 1643, 2015. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150092>
- BOLHAR-NORDENKAMPF, H.; OQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: Photosynthesis and Production in a Changing Environment. [S.l.]: **Springer-Science+Business Media**, B. V., p. 193 – 205, 1993.

- BRITO, C. F. B.; DONATO, S. L. R.; ARANTES, A. M. de.; DONATO, P. E. R.; SILVA DA, J.A. Photochemical efficiency in cladodes of ‘Gigante’ cactus pear cultivated under different spacings and organic fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.5, p.338-343, 2018.
- CANDIDO, M. J. D.; GOMES, G. M. F.; LOPES, M. N.; XIMENES, L. J. F. Cultivo de palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas. **Informe Rural**, ano VII, n.3, 2013.
- CARBONARI, C. A.; GOMES, G. L. G. C.; VELINI, E. D. Efeitos de períodos sem a ocorrência de chuva na eficácia do flumioxazin aplicado no solo e na palha de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 9, n. 3, p. 81-88, 2010.
- CARVALHO, L. B. Herbicidas. Lages: Editado pelo autor, v. 1, 2013.
- CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M.; FERREIRA, R.R.; FIGUEIRA, A.V.O.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Herbicide selectivity by differential metabolism: considerations for reducing crop damages. **Scientia Agricola**, v.66, p.136-142, 2009.
- CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. DA A.; DA SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; DA SILVA M. A. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014.
- CAVALIERI, S. D.; OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D. F.; DVORANEN, E. C.; BLAINSKI, E. Tolerância de híbridos de milho ao herbicida isoxaflutole. **Planta Daninha**, Viçosa-MG. v. 26, n. 4, p. 901-909, 2008.
- CEZARINO, V. Isoxaflutole – nova molécula herbicida para as culturas da cana-de-açúcar e do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu. Palestras. Caxambu: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, p. 79-93, 1997.
- Christoffoleti, P. J.; Nicolai, M. Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas. Piracicaba: ESALQ, e.4, 262p, 2016.
- CORRÊA, J. M.; FERREIRA, E. A.; PEREIRA, G. A. M.; PIRATOBA, A. R. A.; SANTOS, J. B.; OLIVEIRA, C. H.; SILVA, C. T. Fluorescência de la clorofila a en plantas de piña sometidas a aplicación de herbicidas. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 12, n. 1, p. 50-58, 2018.
- DAYAN, F. E.; ARMSTRONG, B. M. Weete JD. Inhibitory activity of sulfentrazone and its metabolic derivatives on soybean (*Glycine max*) protoporphyrinogen oxidase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.46, e.5, p.9-2024, 1998.
- DAYAN, F. E.; WEETE, J. D.; DUKE, S. O.; HANCOCK, H. G. Soybean (*Glycine max*) Cultivar differences v.46, e.5, p.9-2024, 1998.in response to sulfentrazone. **Weed Science**, v.45, e.5, p41-634, 1997.
- DEVINE, M.; DUKE, S. O.; FEDTKE, C. Physiology of herbicide action. **Englewood Cliffs: Prentice Hall**, 441 p., 1993.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; MELO, A. C. L.; CUNHA, M. V.; FERREIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; LIRA, M. A.; SILVA, M. C. Forage potential of cacti on drylands. **Acta Horticulturae**, v. 58, p.181–186, 2015.

FILHO, Renato Vieira de Carvalho. Sombreamento e adubação nitrogenada influenciando o acúmulo de biomassa em palma forrageira *Nopalea cochenillifera*. 2018. 74. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2018.

FISHER, L. R.; BURKE, I. C.; PRICE, A. J.; SMITH, W. D. Uptake, translocation, and metabolism of root absorbed sulfentrazone and sulfentrazone plus clomazone in flue-cured tobacco transplants. **Weed Technology**, 2006;20(4):898-902.

FMC. Sulfentrazone Technical Herbicide. Material safety data sheet. Philadelphia, PA: FMC Corporation; 2004.

FRANCISCON, H.; COSTA, N. V.; COSTA, A. C. P. R.; FERREIRA, S. D.; MORATELLI, G.; SALVALAGGIO, A. C.; ARRÚA, M. A. M. Eficacia y selectividad de mezclas de herbicidas en el cultivo de mandioca. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 115, n. 2, p. 209-219, 2016.

GALON, L.; GABIATTI, R. L.; AGAZZI, L. R.; WEIRICH, S. N.; RADÜNZE, A. L.; BRANDLER, D.; BRUNETTO, L.; DA SILVA, A. M. L.; ASPIAZÚ, I.; PERIN, G. F. Competição entre híbridos de milho com plantas daninhas. **South American Sciences**, v. 2 n.1, p1-26, 2021.

GEHRKE, V. R.; CAMARGO, E. R.; AVILA, L. A. Sulfentrazone: environmental dynamics and selectivity. **Planta Daninha**, v38, e020215663, p. 1-16, 2020.

GREY, T. L.; WALKER, R. H.; HANCOCK, H. G. Sulfentrazone adsorption and mobility as affected by soil and pH. **Weed Science**, v.45, e.5, p 8-733, 1997.

INGLESE, P.; LIGUORI, G.; BARRERA, E. Ecophysiology and reproductive biology of cultivated cacti. In: Food and agriculture organization of the United Nations 2017. **Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear**. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas Rome, p.29-39, 2017.

JARVIS, S.C.; SCHOLEFIELD, D.; PAIN, B. Nitrogen cycling in grazing systems. In: BACON, P. E. (ed.). Nitrogen fertilization in the environment. Proceeding. New York: Marcel Dekker, p.381-419, 1995.

KRAUSE, H.; WEIS, E. Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis: The Basics. **Annual Review Plant Physiology**, v. 42, p. 313, 1991.

KRUSE, N. D. Inibidores da síntese de carotenóides. In: VIDAL, R. A.; MEROTTO JR., A. Herbicidologia. Porto Alegre: Edição dos Autores, 2001. p. 113-122.

LEE, R.M.; HAGER, A.G.; TRANEL, P.J. Prevalence of a novel resistance mechanism to PPO-inhibiting herbicides in waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*). **Weed Science**, v.56, n.3, p.371-375, 2008.

LEDO, A. A.; DONATO, S. L. R.; ASPIAZÚ, I.; SILVA, J. A.; BRITO, C. F. B.; DONATO, P. E. R. Nutritional balance and recovery rate of macronutrients by ‘Gigante’ cactus pear under different fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 2, p. 82-89, 2021.

LEITE, C. R. F.; ALMEIDA, J. C. V.; PRETE, C. E. Aspectos fisiológicos, bioquímicos e agrônômicos dos herbicidas inibidores da enzima ALS (AHAS). Edição do autor, Londrina, 68 p.1998.

LEITE, J. R. A.; JUNQUEIRA SALES, E. C.; MONÇÃO, F. P.; GUIMARÃES, A. S.; RIGUEIRA, J. P. S.; GOMES, V. M. *Nopalea* cactus pear fertilized with nitrogen: morphometric, productive and nutritional characteristics. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 40, p-8, 2018.

LEITE, M. V.; SILVA, D. S.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; RAMOS, J. P. F. Caracterização da produção de palma forrageira no cariri paraibano. **Revista Caatinga**, v. 27, n.2, p.192 – 200, 2014.

LI, J. et al., Physiological basis for resistance to diphenyl ether herbicides in common waterhemp (*Amaranthus rudis*). **Weed Science**, v.52, n.3, p.333-338, 2004.

LIRA, E. C.; ARAÚJO, J. S.; FELIX, E. S.; NASCIMENTO, G. V.; OLIVEIRA FILHO, T. J.; SOUZA, J. T. A.; PEREIRA, D. D. Produtividade de culturas anuais em sistema de consórcio com a palma forrageira resistente a Cochonilha-do-Carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell). **HOLOS**, Ano 37, v.2, e11212, p.1-12, 2021.

LIRA, M. A.; MELLO, A. C. L.; CUNHA, M. V.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.; LIRA JUNIOR, M. A.; APOLINÁRIO, V.X.O. Produção animal em pastagens tropicais da América Latina. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 25, p. 1- 23, 2017.

LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DIAS, F. M. (2017). Cadernos do Semiárido: riquezas & oportunidades. Palma forrageira: cultivo e uso (2ª ed.). Recife: Editora do IPA.

LOBATO, Carla Arianne Papai. Seletividade e efeito residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na presença e ausência de resíduos florestais em plantação de eucalipto. 2016. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

LOPES, L. U.; CARDOSO, D. B.; CAMARGO, K. S.; SILVA, T. G. P.; SOUZA, J. S. R.; SILVA, J. R. C.; MORAIS, J. S.; ARAUJO, T. P. M. Palma forrageira na alimentação de ruminantes. **Pubvet**, v.13, n.2, p.1-10, 2019.

MACEDO, A. J. S.; NETO, J. M. C.; OLIVEIRA, L. B.; EDVAN, R. L.; SANTOS, E. M. A cultura da palma, origem, introdução, expansão, utilidades e perspectivas futuras: Revisão de Literatura. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n.8, p.62967-62987, 2020.

MALARDO, Marcelo Rafael. Eficácia e seletividade de associações de herbicidas inibidores da PPO e do fotossistema II aplicados em pós-transplante de mudas pré-brotadas de cana de açúcar. 2023. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo “Luiz de Quiroz”, Piracicaba, SP, 2023.

- MANABE, P. M. S.; MATOS, C. C.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; SILVA, A. F.; SEDIYAMA, T.; MANABE, A.; ROCHA, P. P.; SILVA, C. T. Efeito da competição de plantas daninhas na cultura do feijoeiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 2, p. 333-343, 2015.
- MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. P.; MOURTHE, M. H. F.; BRAZ, T. G. S.; NETO, O. S. P. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.
- MATOS, Rigoberto Moreira. Função de produção e pegada hídrica da palma forrageira sob lâminas de irrigação e adubação nitrogenada. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2020.
- MATRINGE, M.; CAMADRO, J. M.; LABBE, P.; SCALLA, R. Protoporphyrinogen oxidase as a molecular target for diphenyl ether herbicides. **Biochemical Journal**, e.260, p. 231-5, 1989.
- MAZARURA, U. Effect of sulfentrazone application method and time, on weed control and phytotoxicity in flue-cured tobacco. **Asian Journal of Agriculture and Rural Development**, v. 3, n.1, p.30-37, 2013.
- MELLO, Hugo Matheus Guimarães Araújo. Exploração do residual de flumioxazina por meio de doses e associações a outros herbicidas em pré-emergência na soja. 2020. Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2020.
- MENDES, K. F.; SILVA, A. L. Plantas daninhas: herbicidas., v. 2, 200p. 2023.
- MENOR, Talita Roberta Firemand de Lira. Sistemas de cultivo e composição isotrópica de nitrogênio em palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*). 2018. 166 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2018.
- MESSINA, C. M.; ARENA, R.; MORGHESE, M.; SANTULLI, A.; LIGUORI, G.; INGLESE, P. Seasonal characterization of nutritional and antioxidant properties of *Opuntia ficus-indica* [(L.) Mill.] mucilage. **Food Hydrocolloids**, v. 111, n.1, p. 1-7, 2021.
- MITRA, S.; BHOWMILK, P. C.; XING, B. Sorption and desorption of the diketonitrile metabolite of isoxaflutole in soils. **Environmental Pollution**, v. 108, n. 1, p. 183-190, 2000.
- MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; DIAS, C. T. S. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da ALS na cultura da soja (*Glycine max*). **Planta Daninha**, v.18, n.3, p.419-425, 2000.
- MOREIRA, J.M.; PÉREZ-MARIN, A.M., ARAÚJO, J.S., LAMBAIS, G.R., SALES, A.T. Nutrients demand of cactus forage. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.2, p. 811–820, 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p811-820>
- NANDULA, V.K. Recent Advances in Deciphering Metabolic Herbicide Resistance Mechanisms. In: JUGULAM, M. (Ed.) *Biology, Physiology and Molecular Biology of Weeds*. Boca Raton: CRC Press, p. 154-165, 2017.

NKOI, V.; WIT, M.; FOUCHE, H.; COETZER, G.; HUGO, A. The Effect of Nitrogen Fertilization on the Yield, Quality and Fatty Acid Composition of *Opuntia ficus-indica* Seed Oil. **Sustainability**, v. 13, e.10123, 2021.

NUNES, C. S. Usos e aplicações da palma forrageira como uma grande fonte de economia para o semiárido nordestino. **Revista Verde**, Mossoró, v.6, n.1, p. 58-66, 2011.

OLIVEIRA, J. F. F.; VALENÇA, R. L.; CUNHA, G. L. C.; ARAÚJO, F. S.; MAGALHÃES, A. L. R. Metabólitos secundários presentes na palma forrageira: benefícios e potencialidades. **Research, Society and Development**, v.10, n. 2, p. 1-16, 2021.

OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. Biologia e manejo de plantas daninhas. Curitiba, PR: Omnipax, 348p, 2011.

OLIVEIRA, T. L.; PAULA SENOSKI, M.; ASSIS, A. C. D. L. P.; MIRANDA, V. P.; MELO, C. A. D.; REIS, M. R. Seleção de espécies bioindicadoras do herbicida ethoxysulfuron. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, p. 1-8, 2018.

PALLET, K. E.; Little, J. P.; Sheekey, M.; Veerasekaran, P. The mode of action of isoxaflutole. I. Physiological effects, metabolism, and selectivity. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 62, n. 1, p. 113-124, 1998.

PATZOLDT, et al., A single codon deletion confers resistance to herbicides inhibiting protoporphyrinogen oxidase. **PNAS**, v.103, n.33, 12329-12334, 2006.

PEREGO, I.; JÚNIOR, J. B. D.; ROSA, W. B.; JÚNIOR, A. C. G.; QUEIROZ, S. B.; COSTA DA, A. C. T. Phytotoxicity in two sugarcane cultivars in the initial development as affected by selectivity to herbicides. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.87, p1-8, 2020.

PEREIRA, P. D. C. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28 n. 3, p. 184-195, 2015A.

PESSOA, R. M. S.; PESSOA, A. M. S.; COSTA, D. C. C. C.; AZEVÊDO, P. C. S.; GOES, G. C.; CAMPOS, F. S.; VICENTE, S. L. A.; FERREIRA, J. M. S.; ARAÚJO, C. A.; LIMA, D, O. Palma forrageira: Adubação orgânica e mineral. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, 2022.

PINHEIRO, K. M.; SILVA, T. G. F.; CARVALHO, H. F. S.; SANTOS, J. E. O.; MORAIS, J. E. F.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D. C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfológicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 939–947, 2014.

PINTO, L. A.; PINTO, A. A.; TAVARES, M. S. et al., Palma forrageira na presença ou ausência de nitrogênio e adubação fosfatada. **MAGISTRA**, Cruz das Alma – BA, v. 31, 2020.

RAMOS, J. P. D. F.; MACÊDO, A. J. D. S.; SANTOS, E. M.; EDVAN, R. L.; SOUSA, W. H. D.; PERAZZO, A. F.; CARTAXO, F. Q. Forage yield and morphological traits of cactus pear genotypes. **Acta Scientiarum**, Agronomy, v. 43, e. 511214, p. 1-11, 2021.

RAMOS, J. P. F.; SOUZA, J. T. A.; SANTOS, E.M.; PIMENTA FILHO, E. C.; RIBEIRO, O. L. Crescimento e Produtividade de *Nopalea Cochenillifera* em função de diferentes

densidades de plantio em cultivo com e sem capina. **Revista Electrónica de Veterinária**, v. 18, n.8, p. 1-12, 2017.

REIS, F.; CAMPOSTRINI, E. 'Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro,' **Revista Brasileira Agrocência**, vol. 17, no. 3, p. 284-295, 2011.

ROCHA, R.S.; VOLTOLINI, T.V.; GAVA, C.A.T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 5, p. 363-371, 2017.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas 7. Ed. Londrina: IAPAR, 764 p, 2018.

ROGERS, J.; CHEN, M.; YANG, K.; GRAHAM, J.; PARKER, M. K. Production of Dichloroacetonitrile from Derivatives of Isoxaflutole Herbicide during Water Treatment. **Environmental Science & Technology**, February 7, p.9, 2023.

ROUCHAUD, J.; NEUS, O.; CALLENS, D.; BULCKE, R. Isoxaflutole herbicide soil persistence and mobility in summer corn and winter wheat crops. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 60, p. 577-584, 1998.

SANTIAGO, A. D.; PROCÓPIO, S. DE O.; BRAZ, G. B. P. Tolerância de variedades de mandioca a herbicidas aplicados em pré-emergência. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 18 p. 2020.

SALVADOR, K. R. S.; JARDIM, A. M. R. F.; JÚNIOR, G. N. A.; ALVES, C. P.; PINHEIRO, A. G.; PEREIRA, R. C. G.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.04, p.2322-2343, 2021.

SANTOS, A. R. M.; BEZERRA, R. C. A, CORDEIRO, L. R. B. A.; LEITE, M. L. M.; SALVADOR, K. R. S.; SOUSA, L. D. C.; NOGUEIRA, J.C.; CALAÇA, J. DOS S. G.; DE CARVALHO, F. G. DOS SANTOS, W. R.; DA SILVA, T. G. F. Valor nutritivo de plantas forrageiras cultivadas no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.16, n.03, p. 1466-14, 2023.

SANTOS, D. B.; AZEVEDO, D. O.; JOSÉ DE SOUZA, A. A.; SIMÕES, W. L.; RODRIGUES, C. S.; ARAÚJO, R. O. F.; SOUZA, M. C.; DE CARVAL, C. M. Uso de esgoto doméstico na produção da palma forrageira. **Brazilian Journal of Development, Curitiba**, v.7, n.9, p. 88639-88650, 2021.

SANTOS, D. C.; SILVA, M. C.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SILVA, R. M. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 15, n. 2, p. 111–121, 2013.

SANTOS, M. A.; SANTOS, B. R. C. Silagem da palma forrageira consorciada com resíduos da mandioca e bagaço da cana de açúcar: Revisão. **Pubvet**, v.12, n.11, p.1-8, 2018.

- SCALISI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P.; BIANCO, R.. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficusindica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v.122, p.158-167, 2016.
- SCHIESSEL, J. J.; MELLO, G. R.; SCHMITT, J.; PASTORELLO, L. F.; BRATTI, F.; OLIVEIRA NETO, A. M.; GUERRA, N. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do feijoeiro comum. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.18, n.4, p. 430-437, 2019.
- SHANER, D. L. Herbicide handbook. 10^a.ed. Lawrence: Allen Press; 513p., 2014.
- SHANER, D. L. HERBICIDE HANDBOOK. Lawrence: Allen Press. e. 10, 513p. 2014.
- SHOUP, D.E.; AL-KHATIB, K.; PETERSON, D.E. Common waterhemp (*Amaranthus rudis*) resistance to protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides. **Weed Science**, v.51, n.2, p.145-150, 2003.
- Singh, B. Are Nitrogen Fertilizers Deleterious to Soil Health? *Agronomy*, v.8, n. 4, p. 1-19, 2018.
- SILVA, A. P.; SOUZA, P. A. Zoneamento agroclimatológico para produção da Palma Forrageira no semiárido. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n.4, p.20048-20057, 2020.
- SILVA, A. S.; SANTOS, E. M.; PINTO, I. M. Y.; RAMOS, J. P. DE F. Análise multivariada da palma forrageira: características morfoproductivas sob correlações canônicas. **Agrarian**, v.13, n.47, p.100-106, 2020b.
- SILVA, A. S.; SANTOS, E. M.; RAMOS, João, J. P. De F.; SANTOS, B. R. D.; NASCIMENTO, J. F.; SÁ, R. P. Sistema de produção, valor nutricional e eficiência da palma forrageira no semiárido: uma revisão. **Academic Journal**, v. 12, n. 2, p.99, 2020a.
- SILVA, C. C. F.; SANTOS, L. C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 7, n. 10, p. 1-13, 2006.
- SILVA, D. V.; SANTOS, J. B.; CARVALHO, F. P.; FERREIRA, E. A.; FRANÇA, A. C.; FERNANDES, J. S. C.; GANDINI, E. M. M.; CUNHA, V.C. Seletividade de herbicidas pós-emergentes na cultura da mandioca. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 4, p. 835-841, 2012.
- SILVA, F. M. F.; ALBUQUERQUE, A. L. S.; SILVA, W. R. T. Avaliação do crescimento vegetativo de palma forrageira no Semiárido Alagoano. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 1, p. 1777-1785, 2021.
- SILVA, J. A.N.; CUNHA, J.L.X.L.; SOUZA, R.C.; RODRIGUES, G.N.; AMORIM, P.L.; JUNIOR, A.B.S.; FERREIRA, A.M.O.; LIMA, L.A.R.; SANTOS, N.E.A.; SOARES, M.A.S. Herbicide selectivity in the forage palm. **International Journal of Development Research**, vol. 09, Issue, 09, p. 29868-29873, 2019.
- SILVA, J.A.; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E.S.; PADILHA JÚNIOR, M.C. E SILVA JUNIOR, A.A. Yield and vegetative growth of cactus pear at different

spacings and under chemical fertilizations. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.20. p 20-35, 2016.

SILVA, João Abel da. Palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e adubações químicas. 2012. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, 2012.

SILVA, L. M. D.; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J. H. D. A.; MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, v.44, p.2064-2071, 2014.

SILVA, M. C.; PRIMO, J. T. A.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10 18, 2015.

SILVA, Maria Tereza Barbosa da. Herbicidas na germinação de cebola e cenoura. Universidade Federal de Viçosa, Rio Parnaíba. Dissertação, 41p. 2022.

SOARES, F. M. F.; ALBUQUERQUE, A. L. S.; SILVA, W. R. T. Avaliação do crescimento vegetativo de palma forrageira no Semiárido Alagoano. **Diversitas journal**, v. 6, n. 1, p.1777-1785, 2021.

SOARES, F. M. F.; DE ALBUQUERQUE, A. L. S.; SILVA, W. R. T. Avaliação do crescimento vegetativo de palma forrageira no Semiárido Alagoano. **Diversitas Journal**, v.6, n.1, p.777-1785, 2021.

SOUSA, B. T.; DOMINGUESA, A. R.; BALOTTA, G. A. P.; ANDRADEA, D. F. M.; DALAZEN, G. Controle de Plantas Daninhas e Seletividade de Sulfentrazone + Diuron em Cana-De-Açúcar (Cultivar Rb 966928). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 18, n. 4, e. 691, 2019.

SOUSA-JONAS, B. F.; JAKELAITIS, A.; SILVA, C. H. L.; LEÃO, V. G. Selection of bioindicator species of flumioxazin and saflufenacil residues in the soil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 11, 2020.

SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. Caatinga e desertificação. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131-150, 2015.

SOUZA, J. T. A.; RAMOS, J. P.; MACEDO, A. J. DA S.; VIANA, J. A.; CARTAXO, F. Q.; ORESCA, D.; DE OLIVEIRA, F. G. Crescimento e produtividade de genótipos de palma forrageira no Semiárido Paraibano. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.12, n.3, p.37-42, 2018.

SOUZA, M. F. et al., Persistence of imidazolinones in soils under a clearfield system of rice cultivation. **Planta Daninha**, v. 34, n. 3, p. 589–596, 2016.

SPRAGUE, C. L.; PENNER, D.; KELLS, J. J. Physiological basis for tolerance of four Zea mays hybrids to RPA 201772. **Weed Sci**, v. 47, n. 4, p. 375-382, 1999.

SUMITOMO, C. Bula Flumioxazin 500. Rev 08, 16p. 2021. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2023-10/flumioxazin_500_sc.pdf

SURUP, F.; TRAN, T. M. T.; PTÜTZE, S.; BUDDE, J.; MOUSSA-AYOUB, T. E.; ROHN, S.; JERZ, G. Opuntisines, 14-membered cyclopeptide alkaloids from fruits of *Opuntia stricta* var. *dillenii* isolated by high-performance countercurrent chromatography. **Food Chemistry**, v. 334, e. 127552, p. 1-9, 2021.

TAYLOR-LOVELL, S.; SIMS, G. K.; WAX, L. M. Effects of moisture, temperature, and biological activity on the degradation of isoxaflutole in soil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 20, p. 5626-5633, 2002.

TEIXEIRA, M. B.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; DONATO, P. E. R. Establishment of dris norms for cactus pear grown under organic fertilization in semiarid conditions. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 4, p. 952-959, 2019.

TELES, M. M.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; BEZERRA NETO, E.; FERREIRA, R. L. C.; LUCENA, J. E. C.; LIRA, M. A. Efeitos da adubação e de nematicida no crescimento e na produção da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) cv. Gigante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n.1, p. 52-60, 2002.

THOMAS, W. E.; TROXLER, S. C.; SMITH, W. D.; FISHER, L. R. Uptake, translocation, and metabolism of sulfentrazone in peanut, prickly sida (*Sida spinosa*), and pitted morningglory (*Ipomoea lacunosa*). **Weed Science**, v.53, e.4, p. 40-446, 2005.

VENCILL, W. K. Herbicide handbook. 8.ed. Weed Science Society of America, Lawrence, 493p, 2002.

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

VIVIANI, F.; LITTLE, J. P.; PALLET, K. E. The mode of action of isoxaflutole. II. Characterization of the inhibition of carrot 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase by the diketonitrile derivative of isoxaflutole. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 62, n. 1, p. 125-134, 1998.

Weed Science Society of America. Herbicide Handbook. WSSA (Lawrence). Edição 10, 2014. 513p.

WEHTJE, G. R.; WALKER, R. H.; GREY, T. L.; HANCOCK, H. G. Response of purple (*Cyperus rotundus*) and yellow nutsedges (*C. esculentus*) to selective placement of sulfentrazone. **Weed Science**, V.45, e3, p. 382-7, 1997.

WUERFFEL, R.J. YOUNG, J. M.; LEE, R. M.; TRANEL, P. J.; LIGHTFOOT, D. A.; YOUNG, B. G. Distribution of the G210 protoporphyrinogen oxidase mutation in Illinois waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) and an improved molecular method for detection. **Weed Science**, v.63, n.4, p.839-845, 2015.

YOUNG, B. G.; HART, S. E. Mobility of RPA 201772 in *Setaria faberi*. **Weed Science**, v. 48, n. 2, p. 188-192, 2000.

ZHENG, H.; LIU, Y.; QIN, Y.; CHEN, Y.; FAN, M. Establishing dynamic thresholds for potato nitrogen status diagnosis with the SPAD chlorophyll meter. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 1, p. 190-195, 2015.

CAPÍTULO II

Seletividade de herbicidas pré-emergentes no cultivo da palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) (L.) Salm – Dick cv Miúda.

RESUMO

A palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) é uma cultura de destaque em regiões áridas e semiáridas, reconhecida por sua importância na alimentação animal e sua capacidade de crescer em condições adversas. No entanto, o manejo de plantas daninhas é um desafio significativo enfrentado pelos produtores, afetando diretamente a produtividade e a qualidade da cultura. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a seletividade e a eficácia de controle das plantas daninhas dos herbicidas na palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) cv Miúda. Foram realizados dois experimentos, sendo o primeiro para avaliação da seletividade dos herbicidas e o segundo para avaliar a eficácia das moléculas no controle das plantas daninhas. Para avaliação da seletividade de herbicidas, o experimento foi realizado no delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 5 x 5 com quatro repetições totalizando 100 parcelas experimentais, sendo o primeiro fator composto por (isoxaflutole 262,5 g.i.a ha⁻¹, flumioxazina 62,50 g.i.a ha⁻¹, imazapic 147 g.i.a ha⁻¹, sulfentrazone 400 g.i.a ha⁻¹ e testemunha sem herbicida), o segundo fator foi composto por épocas de aplicação dos herbicidas (0, 30, 60, 90 e 120) dias após o plantio (DAP). Foram avaliados a fitotoxicidade dos herbicidas, número de cladódios por planta (NCP), altura (ALP) e largura (LGP) das plantas e índice de área de cladódios (IAC), eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) e produtividade de massa verde (MV) e seca (MS) da parte aérea e massa seca da raiz (MSR) da palma forrageira. As avaliações ocorreram 15 e 60 dias após a aplicação dos herbicidas, exceto para as variáveis de produtividade que ocorreram no momento da colheita, aos 300 dias após o plantio. O segundo experimento, para avaliação da eficiência dos herbicidas sobre o controle das plantas daninhas, foi realizado no delineamento inteiramente casualizado com 5 tratamentos e 4 repetições sendo eles (isoxaflutole 262,5 g.i.a ha⁻¹, flumioxazin 62,5 g.i.a ha⁻¹, imazapic 147 g.i.a ha⁻¹, sulfentrazone 400 g.i.a ha⁻¹ e testemunha sem herbicida). As parcelas experimentais foram compostas por vasos de 20L com solo sem a planta, os herbicidas foram aplicados com pulverizador pressurizado a CO₂ acoplado a uma barra com dois bicos, tipo leque 1102 espaçados entre si de 0,50 m com pressão constante de 2,0 kgf pol² e vazão de 200L ha⁻¹. As avaliações ocorreram aos 30, 60 e 90 dias após a aplicação dos herbicidas e foi avaliado o percentual de controle de plantas daninhas com base nas plantas emergidas na testemunha (sem herbicida). Os herbicidas imazapic e sulfentrazone não causaram alterações morfofisiológicas na palma forrageira, ao contrário de isoxaflutole e flumioxazina que causaram fitotoxicidade da cultura a depender da época de aplicação, contudo as plantas se recuperaram ao longo do tempo. Nem um herbicida afetou a produtividade da palma forrageira, com isso todos os herbicidas são seletivos para a cultura desde que aplicados em épocas específicas no caso da flumioxazina e isoxaflutole. Todos os herbicidas foram eficazes no controle das plantas daninhas no período avaliado.

Palavras-chave: Cactaceae, controle químico, produtos fitosanitários, plantas daninhas.

ABSTRACT

The forage cactus (*Opuntia and Nopalea*) is a prominent crop in arid and semi-arid regions, recognized for its importance in animal feed and its ability to grow under adverse conditions. However, weed management is a significant challenge faced by producers, directly affecting the productivity and quality of the crop. Therefore, this study aimed to evaluate the selectivity and weed control efficacy of herbicides in forage cactus (*Nopalea cochenillifera*) cv Miúda. Two experiments were conducted: the first to assess herbicide selectivity and the second to evaluate the efficacy of herbicides in weed control. For the evaluation of herbicide selectivity, the experiment was carried out in a completely randomized design with a 5 x 5 factorial scheme and four replications, totaling 100 experimental plots. The first factor consisted of (isoxaflutole 262.5 g a.i. ha⁻¹, flumioxazin 62.5 g a.i. ha⁻¹, imazapic 147 g a.i. ha⁻¹, sulfentrazone 400 g a.i. ha⁻¹, and control without herbicide), and the second factor consisted of herbicide application times (0, 30, 60, 90, and 120 days after planting (DAP)). The variables evaluated were herbicide phytotoxicity, number of cladodes per plant (NCP), plant height (ALP) and width (LGP), cladode area index (IAC), photochemical efficiency of photosystem II (Fv/Fm), green mass (MV) and dry mass (MS) productivity of the aerial part, and root dry mass (MSR) of the forage cactus. Evaluations were carried out at 15 and 60 days after herbicide application, except for productivity variables, which were assessed at harvest, 300 days after planting. The second experiment, evaluating the efficacy of herbicides on weed control, was conducted in a completely randomized design with five treatments and four replications (isoxaflutole 262.5 g a.i. ha⁻¹, flumioxazin 62.5 g a.i. ha⁻¹, imazapic 147 g a.i. ha⁻¹, sulfentrazone 400 g a.i. ha⁻¹, and control without herbicide). The experimental plots consisted of 20L pots with soil without the plant. Herbicides were applied with a CO₂-pressurized sprayer equipped with a bar with two fan-type nozzles (1102) spaced 0.50 m apart, with a constant pressure of 2.0 kgf/cm² and a flow rate of 200 L ha⁻¹. Evaluations were conducted at 30, 60, and 90 days after herbicide application, and weed control percentage was assessed based on the emerged plants in the control (without herbicide). Imazapic and sulfentrazone herbicides did not cause morphophysiological changes in forage cactus, unlike isoxaflutole and flumioxazin, which caused phytotoxicity depending on the application time; however, the plants recovered over time. None of the herbicides affected the productivity of forage cactus, indicating that all herbicides are selective for the crop if applied at specific times in the case of flumioxazin and isoxaflutole. All herbicides were effective in weed control during the evaluated period.

Keywords: Cactaceae, chemical control, Phytosanitary products, Weeds.

1. INTRODUÇÃO

A palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) tem sido reconhecida como uma das culturas de importância econômica e social em regiões áridas e semiáridas, sendo fundamental na alimentação de animais em diversas partes do mundo (LIRA et al., 2017). No entanto, a competição com plantas daninhas é um dos principais desafios enfrentados pelos produtores, afetando diretamente a produtividade e a qualidade desta cultura (GALON et al., 2021).

Além da competição por luz, água e nutrientes, as plantas daninhas têm seu efeito negativo intensificado nos cultivos de palma forrageira, devido ao crescimento lento dessa cultura (SILVA; SOUZA, 2020). Ademais, o sistema radicular superficial da palma, à torna muito sensível ao controle mecânico manual, que dependendo do tamanho da propriedade torna-se uma prática muito onerosa e inviável financeiramente para o pequeno produtor (SILVA et al 2020a).

Nesse sentido, o controle eficiente de plantas daninhas em qualquer cultura se torna crucial para garantir o bom desenvolvimento e a maximização da produção. Entre as estratégias disponíveis, o uso de herbicidas tem se mostrado uma ferramenta significativa e amplamente adotada para o manejo dessas plantas infestantes (ALVES et al., 2023). A aplicação seletiva e criteriosa de herbicidas pode reduzir a competição por recursos, permitindo o crescimento ótimo da cultura (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

Por outro lado, técnicos e produtores enfrentam dificuldades no controle de plantas daninhas na cultura da palma, pois não há nenhum herbicida registrado junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o uso nessa cultura, dificultando o manejo dessas pragas no palmal (ALVES et al., 2023). Além disso, existe uma escassez de trabalhos na literatura com usos de herbicidas na palma forrageira, dificultando mais ainda o manejo de plantas daninhas nessa cultura.

Nesse sentido, o desenvolvimento de estudos voltados para encontrar produtos químicos (herbicidas) que possam, num futuro próximo, ser recomendados para o uso na cultura é de extrema importância (ZHOU et al., 2020). Adicionalmente, esses estudos podem servir como base para que empresas possam registrar determinados produtos para a cultura com maior segurança e precisão, dando aos agricultores a possibilidade de lançar mão de ferramentas tecnológicas para ampliar o rendimento da lavoura.

Desse modo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a seletividade de diferentes herbicidas e a eficácia de controle de plantas daninhas no cultivo da palma forrageira (*N. Cochenillifera*) cv Miúda.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, no município de Rio Largo – AL no período de junho de 2020 a junho de 2021. O local apresenta as seguintes coordenadas geográficas (latitude 09°28'30" S; longitude 35°49'43" W; altitude 127 m). De acordo com Alvares (2014), o solo é classificado como sendo um latossolo amarelo coeso argissólico de textura médio-argilosa. O clima da região, segundo a classificação de Koppen é As' (tropical megatérmico com chuvas no outono - inverno). Foram realizados dois experimentos, o primeiro para avaliação da seletividade dos herbicidas sobre a palma forrageira e o segundo para avaliação da eficácia no controle de plantas daninhas pelos herbicidas utilizados.

2.2 Avaliação da seletividade dos herbicidas

O experimento foi realizado no delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 5 x 5 com quatro repetições totalizando 100 parcelas experimentais, sendo o primeiro fator formado por (isoxaflutole 262,5 g.i.a/ha, flumioxazina 62,50 g.i.a/ha, imazapique 147 g.i.a/ha, sulfentrazone 400 g.i.a/ha e testemunha sem herbicida), o segundo fator foi composto por épocas de aplicação dos herbicidas (0, 30, 60, 90 e 120) dias após o plantio (DAP). As parcelas foram constituídas por vasos de 20L com solo previamente analisado (Figura 1). Para a aplicação dos herbicidas, utilizou-se pulverizador pressurizado a CO₂ acoplado a uma barra com dois bicos, tipo leque 1102 espaçados entre si de 0,50 m com pressão constante de 2,0 kgf pol² e vazão de 200L/ha.

Figura 1 - Visão geral das parcelas experimentais.



Fonte: Autor, 2022.

O plantio ocorreu de forma manual com cladódios previamente selecionados com peso variando entre 200 a 300 gramas, livres de pragas e doenças da cultivar Miúda com um ano de idade. Os tratamentos receberam adubação química com nitrogênio, fósforo e potássio de acordo com recomendação da análise química do solo (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise química do solo.

PH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+AL	SB	T	T efe	V	M	Na	K	Mat Org.
H ₂ O	mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³							%				
5,9	55	93	10	4,28	2,16	0,00	3,12	6,76	9,84	6,72	68,00	0,00	0,40	2,40	2,35

Fonte: Central Analítica, 2020.

Foram avaliados a fitotoxicidade dos herbicidas, número de cladódios por planta (NCP), altura (ALP) e largura (LGP) das plantas e índice de área de cladódios (IAC), eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) e produtividade de massa verde (MV) e seca (MS) da parte aérea e massa seca da raiz da palma forrageira. As avaliações ocorreram aos 15 e 60 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA), exceto para as variáveis de produtividade que ocorreram no momento da colheita aos 300 dias após o plantio.

As avaliações de fitotoxicidade causadas pelos herbicidas na palma forrageira foram realizadas com uso da escala de notas da E.R.W.C. (EUROPEAN RESEARCH WEED COUNCIL, 1964), (Tabela 2). As notas foram dadas com base em observações visuais, analisando-se todas as plantas da área útil da parcela.

Tabela 2 - Escala de nota visual para avaliação de fitotoxicidade E.R.W.C. (European Research Weed Council, 1964). Onde “nota 1” significa ausência de sintomas e “nota 9” significa morte de 100% das plantas.

Nota	Descrição do dano
9	Perda total;
8	Prejuízo muito pesado;
7	Prejuízo pesado na colheita;
6	Prejuízo evidente;
5	Duvidoso;
4	Dano pesado sem efeito sobre o rendimento;
3	Dano leve;
2	Sintoma muito leve;
1	Ausência de danos.

Fonte: ERWC, 1964.

O número de cladódios por planta foi obtido pela contagem de todos os cladódios da planta na parcela, não houve distinção entre as ordens dos cladódios. A altura e largura das plantas foram obtidas com uso de fita métrica, medindo-se todas as plantas da área útil da parcela. A altura foi mensurada da base do cladódio semente até o ápice do cladódio mais alto. A largura foi obtida com a mensuração dos cladódios laterais.

O IAC foi calculado com uso da equação proposta por Silva et al. (2014), onde:

$$IAC = \sum \frac{AC1 + \dots + ACn}{10000} / (E1 \times E2)$$

Em que:

✓ IAC: é o índice de área do cladódio observado, em $m^2 \cdot m^{-2}$;

✓ AC: é a área de cada cladódio;

✓ 10.000: é o fator de conversão de cm^2 para m^2 ; e

✓ E1 e E2 são os espaçamentos entre fileiras e entre plantas (utilizou-se os espaçamentos entre os vasos).

O valor de AC foi calculado a parti da fórmula $AC = CC \times LC \times 0,693$ conforme Barros (2014), onde CC e LC são o comprimento e a largura dos cladódios em cm e 0,693 é o fator de correção em função da forma da elipse do cladódio (PINTO, 2002). Para obtenção dos valores de CC e LC utilizou-se uma régua milimetrada, medindo-se todos os cladódios da planta de cada parcela e separando-os em ordem. O valor do IAC calculado foi multiplicado por 2, uma vez que a palma realiza fotossíntese de ambos os lados dos cladódios.

Para avaliação do rendimento quântico do fotossistema II (F_v/F_m), utilizou-se um fluorômetro portátil de frequência modulada modelo PAM 2500, Walz – Germany. Antes das mensurações os cladódios foram mantidos no escuro por cerca de 30 minutos para a desativação da cadeia transportadora de elétrons dos fotossistemas conforme descrito por Bolhar-Nordenkampf e Oquist (1993). Para isso utilizou-se pinças adaptadas e confeccionadas com chapa fina de alumínio, emborrachado preto e cola (Figura 2). Foram realizadas três leituras por planta e utilizada a média para a avaliação estatística.

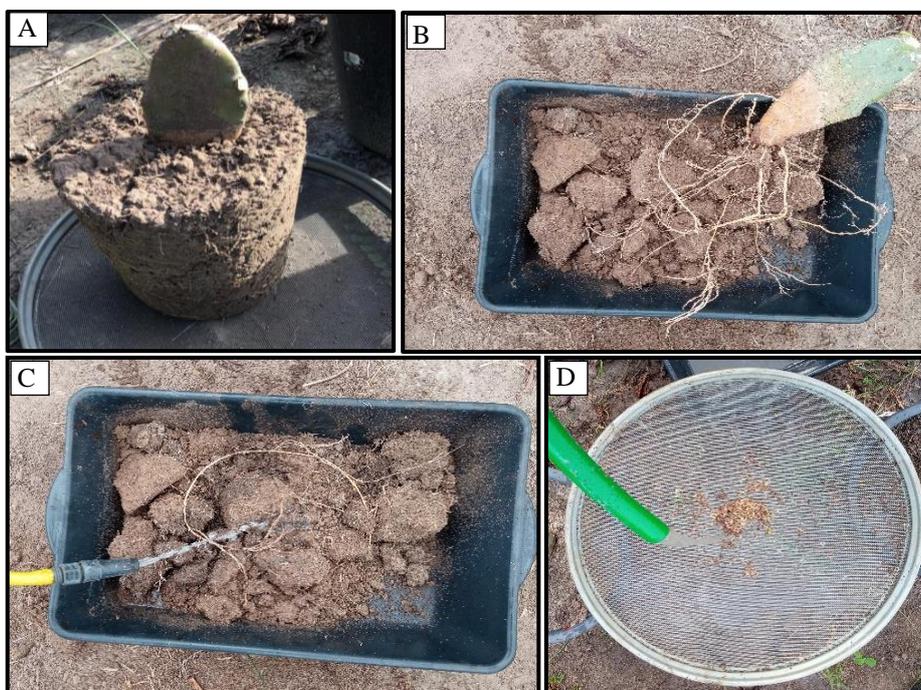
Figura 2 - Pinça adaptada para palma forrageira (A) e mensuração com uso da pinça (B).



Fonte: Autor, 2022.

Para estimativa da produtividade de massa verde, colheram-se todos os cladódios de cada planta da parcela, exceto o cladódio mãe ou semente, em seguida foram pesados, ainda em campo, para evitar perda de umidade por desidratação, sendo o valor obtido em kg vaso^{-1} . Para a produtividade de massa seca, retiraram-se uma amostra de 500g de cada parcela, que posteriormente foi seca em estufa a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 48h até obter massa constante, os valores obtidos foram dados em g vaso^{-1} . Já para obtenção da massa seca de raiz, retiraram-se todas as raízes de cada vaso com uso de peneira e água (Figura 3), em seguida foram colocadas em estufa a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ com ventilação forçada por 48h. Os valores foram dados em g vaso^{-1} .

Figura 3 - Procedimento para a retirada das raízes do vaso. Torrão contendo o cladódio e o solo (A), Solo depositado na bandeja para humedecimento (B), Solo com água para extração das raízes (C), Extração das raízes com água e peneira (D).



Fonte: Autor (2022).

2.3 Avaliação da eficácia dos herbicidas no controle das plantas daninhas

O experimento foi realizado no delineamento inteiramente casualizado com 5 tratamentos (isoxaflutole 262,5 g.i.a ha⁻¹, flumioxazin 62,5 g.i.a ha⁻¹, imazapic 147 g.i.a ha⁻¹, sulfentrazone 400 g.i.a ha⁻¹ e testemunha sem herbicida) e 4 repetições. As parcelas experimentais foram compostas por vasos de 20L com solo sem a planta, os herbicidas foram aplicados com pulverizador pressurizado a CO₂ acoplado a uma barra com dois bicos tipo leque 1102 espaçados entre si de 0,50 m com pressão constante de 2,0 kgf pol⁻² e vazão de 200L ha⁻¹.

As avaliações ocorreram aos 30, 60 e 90 dias após a aplicação dos herbicidas. O percentual de controle de plantas daninhas foi avaliado com base na quantidade de plantas que emergiram no tratamento controle (sem herbicida) sendo dado pela equação:

$$PC = \frac{T_s - T_c}{T_s} \times 100$$

Em que:

PC = percentual de controle de plantas daninhas

T_s = Quantidade de plantas germinadas na testemunha

T_c = Quantidade de plantas germinadas nos demais tratamentos

2.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade quando qualitativos e regressão polinomial quando quantitativo, para as análises utilizou-se o software Sisvar 5.8.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de variância das variáveis morfológicas e fisiológicas

Aos 15 dias após as aplicações dos herbicidas (1ª avaliação), houve interação significativa pelo teste F ($p < 0,01$) para as variáveis fitotoxicidade, altura de planta, índice de área de cladódios e atividade fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m), o número de cladódios por planta foi significativo para herbicidas e dias após o plantio (DAP), a largura de planta foi significativo apenas para dias após o plantio (DAP), sendo a regressão quadrática a mais significativa (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para as características fisiológicas e morfológicas da palma forrageira em função dos herbicidas e dias após o plantio (DAP) aos 15 dias após a aplicação.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios (15 DAA)					
		FT	F_v/F_m	NCP	ALP	LGP	IAC
Herbicidas	4	22,15**	0,0972**	8,33*	34,6844 ^{ns}	51,7609 ^{ns}	0,0262**
DAP	4	3,83**	0,0112**	202,88**	2193,1319**	5827,5421**	1,0319**
Linear	1	8,82**	0,0267**	7,22**	6863,2328**	16839,79**	3,5113**
Quadrática	1	5,71**	0,0055*	28,92**	1678,4051**	2140,66**	0,2460**
Herbicidas x DAP	16	1,60**	0,0132**	4,14 ^{ns}	60,0431**	47,4189 ^{ns}	0,0048**
Resíduos	75	0,07	0,0022	2,45	15,57	32,9151	0,0018
CV (%)		15,12	6,02	30,39	15,64	21,11	12,82

GL = Grau de liberdade; FT = Fitotoxicidade; NCP = Número de cladódios por planta; ALP = Altura de planta; LGP = Largura de planta; IAC = Índice de área de cladódio; F_v/F_m = Eficiência fotoquímica do fotossistema; CV = Coeficiente de variação; * = Significância a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste F; ** = Significância a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) pelo teste F; ns = Não significativo.

Fonte: Autor (2024).

Aos 60 dias após a aplicação, houve interação significativa pelo teste F ($p < 0,01$) apenas para fitotoxicidade e altura de planta (Tabela 4). O número de cladódios por planta, largura de planta e índice de área de cladódios foram significativos apenas para as épocas de aplicação dos herbicidas ($p < 0,01$) quando analisado de forma isolada, tal observação, indica que as plantas apresentam capacidade de recuperação após a aplicação dos herbicidas. A atividade fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) não foi significativa pelo teste F ($p > 0,05$), demonstrando que as plantas voltaram a realizar fotossíntese normalmente após 60 dias da aplicação dos herbicidas.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para as características fisiológicas e morfológicas da palma forrageira submetida a aplicação de herbicidas com 60 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA).

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios (60 DAA)					
		FT	F _v /F _m	NCP	ALP	LGP	IAC
Herbicidas	4	0,3400**	0,0002 ^{ns}	17,74 ^{ns}	39,0359 ^{ns}	135,9750 ^{ns}	0,049 ^{ns}
DAP	4	0,2400**	0,0002 ^{ns}	1528,74**	3174,9222**	11778,4046**	3,9539**
Linear	1	0,1250*	0,0000 ^{ns}	5387,22**	11808,1565**	34185,3722**	12,9541**
Quadrática	1	0,2892**	0,0009 ^{ns}	276,0142**	537,5462**	3967,4066**	1,9091**
Herbicidas x DAP	16	0,1525**	0,0003 ^{ns}	21,065 ^{ns}	45,3748*	90,0322 ^{ns}	0,0032 ^{ns}
Resíduos	75	0,0233	0,0002	18,1466	21,2661	68,5773	0,0043
CV (%)		14,28	2,07	28,36	10,68	15,98	9,42

GL = Grau de liberdade; FT = Fitotoxicidade; NCP = Número de cladódios por planta; ALP = Altura de planta; LGP = Largura de planta; IAC = Índice de área de cladódio; F_v/F_m = Eficiência fotoquímica do fotossistema; CV = Coeficiente de variação; * = Significância a 5% de probabilidade (p<0,05) pelo teste F; ** = Significância a 1% de probabilidade (p<0,01) pelo teste F; ns = Não significativo.

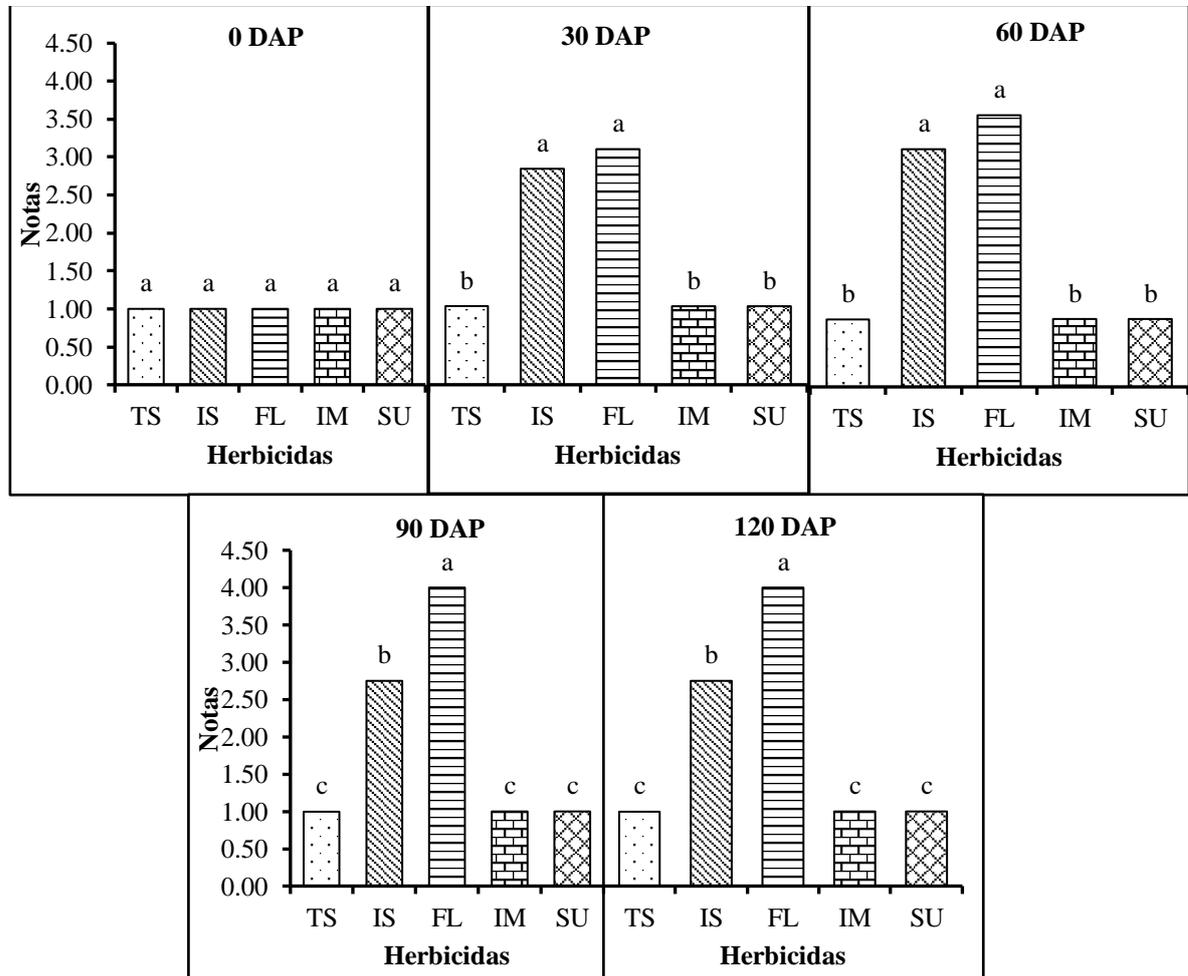
Fonte: Autor (2024).

3.2 Fitotoxicidade dos herbicidas na palma forrageira

Os herbicidas provocaram injúrias fitotóxicas na palma forrageira, apresentando interação significativa com as épocas de aplicação. Na primeira avaliação, aos 15 dias após a aplicação dos herbicidas, verificou-se que isoxaflutole e flumioxazina causaram injúrias na palma forrageira (Figura 4), com notas visuais média variando de 3,0 a 4,0 indicando dano leve e dano pesado sem efeito sobre o rendimento, de acordo com a escala de notas de E.R.W.C. (EUROPEAN RESEARCH WEED COUNCIL, 1964). Esses danos foram observados nas aplicações a partir de 30 dias após o plantio (DAP), devido a presença de brotações novas pelas plantas, que facilita a absorção dos herbicidas. Por outro lado, quando os herbicidas foram aplicados no momento do plantio não provocaram efeitos fitotóxicos na cultura, devido a não penetração dos produtos nos cladódios sementes que possuem uma cutícula espessa e cerosa.

Os herbicidas imazapique e sulfentrazone não causaram danos fitotóxicos à palma, independentemente da época de aplicação, indicando que a palma forrageira cv Miúda apresenta maior tolerância para esses dois herbicidas.

Figura 4 - Fitotoxicidade de herbicidas na palma forrageira cv Miúda, em função de épocas de aplicação (DAP), com 15 dias após a aplicação. Dados médios referentes a notas, variando de 1 (ausência de injúrias) a 9 (perda total).



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). TS = Testemunha; IS = Isoxaflutole; FL = Flumioxazina; IM = Imazapique; SU = Sulfentrazone.

Fonte: Autor (2024).

As injúrias causadas por isoxaflutole foram mais severas nas plantas com sistema radicular desenvolvido e cladódios brotados, o que geralmente ocorre cerca de 30 dias após o plantio (RAMOS et al., 2021). Isso ocorreu porque esse herbicida é absorvido predominantemente pelas raízes na forma de diquetonitrila e também via foliar na forma de isoxaflutole, resultando em uma eficácia maior do produto em plantas com sistema radicular e parte aérea formadas (ROGERS et al., 2023).

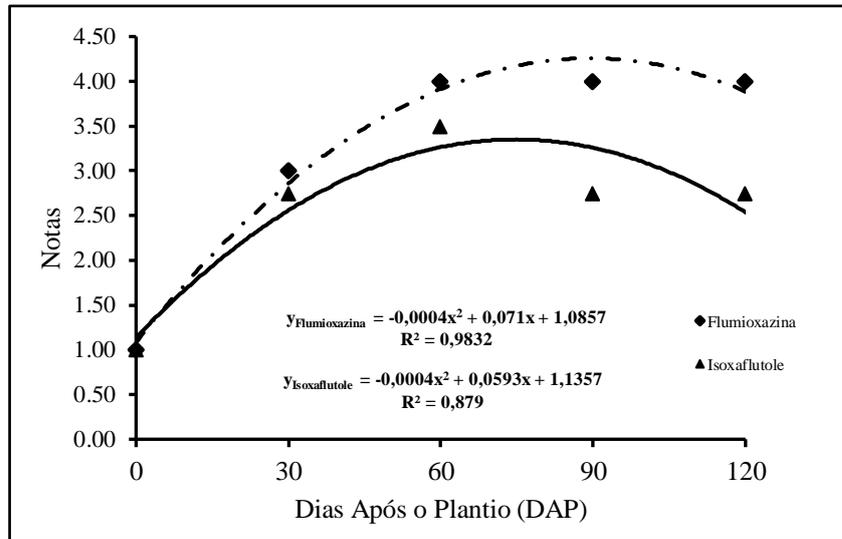
Resultados semelhantes foram encontrados por Perego et al. (2020) que também verificaram efeito fitotóxico causado por isoxaflutole no desenvolvimento inicial da cultura de cana de açúcar com recuperação das plantas aos 35 DAA, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho.

A flumioxazina, por ser um herbicida de contato, teve seu efeito acentuado quando aplicado em plantas com cladódios brotados, a partir dos 30 DAP. Isso ocorre pelo fato desse herbicida não translocar na planta e atuar apenas nos cladódios que receberam o produto durante a aplicação (MALARDO, 2023). Os efeitos mais severos de flumioxazina foram observados nos cladódios mais novos, que possuem uma menor quantidade de cutícula e cera foliar, facilitando a penetração do produto na planta.

Correia; Carvalho (2021), verificaram efeito fitotóxico de flumioxazina na cultura da batata doce, mas as plantas apresentaram capacidade de recuperação com o passar do tempo, como foi observado no presente trabalho. Por outro lado, Alencar et al. (2022), avaliando seletividade de herbicidas na cultura da soja, não constataram efeitos danosos de inibidores da PROTOX nessa cultura. Tais observações, evidenciam que cada planta tem seu próprio mecanismo de defesa quando submetida à aplicação de herbicidas.

As injúrias causadas na palma forrageira por flumioxazina e isoxaflutole em função das épocas de aplicação apresentaram resposta quadrática significativa (Figura 5), sendo as notas máximas estimadas de 4,29 e 3,33 para flumioxazina e isoxaflutole nessa ordem, indicando dano pesado sem efeito sobre o rendimento e dano leve, respectivamente, de acordo com a escala de notas de E.R. W.C. (EUROPEAN RESEARCH WEED COUNCIL, 1964) que podem ser observadas aos 89 DAP e 74 DAP respectivamente. Esses valores representam incrementos superiores a 300% no efeito fitotóxico dos herbicidas na palma forrageira proporcionado pelas épocas de aplicação. Diante dessas observações, é possível perceber que plantas mais velhas, a partir de 90 dias após o plantio são mais tolerantes à aplicação desses herbicidas, a partir dessa época os sintomas de fitotoxicidade começam a decair. Observa-se também que a melhor época para aplicação de isoxaflutole e flumioxazina na palma forrageira é no momento do plantio devido a ausência de danos fitotóxicos na cultura.

Figura 5 - Fitotoxicidade de isoxaflutole e flumioxazina na palma forrageira cv Miúda em função das épocas de aplicação desses herbicidas.



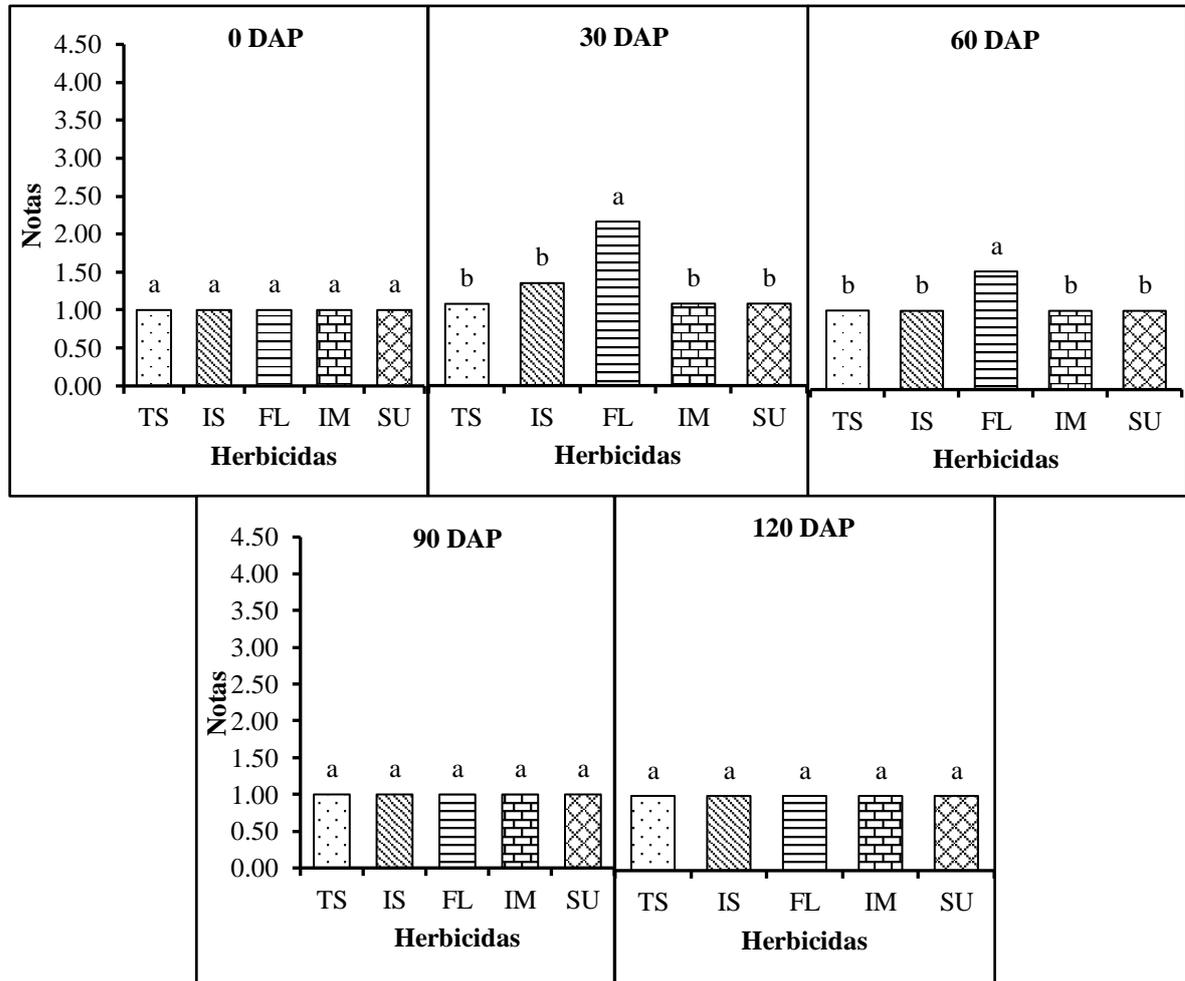
Fonte: Autor (2024).

A flumioxazina promoveu maiores danos à palma Miúda quando comparada ao isoxaflutole no mesmo período de observação. Isso ocorre, provavelmente, pelo fato dos herbicidas inibidores da enzima Protoporfirinogênio Oxidase (PPO ou PROTOX) atuarem com dinâmica de ação tóxica, com os sintomas aparecendo relativamente rápido caracterizados por manchas escuras, rápido branqueamento do limbo foliar, dessecação e necrose nos tecidos foliares (CARVALHO, 2013; SOUSA-JONAS et al., 2020). Por outro lado, o isoxaflutole requer um tempo maior para expressar seus efeitos. Além disso, em plantas tolerantes a esse herbicida, os sintomas não são persistentes como ocorre com os causados por flumioxazina.

Aos 60 dias após a aplicação (2ª avaliação) houve interação significativa entre os fatores, contudo, notou-se que os danos causados por isoxaflutole e flumioxazina foram danos muito leves com nota de valor 2, de acordo com a escala de notas de E.R.W.C (1964), reduzindo com os dias após o plantio (DAP), com recuperação total das plantas aos 60 DAP para isoxaflutole e aos 90 DAP para flumioxazina (Figura 6). A forma de metabolização desses herbicidas pela palma forrageira ainda é desconhecida, sendo necessárias investigações mais aprofundadas.

Estudos mostram que a grande responsável pela seletividade do isoxaflutole para espécies tolerantes, como o milho e a cana-de-açúcar, é a capacidade da planta de metabolizar rapidamente o isoxaflutole para diquetonitrila e, principalmente, deste para ácido benzóico, que não possui qualquer ação herbicida, e, ao final do processo, para gás carbônico (CAVALERI et al., 2008).

Figura 6 - Fitotoxicidade de herbicidas na palma forrageira cv Miúda, em função de épocas de aplicação (DAP), com 60 dias após a aplicação. Dados médios referentes a notas, variando de 1 (ausência de injúrias) a 9 (perda total).



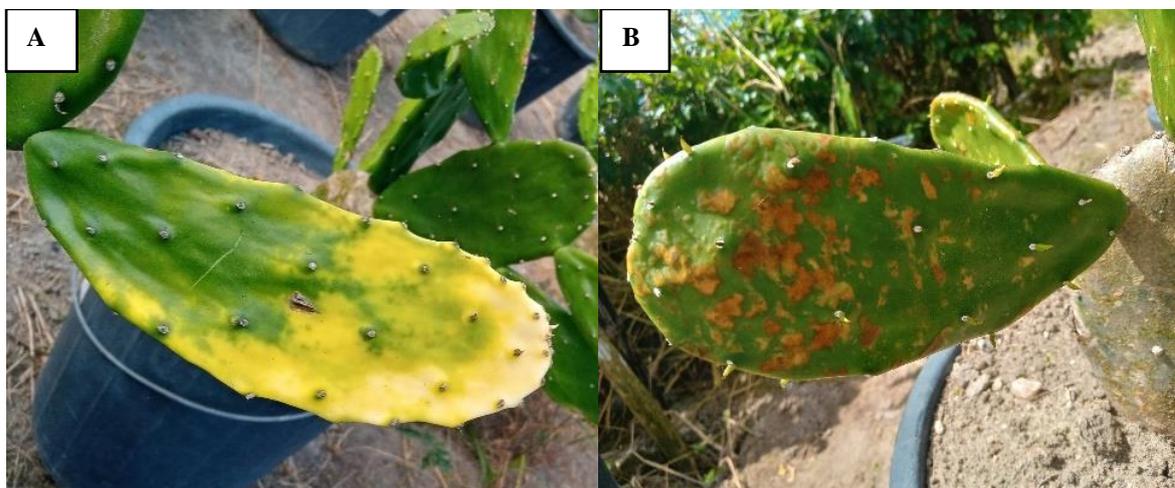
Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). TS = Testemunha; IS = Isoxaflutole; FL = Flumioxazina; IM = Imazapique; SU = Sulfentrazone.

Fonte: Autor (2024).

Os sintomas provocados por isoxaflutole foram manchas cloróticas, principalmente nos cladódios jovens (Figura 7A) ocasionadas pela fotodegradação da clorofila, característica inerente aos herbicidas inibidores da síntese de carotenoides (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018). Ao longo do tempo os sintomas foram se acumulando no ápice dos cladódios e desapareceram.

As plantas tratadas com flumioxazina apresentaram sintomas localizados, com manchas cloróticas que evoluíram para necróticas (Figura 7B), principalmente nos cladódios jovens, recém brotados, devido à menor quantidade de cutícula e cera o que facilita a penetração do herbicida, ocasionado abortamento.

Figura 7 - Cladódios com sintomas de fitotoxicidade causadas pelos herbicidas (isoxaflutole A) e (Flumioxazina B).



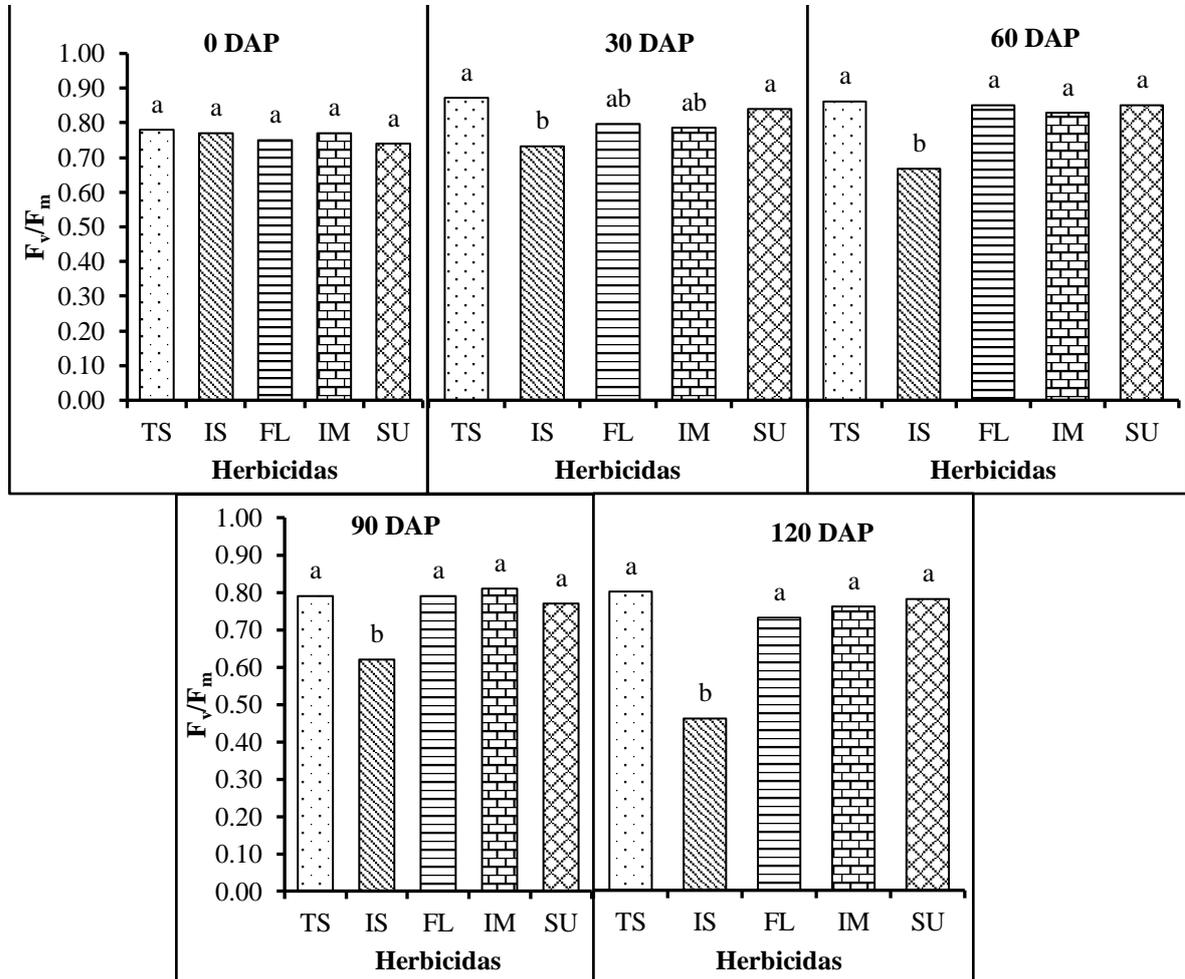
Fonte: Autor (2022).

De acordo com Oliveira Jr. et al. (2011), herbicidas inibidores PROTOX, como a flumioxazina, apresentam pouca seletividade quando são aplicados em pós emergência, no entanto algumas culturas apresentam alta capacidade de recuperar sua área foliar afetada, fato este, observado no presente trabalho, no qual as plantas apresentaram injúrias, porém se recuperaram. Resultados semelhantes foram encontrados por Santiago et al. (2020) e Silva, et al. (2012), que verificaram recuperação das plantas de mandioca após aplicação de flumioxazina. Franciscon et al. (2016) também observaram, aos 70 dias após a aplicação (DAA) de clomazone, que os sintomas de fitotoxidez desapareceram na cultura da mandioca.

3.3 Rendimento quântico potencial do fotossistema II (Fv/Fm)

Aos 15 dias após a aplicação dos herbicidas (1ª avaliação), houve interação significativa entres os fatores estudados (herbicidas e épocas de aplicação) e foi observado que isoxaflutole afetou a fotossíntese da palma forrageira quando aplicado nas plantas a partir de 30 dias do plantio (DAP), com valores variando de 0,48 a 0,71 elétrons quantum⁻¹. Os demais herbicidas não afetaram a sanidade do fotossistema da palma forrageira, independentemente da época de aplicação (Figura 8), apresentando valores que variaram entre 0,77 a 0,83 elétrons quantum⁻¹. Filho (2018), encontrou valores de 0,78 a 0,82 na palma Miúda ao avaliar níveis de sombreamento e doses de nitrogênio e Brito et al. (2018) encontraram valores variando de 0,75 a 0,82 elétrons quantum⁻¹ em palma forrageira ‘Gigante’ em condições ideais de cultivo, semelhante aos encontrados no presente trabalho nos tratamentos que não receberam isoxaflutole.

Figura 8 - Rendimento quântico potencial do fotossistema II (F_v/F_m), da palma forrageira (*N. cochenillifera*) cv Miúda submetida a aplicação de herbicidas em diferentes épocas de aplicação com 15 DAA.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). TS = Testemunha; IS = Isoxaflutole; FL = Flumioxazina; IM = Imazapique; SU = Sulfentrazone.

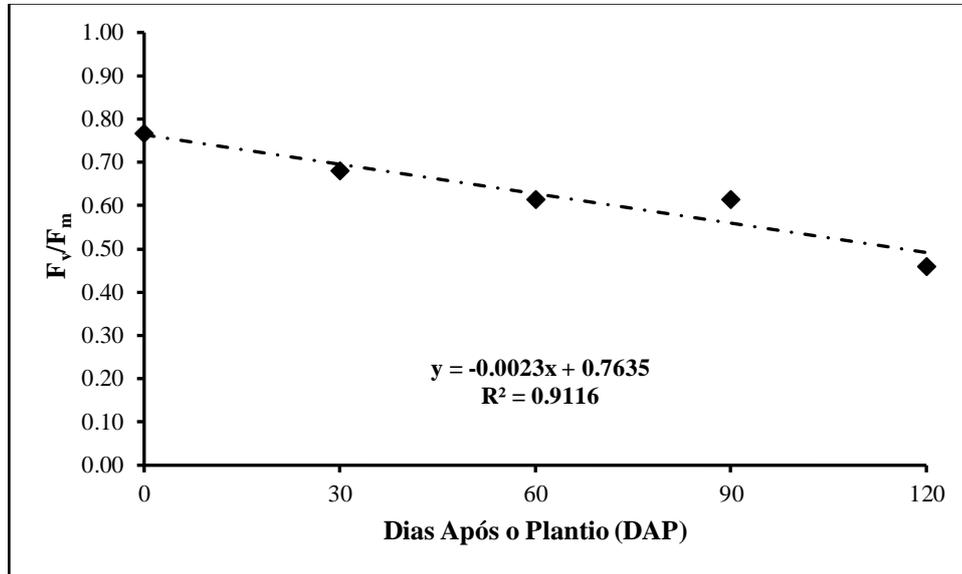
Fonte: Autor (2024).

Os valores de (F_v/F_m) expressam a eficiência na captura da energia de excitação pelos centros de reação abertos do PSII e representa a eficiência quântica do transporte de elétrons através desse fotossistema, sendo também um indicador válido para danos fotoinibitórios (KRAUSE; WEISS, 1991). O valor dessa variável pode variar de 0,75 (limite mínimo) a 0,85 (limite máximo), na maioria das espécies, quando as plantas estão em condições normais, não estressadas (REIS; CAMPOSTRINI, 2011).

O herbicida isoxaflutole promoveu decréscimo linear significativo nos valores de F_v/F_m (Figura 9), sendo que 91,16% da redução da atividade fotoquímica do fotossistema II pode ser explicada pelo aumento das épocas de aplicação do herbicida. Essa redução linear pode ser

explicada pela maior quantidade de cladódios das plantas mais velhas, o que, de certa forma, aumenta a área foliar e conseqüentemente a absorção do herbicida.

Figura 9 - Efeito de isaxaflutole sobre a atividade fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) da palma forrageira cv Miúda em função das épocas de aplicação do herbicida.



Fonte: Autor (2024).

Brito et al. (2021) verificaram que a eficiência fotoquímica da palma forrageira cv gigante, decaiu quando a planta é submetida a determinadas condições como alta luminosidade, estresse hídrico e ausência de adubação.

Aos 60 dias após a aplicação (2ª avaliação), não foi verificada interação significativa entre os fatores. Os herbicidas e as épocas de aplicação não foram significativas, indicando que as plantas, que receberam isoxaflutole, recuperaram a capacidade fotossintética. Diante disso, pode-se inferir que a palma forrageira tem capacidade de metabolizar essa molécula e transformá-la em compostos inativos.

Os herbicidas sulfentrazone e Imazapique não reduziram a atividade fotossintética da palma forrageira, independentemente da época de aplicação dessas moléculas, diferindo dos resultados encontrados por Sousa et al. (2019), que constataram redução na atividade fotoquímica F_v/F_m da cana de açúcar, com a aplicação de sulfentrazone em pós-emergência com doses variando de 350 a 1050 g i.a. ha⁻¹. Dados semelhantes para a redução de F_v/F_m são relatados por Corrêa et al. (2018), após aplicação de sulfentrazone e diuron em abacaxizeiro.

A resposta diferenciada da palma forrageira à aplicação desses herbicidas pode estar associada às características inerentes à própria cultura, como mecanismo fotossintético, taxa respiratória e conteúdo de água.

3.4 Número de cladódios por planta

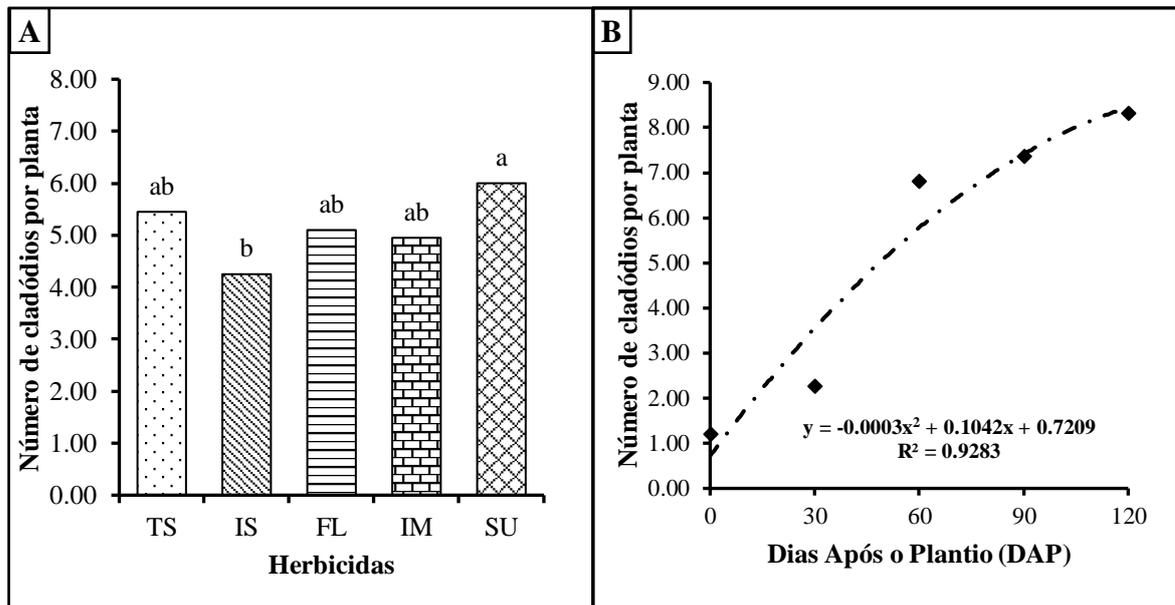
O número de cladódios por planta, na primeira avaliação (15 DAA), não apresentou interação significativa entre os fatores estudados. Porém, quando avaliados de forma isolada, tanto os herbicidas quanto os dias após o plantio (DAP) foram significativos.

Os herbicidas, independentemente da época de aplicação, influenciaram a brotação dos cladódios da palma forrageira, com destaque para o isoxaflutole que apresentou a menor média de cladódios planta⁻¹ (4,25), porém não diferiu estatisticamente da testemunha com 5,4 cladódios planta⁻¹, flumioxazina e imazapique com 5,1 e 4,95 cladódios planta⁻¹ respectivamente (Figura 10A). Por outro lado, o herbicida sulfentrazone apresentou a maior média de cladódios por planta (6,0) e foi superior ao tratamento com isoxaflutole.

A flumioxazina, apesar de ter causado danos fitotóxicos na palma forrageira, não interferiu na brotação dos cladódios, semelhante ao resultado encontrado por Martiello et al., (2016) que não verificaram redução nas brotações de recepa de cafeeiro com uso de flumioxazina.

O fator épocas de aplicação também afetou as brotações dos cladódios da palma Miúda quando avaliado de forma isolada, ou seja, independe dos herbicidas. O número de cladódios por planta apresentou resposta quadrática significativa (Figura 10B) para as épocas de aplicação, sendo que os Dias Após o Plantio (DAP) explicam 92,83% do incremento na quantidade de cladódios brotados. O valor máximo estimado (9,77 cladódio planta⁻¹) pode ser obtido aos 173 dias após o plantio (DAP), a partir desse ponto inicia-se um decréscimo no número de cladódios em função das épocas de aplicação.

Figura 10 - Número de cladódios por planta da palma forrageira Miúda em função dos herbicidas (A) e épocas de aplicação (B) com 15 dias após a aplicação.

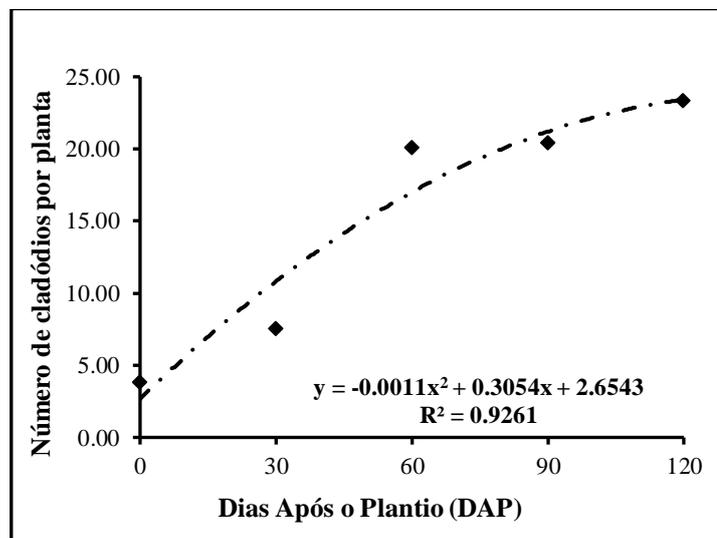


Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). TS = Testemunha; IS = Isoxaflutole; FL = Flumioxazina; IM = Imazapique; SU = Sulfentrazone.

Fonte: Autor (2024).

Aos 60 dias após a aplicação (2ª avaliação), não houve interação significativa entre os herbicidas e épocas de aplicação, mas quando analisados de forma isolada, apenas as épocas de aplicação foram significativas e apresentaram resposta quadrática. O incremento de 92,61% no número de cladódios da palma pode ser atribuído à variação das épocas de aplicação dos herbicidas, conforme descrito pela equação de segundo grau (Figura 11).

Figura 11 - Número de cladódios por planta da palma forrageira Miúda em função das épocas de aplicação dos herbicidas com 60 dias após a aplicação.



Fonte: Autor (2024).

A maior quantidade estimada de cladódios por planta (23,85), pode ser obtida aos 138 dias após o plantio. A partir desse ponto, a tendência é que as plantas reduzam a quantidade de cladódios brotados, isso deve-se ao fato da palma forrageira priorizar o crescimento dos cladódios, tanto em comprimento quanto em espessura. Silva et al., 2014 trabalhando com palma Miúda em diferentes densidades de plantio em condição de campo, encontraram 45,2 cladódios planta⁻¹ superiores ao do presente trabalho. Por outro lado, Donato et al. (2014), encontraram o número médio de 22,5 cladódios planta⁻¹ semelhante ao do presente estudo.

O número de cladódios da palma forrageira é uma característica morfológica importante, pois está diretamente correlacionada com a produção da cultura. Dessa forma, é um parâmetro que deve ser avaliado nos estudos relacionados a essa cultura (PINHEIRO et al., 2014).

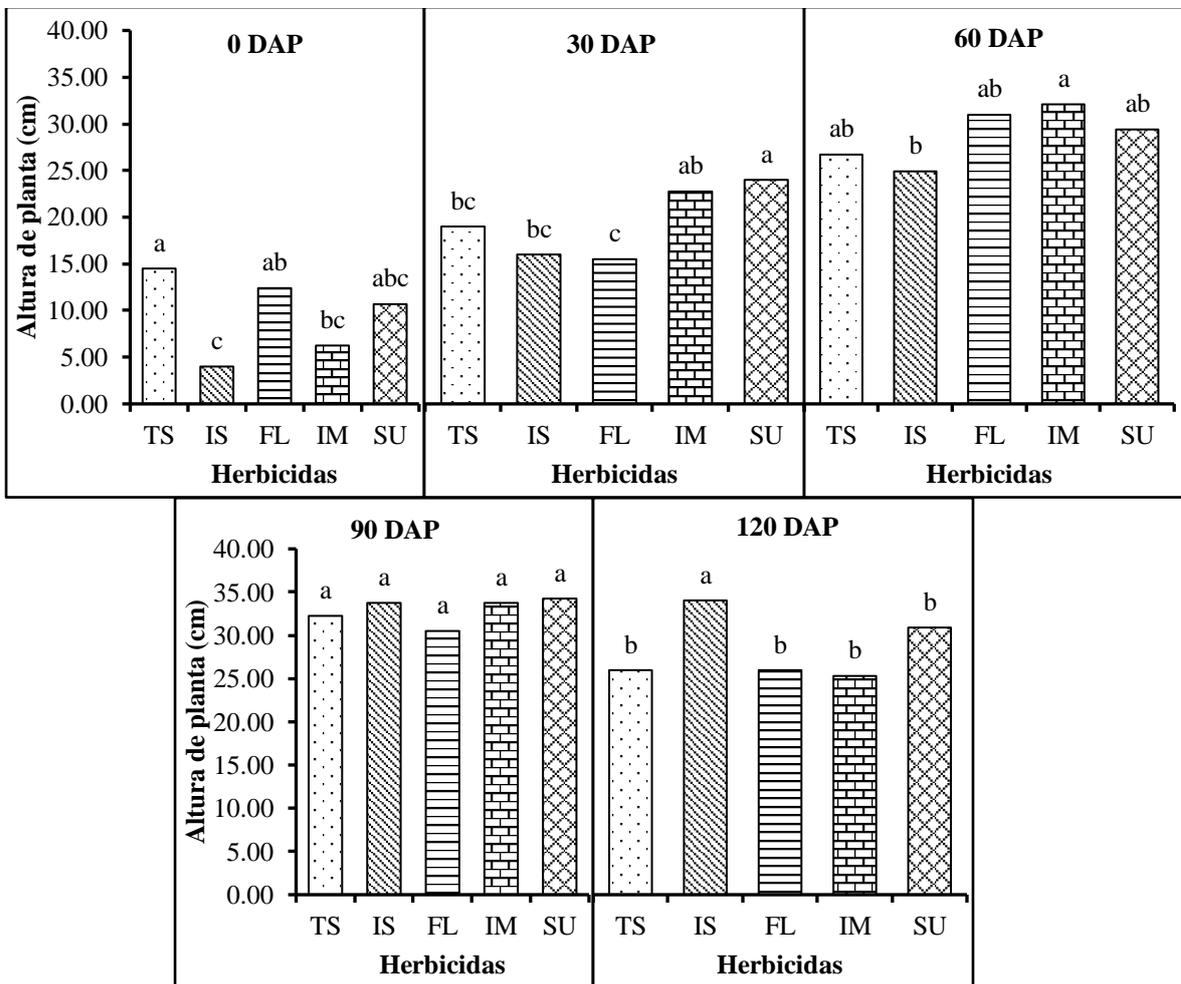
Silva et al. (2020b), encontraram correlação positiva entre número de cladódios e produção de massa verde na palma forrageira Miúda. Além disso, os autores relatam que o aumento da quantidade de cladódios na palma favorece o acúmulo de água na cultura.

3.5 Altura de planta

A altura de planta apresentou interação significativa entre os fatores (herbicidas x épocas de aplicação) nas duas avaliações aos 15 e 60 DAA. Na primeira avaliação (15 DAA), observou-se que isoxaflutole e o imazapique reduziram a altura das plantas e diferiu estatisticamente do tratamento testemunha quando aplicado no momento do plantio (0 DAP) com médias de 4,00 e 6,3 cm de altura respectivamente. Aos 30, 60 e 90 DAP o isoxaflutole e imazapique não reduziram a altura das plantas em relação ao tratamento testemunha e aos 120 DAP o isoxaflutole superou a testemunha com média de 38 cm de altura.

O tratamento com flumioxazina apresentou a menor altura de planta apenas quando aplicada aos 30 DAP com média de 15,5 cm, de todo modo não diferiu da testemunha com média de 19 cm de altura. Essa redução na altura das plantas, observada nessa época de aplicação, ocorreu por que a flumioxazina provocou o abortamento de alguns cladódios do ápice da palma. O sulfentrazone não prejudicou o crescimento em altura da palma forrageira, independente da época de aplicação, apresentaram média de 34,50 cm de altura, valores semelhantes aos encontrados por Soares et al. (2021), trabalhando com a cultivar Miúda (*N. cochenillifera*) com 120 dias após o plantio. A partir dos 90 DAP nenhum herbicida reduziu a altura das plantas.

Figura 12 - Efeito dos herbicidas na altura de planta da palma forrageira Miúda em diferentes épocas de aplicação, aos 15 DAA.

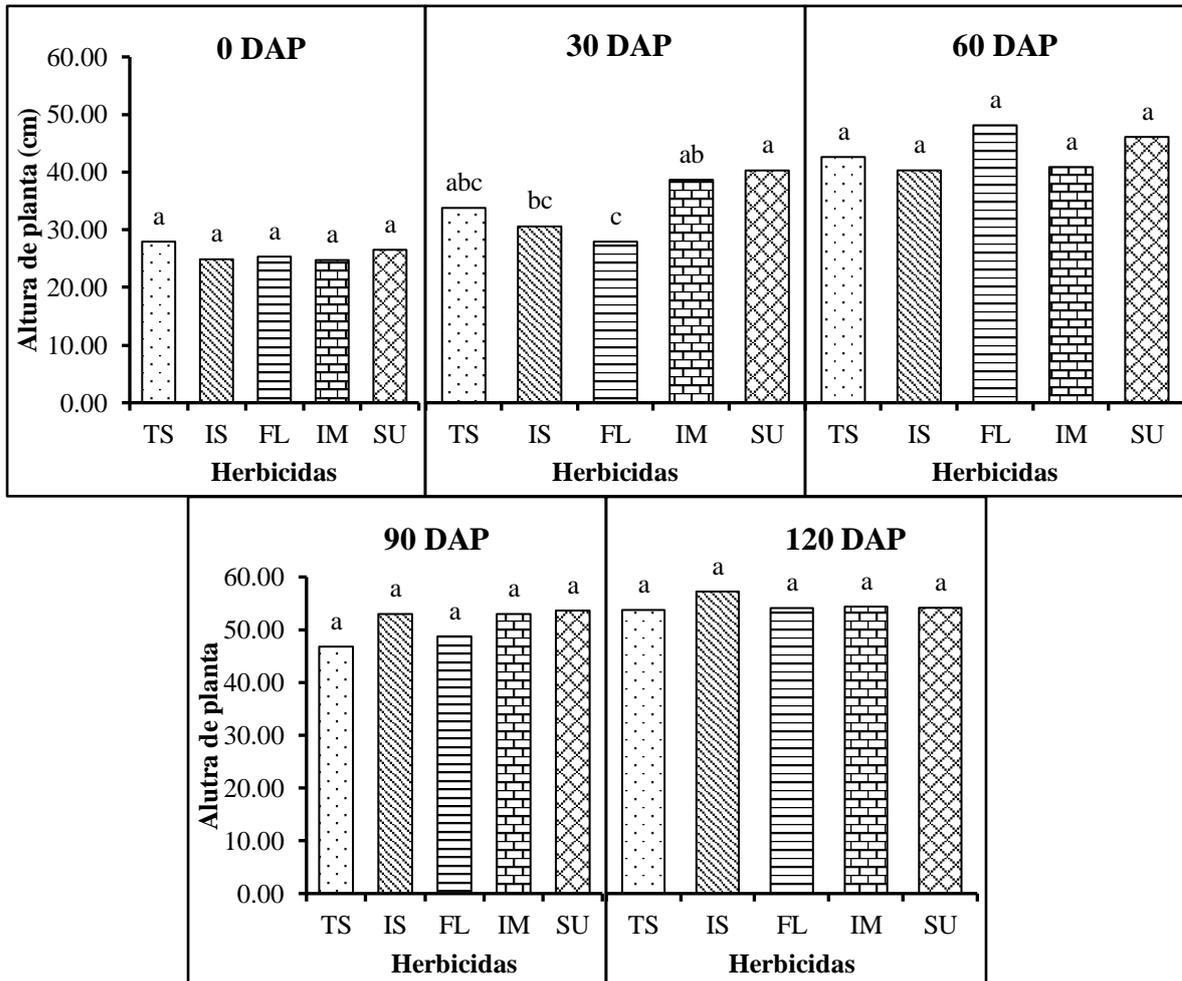


Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). TS = Testemunha; IS = Isoxaflutole; FL = Flumioxazina; IM = Imazapique; SU = Sulfentrazone.

Fonte: Autor (2024).

Na segunda avaliação, aos 60 DAA, houve interação significativa entre herbicidas e épocas de aplicação (Figura 13). Quando aplicados no momento do plantio (0 DAP), aos 60 DAP, 90 DAP e 120 DAP, todos os herbicidas foram semelhantes a testemunha e não promoveram alteração na altura das plantas. Por outro lado, quando aplicados aos 30 DAP, verificou-se que flumioxazina interferiu na altura das plantas com valores de 27,95 cm, inferior aos encontrados no tratamento com sulfentrazone (40,30) cm e imazapique (38,68) cm.

Figura 13 - Efeito de herbicidas na altura de planta da palma forrageira Miúda em diferentes épocas de aplicação de herbicidas aos 60 dias após a aplicação.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). TS = Testemunha; IS = Isoxaflutole; FL = Flumioxazina; IM = Imazapique; SU = Sulfentrazone.
Fonte: Autor (2024).

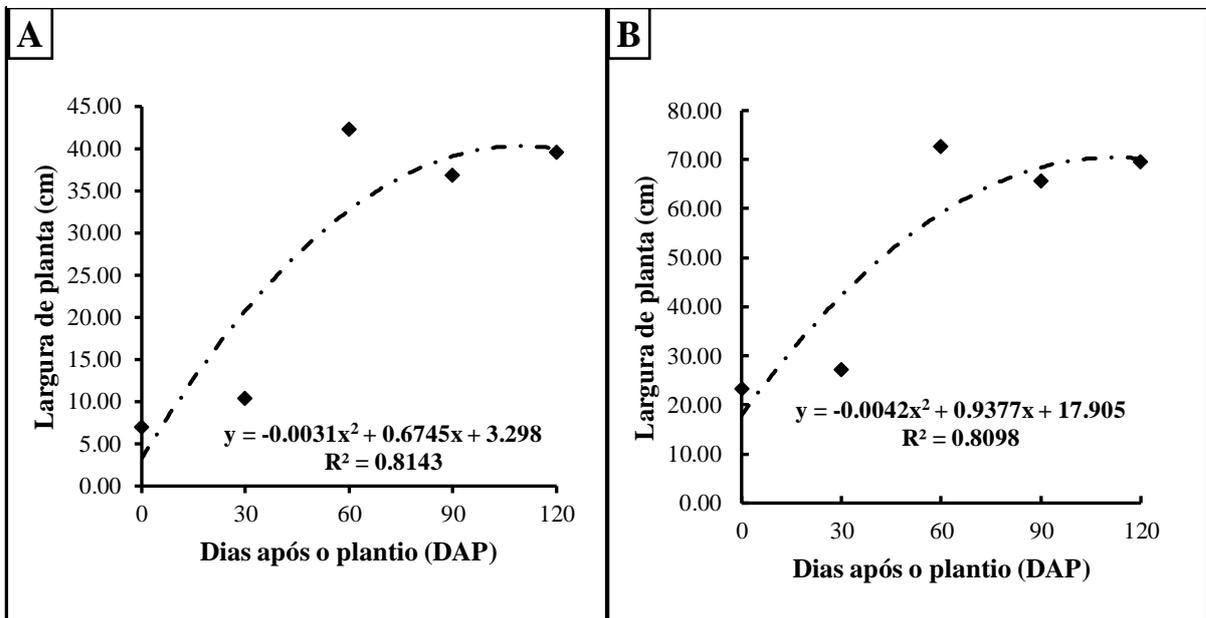
De acordo com Menor (2018), a altura da palma é um aspecto decisivo no incremento da produtividade, visto que plantas mais altas dispõem de um maior número de cladódios e, conseqüentemente, maior produção de biomassa.

Santos et al. (2021) citam que a altura da planta tem efeito direto sobre a produção da palma forrageira, e que essa característica reflete sobre a produtividade final da cultura, sendo um parâmetro importante a ser estudado nas pesquisas com palma forrageira. Por outro lado é importante destacar que a altura das plantas de palma forrageira é uma característica que depende de outros fatores como variedade, espaçamento de cultivo, nutrição mineral e das condições climáticas.

3.6 Largura de planta

A largura de planta (LGP) não apresentou interação significativa entre os fatores (Herbicidas e épocas de aplicação) nas duas avaliações aos 15 DAA e 60 DAA (Figura 14), porém, quando avaliado de forma isolada, foi significativa para dias após o plantio (DAP). A largura média das plantas variou de maneira quadrática em função das épocas de aplicação dos herbicidas, sendo que os dias após o plantio explicam 81,43 e 80,98% do incremento na largura das plantas na primeira (15 DAA) e segunda (60 DAA) avaliação respectivamente.

Figura 14 - Largura de planta da palma forrageira cv Miúda em diferentes épocas de aplicação de herbicidas, aos 15 dias após a aplicação (A) e aos 60 dias após a aplicação (B).



Fonte: Autor (2024).

As maiores larguras estimadas de 39,98 cm e 70,24 cm podem ser obtidas aos 109 e 111 dias após o plantio (DAP) para a primeira e segunda avaliação respectivamente. Estes valores superam aos encontrados por Lira et al. (2021), trabalhando com palma Miúda em consórcio com culturas anuais.

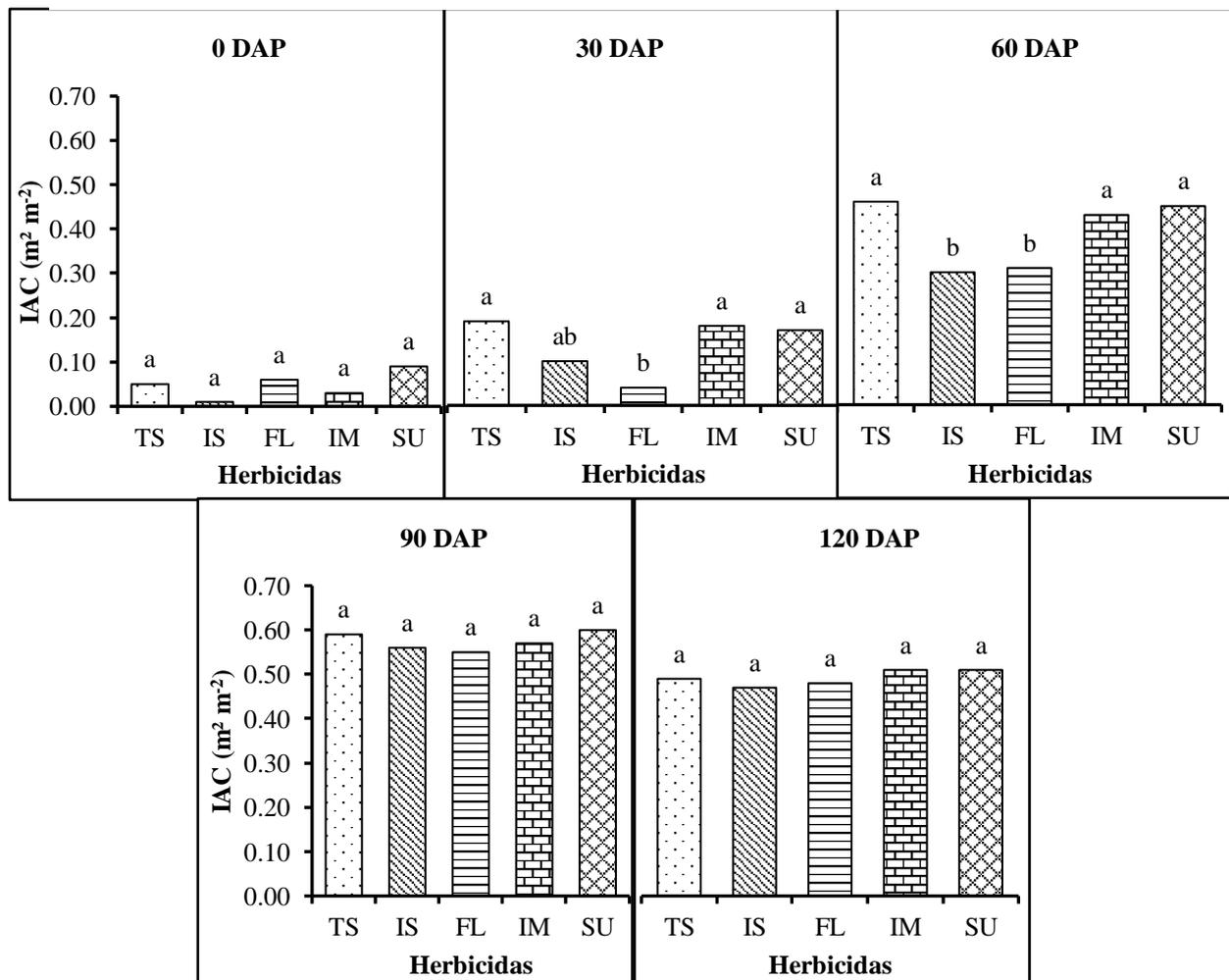
Em estudo desenvolvido por Pinheiro et al. (2014), com a palma Miúda, foi verificado que a largura das plantas teve alta correlação com a capacidade fotossintética, fato esse, muito importante, visto que, quanto maior a capacidade fotossintética das plantas maior a produtividade de massa seca.

3.7 Índice de área de cladódios (IAC)

O índice de área de cladódios foi afetado pelos herbicidas e as épocas de aplicação na primeira avaliação (15 DAA) e apresentou interação significativa entre esses fatores. Quando aplicado no momento do plantio (0 DAP), não houve diferença significativa entre os tratamentos, os valores variaram de 0,01 m^2m^{-2} para isoxaflutole e 0,05 m^2m^{-2} para a testemunha (Figura 15).

Aos 30 DAP, flumioxazina apresentou o menor IAC (0,04 m^2m^{-2}) e diferiu da testemunha (sem herbicida), imazapique e sulfentrazone, contudo não diferenciou de isoxaflutole. Quando aplicados aos 60 DAP, isoxaflutole e flumioxazina apresentaram os menores valores para IAC (0,30 m^2m^{-2}) e (0,31 m^2m^{-2}) respectivamente e foram estatisticamente inferiores aos demais tratamentos. Aos 90 e 120 DAP, não houve diferença entre os tratamentos, indicando que os herbicidas não afetaram a área foliar da palma forrageira nessas épocas de aplicação.

Figura 15 - Índice de área de cladódios (IAC) da palma Miúda em resposta à aplicação dos herbicidas e épocas de aplicação aos 15 (DAA).



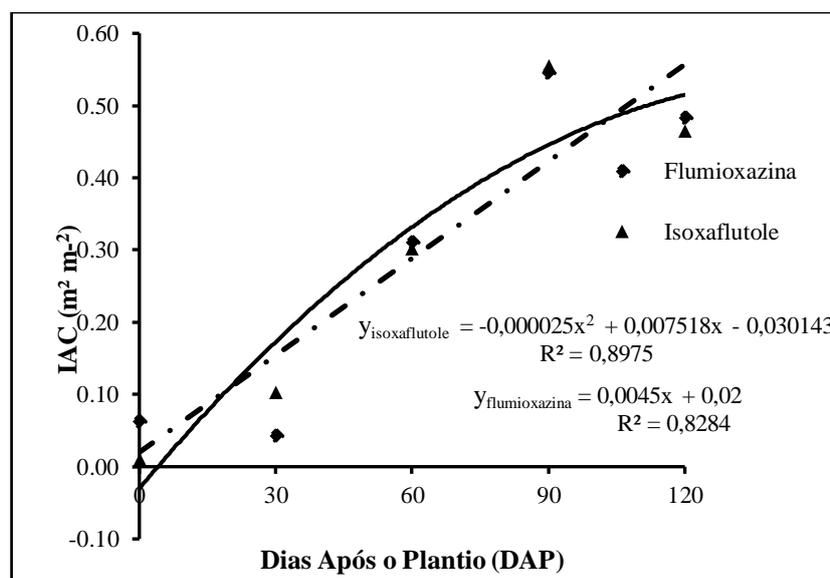
Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). TS = Testemunha; IS = Isoxaflutole; FL = Flumioxazina; IM = Imazapique; SU = Sulfentrazone.
Fonte: Autor (2024).

O índice de área de cladódios é um parâmetro importante, pois está relacionado com a capacidade da planta em interceptar a radiação solar, que é a principal fonte de energia para a fotossíntese. O IAC é um parâmetro que depende de diversos fatores, como espaçamento de plantio e densidade de cultivo, além disso, está diretamente relacionado com a produtividade da cultura (ROCHA, VOLTOLINI, GAVA, 2017).

Abreu et al. (2021), encontraram correlação positiva entre o IAC e a produção de biomassa verde da palma forrageira cv Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia ficus indica*). Pinheiro et al. (2014), também observaram correlação positiva das variáveis morfológicas com o índice de área do cladódio (IAC) da cultivar orelha de elefante mexicana (OEM). Os autores relatam, ainda, que 94,3% do rendimento da cultura está correlacionado com IAC.

A flumioxazina promoveu efeito linear crescente no IAC da palma em função das épocas de aplicação (Figura 16), apesar desse herbicida ter reduzido a área foliar das plantas ao ser comparado com os demais tratamentos, foi observado que não houve abortamento de cladódios pelas plantas mais velhas quando submetidas à aplicação de flumioxazina, explicando o comportamento linear dessa variável. Por outro lado, o isoxaflutole promoveu efeito quadrático significativo no IAC da palma forrageira em função das épocas de aplicação (Figura 16), sendo o valor máximo estimado ($0,59 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) podendo ser obtido aos 150 DAP.

Figura 16 - Índice de área foliar (IAC) da palma forrageira cv Miúda submetida à aplicação de flumioxazina e isoxaflutole em diferentes épocas de aplicação.

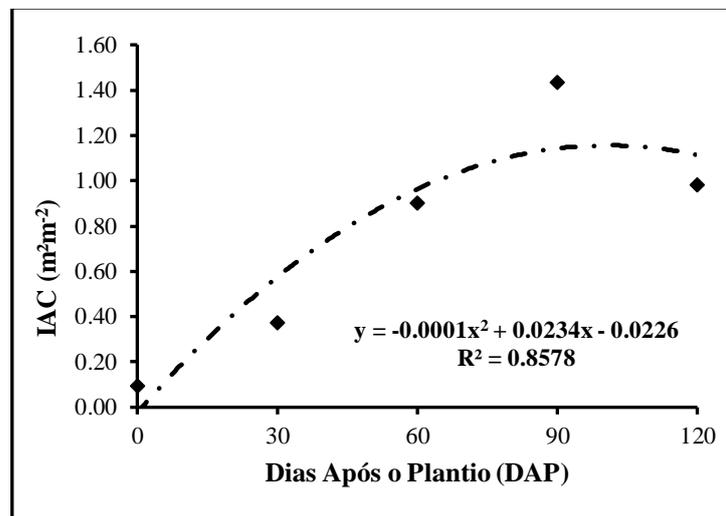


Fonte: Autor (2024).

Aos 60 (DAA), segunda avaliação, verificou-se que os herbicidas não afetaram o índice de área cladódios (IAC) da palma forrageira Miúda. Isso ocorreu porque as plantas recuperaram sua área foliar com o tempo. Os herbicidas isoxaflutole e flumioxazina, provavelmente, foram metabolizados pela palma forrageira, que por sua vez emitiu novas brotações e regenerou seu crescimento.

O IAC foi significativo apenas para dias após o plantio (DAP) quando avaliado de forma isolada, e variou de maneira quadrática com incremento positivo. O maior valor de IAC estimado foi observado aos 90 DAP (Figura 17), sendo de 1,43 m² m⁻². Esse valor representa um incremento superior a 1000% em relação ao tratamento com 0 DAP.

Figura 17 - Índice de área de cladódios (IAC) da palma Miúda em função de diferentes épocas de aplicação de herbicidas com 60 DAA.



Fonte: Autor (2024).

Silva et al. (2015) comparando o crescimento e a produtividade de três clones de palma, constataram que o maior rendimento de biomassa verde da cultivar orelha de elefante mexicana (OEM) está diretamente associado ao (IAC). Resultados semelhantes foram identificados em estudos que indicam a influência do (IAC), em relação à produção de biomassa da *Opuntiaficus-indica* (SALES et al., 2013).

3.8 Análise de variância das variáveis de produtividade

A produtividade de massa verde (MV) e massa seca (MS) da parte aérea e massa seca de raiz (MSR) da palma forrageira cv Miúda não foram significativas ($p > 0,05$) pelo teste F (Tabela 5). Com isso, é possível inferir que os herbicidas e as épocas de aplicação não interferiram nas características produtivas da cultura.

Tabela 5 - Resumo da Análise de variância para as características produtivas da palma forrageira submetida a aplicação de herbicidas e épocas de aplicação.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios		
		MV	MS	MSR
Herbicidas	4	0,0094 ^{ns}	74,3385 ^{ns}	85,4670 ^{ns}
DAP	4	0,0132 ^{ns}	105,3849 ^{ns}	40,8418 ^{ns}
Linear	1	0,0450 ^{ns}	355,8845 ^{ns}	129,3314 ^{ns}
Quadrática	1	0,0080 ^{ns}	65,1761 ^{ns}	20,5147 ^{ns}
Herbicidas x DAP	16	0,0078 ^{ns}	63,2543 ^{ns}	21,7677 ^{ns}
Resíduos	75	0,0232	183,8839	44,0287
CV (%)		11,31	11,51	11,59

GL = Grau de liberdade; MV = Massa verde parte aérea; MS = Massa seca parte aérea; MSR = Massa seca da raiz; CV = Coeficiente de variação; * = Significância a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste F; ** = Significância a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) pelo teste F; ns = Não significativo.

Fonte: Autor (2024).

3.9 Produtividade de massa verde da parte área

A produtividade de massa verde (MV) das plantas não foi afetada ($p > 0,05$) pelos herbicidas e nem pelas épocas de aplicação. Isso ocorreu porque a palma forrageira conseguiu se recuperar dos danos causados por isoxaflutole e fluioxazina no decorrer do seu desenvolvimento. Todos os tratamentos foram semelhantes à testemunha e os valores médios variaram de 1,29 a 1,37 kg vaso⁻¹.

A produtividade de massa verde da palma forrageira é uma característica importante, pois 90% do peso dos cladódios é formado por água o que torna essa planta um excelente alimento para os animais em ambientes com baixa disponibilidade hídrica (ROCHA, VOLTOLINI, GAVA, 2017).

Souza et al. (2018), avaliando a produtividade de genótipos de palma forrageira no semiárido paraibano, encontraram produtividades de massa verde variando de 1,2 kg planta⁻¹ a 9,45 kg planta⁻¹. No entanto, Ramos et al. (2017), encontraram valores de produtividade média de 2,56 kg planta⁻¹, superior aos encontrados no presente trabalho. Essa superioridade é justificada, pois no presente estudo as plantas foram cultivadas em vasos que, de certa forma, limitam o desenvolvimento do sistema radicular e conseqüentemente da parte aérea da planta.

De acordo com Cavalcante et al. (2014), a palma Miúda produz, em média, 68 t ha⁻¹ ano⁻¹ de massa verde (MV), em densidade de cultivo de 20.000 plantas ha⁻¹, quando cultivada em ambiente favorável, o que representa uma produtividade média de 3,4 kg planta⁻¹, superior

ao encontrado no presente estudo. Porém, como citado por Carvalho et al. (2021), a produtividade é um parâmetro relativo e depende de outros fatores como adubação, densidade de plantio, variedade, disponibilidade hídrica e outras condições de manejo.

3.10 Produtividade de massa seca da parte área

Os herbicidas e as épocas de aplicação não influenciaram na produtividade de massa seca (MS) da parte área da palma forrageira ($p > 0,05$). Todos os tratamentos foram semelhantes à testemunha, as médias de produtividade observadas variaram de 114,59 a 121,71 g vaso⁻¹.

A produtividade de massa seca (MS) na palma forrageira é influenciada por diversos fatores como espaçamento de plantio, frequência e intensidade de colheita, adubação, idade de corte, genótipos entre outros (SILVA et al., 2016; SOUZA et al., 2018). Com isso, o manejo influencia diretamente na quantidade total de forragem produzida.

Menor (2018), encontrou produtividade de massa seca (MS) na palma Miúda variando de 8,50 a 44,7 t ha⁻¹ para as densidades de 10.000 a 80.000 plantas ha⁻¹, o que equivale a 850 a 4.470 g planta⁻¹. Lira et al. (2018) encontraram produtividade de 3,90 t ha⁻¹ de massa seca na palma Miúda com adubação orgânica e densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ o que corresponde a 195 g planta⁻¹, superior ao encontrado no presente trabalho. Contudo, vale salientar que os autores supracitados trabalharam em condições ideais de cultivo, diferente do presente estudo, no qual as plantas foram cultivadas em vasos, o que é um fator limitante ao bom desenvolvimento do sistema radicular. Mas, de todo modo, essa limitação não prejudica o objetivo do trabalho, que foi meramente avaliar o efeito dos herbicidas e as épocas de aplicação.

Nesse sentido, é possível concluir que os herbicidas, independentemente da época de aplicação, não reduzem a produtividade da palma forrageira cv Miúda, o que de fato mostra que essas moléculas podem ser usadas para o controle das plantas daninhas na cultura sem prejudicar sua produtividade. De acordo com Carvalho, et al. (2009), a seletividade de um herbicida está relacionada com a capacidade do agroquímico em eliminar as plantas daninhas que infestam as culturas agrícolas, sem reduzir a produtividade e a qualidade do produto final obtido como observado no presente estudo.

3.11 Produtividade de massa seca de raiz.

A produtividade de massa seca das raízes da palma forrageira não variou em função dos herbicidas e épocas de aplicação, indicando que os herbicidas e as épocas não afetaram o

desenvolvimento do sistema radicular da palma forrageira cv Miúda. Todos os tratamentos foram semelhantes à testemunha ($p > 0,05$), que apresentou média de 55,05 g vaso⁻¹.

Em estudos feitos na África do Sul, com as espécies *Opuntia ficus-indica* e *Opuntia robusta*, observou-se que a maior concentração de raízes ocorreu nos primeiros 15 cm do solo e que o peso total destas, quando secas, atingiu o valor de 47,80 g planta⁻¹ e 63,20 g planta⁻¹, respectivamente (SNYMAN, 2006), semelhantes ao encontrado no presente trabalho.

O crescimento e produção radicular é um parâmetro importante a ser avaliado, pois são as raízes as primeiras partes das plantas a serem afetadas por estresses, como a presença de herbicidas (MENDES; SILVA, 2023). Com isso, impactos causados no sistema radicular interferem na capacidade da planta em absorver água e nutrientes, comprometendo sua produtividade (MANABRE et al., 2015).

A ausência de danos no sistema radicular da palma forrageira mostra que essa planta tem capacidade de suportar altas dosagens dos herbicidas utilizados, independentemente da época de aplicação, a ponto de não reduzir o rendimento da cultura.

3.12 Eficácia dos herbicidas no controle das plantas daninhas

Ao decorrer do experimento, houve heterogeneidade de infestação com monocotiledônea e dicotiledônea. As principais plantas observadas no período de avaliação foram Burra leiteira (*Euphorbia hyssopifolia*), Amendoim bravo (*Euphorbia heterophylla*), Capim pé de galinha (*Cynodon dactylon*), Cyperacea (*Cyperus sp*), Mentrasto (*Ageratum conyzoides*), melão de são caetano (*Momordica charantia*) e Beldroega (*Portulaca oleracea*).

A porcentagem de controle das plantas daninhas variou para cada herbicida (Tabela 6). Aos 30 DAA, isoxaflutole e flumioxazina apresentaram as maiores porcentagens de controle das plantas daninhas e diferiram estatisticamente de sulfentrazone que apresentou controle inferior a 90%, contudo foi superior a testemunha. Aos 60 DAA houve um pequeno declínio no percentual de controle dos herbicidas, sendo que flumioxazina apresentou o maior valor percentual (93,50%), seguido de isoxaflutole (92,75%), imazapique (92%) e sulfentrazone (89,25%), porém não houve diferença estatística entre eles. Aos 90 DAA houve um maior declínio na capacidade de controle dos herbicidas, que pode ser explicado pela redução do residual do produto no solo. Flumioxazina apresentou o maior percentual de controle, superior a 90% e diferiu estatisticamente de imazapique e sulfentrazone, porém não diferiu de isoxaflutole que também apresentou controle superior a 90%.

Tabela 6 - Valores médios de controle de plantas daninhas aos 30, 45 e 90 dias após a aplicação (DAA).

Tratamentos	Dose (i.a*)	Controle de plantas daninhas (%)		
		30 DAA	60 DAA	90 DAA
Isoxaflutole	262,5 g/ha	95,00ab	92,75a	90,50ab
Flumioxazina	62,5 g/ha	97,00a	93,50a	93,00a
Imazapic	147 g/ha	93,00bc	92,00a	89,75b
Sulfentrazone	400 g/ha	89,75c	89,25a	89,75b
Testemunha	-----	0,00d	0,00b	0,00c
CV		2,3	2,91	2,03

Medias seguidas pela mesma letra maiuscula na coluna e minuscula na linha não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). *Ingrediente ativo.

Fonte: Autor (2024).

A espécie com maior frequência no decorrer das avaliações foi a burra leiteira (*Euphorbia hyssopifolia*), seguida por cyperaceas (*Cyperus sp.*) e pé de galinha (*Cynodon dactylon*), ambas espécies foram bem controladas por todos os herbicidas utilizados, com destaque para flumioxazina.

Alves et al., 2023, avaliando o controle de plantas daninhas no cultivo da palma forrageira, constataram controle acima de 90% das espécies presentes com o uso de herbicidas inibidores da PROTOX. Ribeiro (2016), também obteve controle superior a 90% das plantas daninhas com uso de sulfentrazone aos 45 DAA, o autor observou uma redução no percentual de controle com o passar do tempo, com eficiência reduzida aos 115 DAA.

Silva et al. (2019), avaliando a seletividade de herbicidas na cultura da palma forrageira, obtiveram controle superior a 90 % aos 30 DAA, para os herbicidas oxyfluorfen, ametrina, atrazina e flumioxazin. Corroborando os dados encontrados no presente trabalho.

4. CONCLUSÕES

Imazapique e sulfentrazone são seletivos para a palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) cv Miúda e não causam danos fitotóxicos independente da época de aplicação.

Isoxaflutole e Flumioxazina são seletivos para a palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*), porém causam efeito fitotóxico quando aplicados em plantas com cladódios brotados.

Imazapique e Sulfentrazone não alteram as características morfológicas, fisiológicas e produtivas da palma forrageira.

Isoxaflutole e Flumioxazina alteram as características fisiológicas e morfológicas da palma forrageira cv Miúda, dependendo da época de aplicação, porém não causam redução na produtividade dessa cultura.

Todos os herbicidas testados são eficazes no controle das plantas daninhas.

5. REFERÊNCIAS

- ABREU, F. E. R.; DE CARVALHO, W. F.; DE NORONHA, D. M.; LOPES, M. N.; DE SOUZA MENEZES, M. D. S.; SOUSA, K. R. F.; DA SILVA, T. S. B. Crescimento e produtividade da palma forrageira cv. orelha de elefante mexicana em função da densidade de plantas no semiárido piauiense. **ILPF - Integração lavoura pecuária floresta: desafios, perspectivas, retrocessos e avanços**. v.1, p. 48-61, 2021.
- ALENCAR, E. S.; GEIST, M. L.; PEREIRA, J. P. M.; SCHEDENFFELDT, B. F.; NUNES, F. A.; SILVA DA, P. V.; DUPAS, E.; MAUAD, M.; MONQUERO, P. A.; MEDEIROS, E. S.; Selectivity of post-emergence herbicides and foliar fertilizer in soybean crop. **Revista de Ciências Agroveterinária**. Lages, SC, Brasil, v 21, p11, 2022.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONC, ALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, n. 6, p.711-728, 2014.
- ALVES, F. A. L.; SILVA, M. C.; DOS SANTOS, D. C.; FREITAS, E. V. Composição botânica e controle de plantas daninhas no cultivo da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*). **Revista multidisciplinar**. vol. 26, n.2, p. 1-14, 2023.
- BARBERIS, L. R. M.; TRINDADE, M. L. B.; VELINI, E. D. Seleção de genótipos de cana de-açúcar para acúmulo de protoporfirina IV com uso de herbicidas inibidores da PROTOX. **Planta Daninha**. v.27, n.4, p. 809-814, 2009.
- BARROS, Joaquim Lima de. Palma forrageira 'gigante' cultivada em diferentes espaçamentos com adubação orgânica. 2014. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - UNIMONTES, Minas Gerais, 2014.
- BOLHAR-NORDENKAMPF, H.; OQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: Photosynthesis and Production in a Changing Environment. [S.l.]: **Springer-Science+Business Media, B.V.** p. 193 – 205, 1993.
- BRITO, C. F. B.; DONATO, S. L. R.; ARANTES, A. M de.; DONATO, P. E. R.; SILVA DA, J.A. Photochemical efficiency in cladodes of 'Gigante' cactus pear cultivated under different spacings and organic fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.22, n.5, p.338-343, 2018.
- BRITO, C. F. B.; DONATO, S. L. R.; ARANTES, A. M de.; SILVA, J. DA A.; DONATO, P.E.R.; SANTOS, A. DOS J. Eficiência fotoquímica em cladódios de palma forrageira 'Gigante' cultivada sob diferentes espaçamentos e adubação mineral. **Nativa**, Sinop, v. 9, n. 3, p. 254-259, mai./jun. 2021.
- CARVALHO, L. B. Herbicidas. Lages: Editado pelo autor, v. 1, 2013.
- CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M.; FERREIRA, R.R.; FIGUEIRA, A.V.O.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Herbicide selectivity by differential metabolism: considerations for reducing crop damages. **Scientia Agricola**. v.66, p.136-142, 2009.

CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. DA A.; DA SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; DA SILVA M. A. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**. v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014.

CAVALIERI, S. D.; OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D. F.; DVORANEN, E. C.; BLAINSKI, E. Tolerância de híbridos de milho ao herbicida isoxaflutole. **Planta Daninha**, Viçosa-MG. v. 26, n. 4, p. 901-909, 2008.

CORREIA, N. M.; CARVALHO, A. D. F. Seletividade de herbicidas para batata-doce. **Weed Control Journal**, n. 20, e.202100740, p.1-6, 2021.

CORRÊA, J. M.; FERREIRA, E. A.; PEREIRA, G. A. M.; PIRATOBA, A. R. A.; SANTOS, J. B.; OLIVEIRA, C. H.; SILVA, C. T. Fluorescencia de la clorofila a en plantas de piña sometidas a aplicación de herbicidas. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**. v. 12, n. 1, p. 50-58, 2018.

DAYAN, F. E.; ARMSTRONG, B. M. Weete JD. Inhibitory activity of sulfentrazone and its metabolic derivatives on soybean (*Glycine max*) protoporphyrinogen oxidase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, e. 5, p. 9-2024, 1998.

DAYAN, F. E.; WEETE, J. D.; DUKE, S. O.; HANCOCK, H. G. Soybean (*Glycine max*) Cultivar differences in response to sulfentrazone. **Weed Science**, v.45, e.5, p41-634, 1997.

DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; BONOMO, P.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Morfometria e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.9, n.1, p.151-158, 2014.

FILHO, Renato Vieira de Carvalho. Sombreamento e adubação nitrogenada influenciando o acúmulo de biomassa em palma forrageira *Nopalea cochenillifera*. 2018. 74. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2018.

FISHER, L. R.; BURKE, I. C.; PRICE, A. J.; SMITH, W. D. Uptake, translocation, and metabolism of root absorbed sulfentrazone and sulfentrazone plus clomazone in flue-cured tobacco transplants. **Weed Technol.** v.20, n.4, p.898-902, 2006.

FMC. Sulfentrazone Technical Herbicide. Material safety data sheet. Philadelphia, PA: FMC Corporation; 2004.

FRANCISCON, H.; COSTA, N. V.; COSTA, A. C. P. R.; FERREIRA, S. D.; MORATELLI, G.; SALVALAGGIO, A. C.; ARRÚA, M. A. M. Eficacia y selectividad de mezclas de herbicidas en el cultivo de mandioca. **Revista de la Facultad de Agronomía**. v. 115, n. 2, p. 209-219, 2016.

GALON, L.; GABIATTI, R. L.; AGAZZI, L. R.; WEIRICH, S. N.; RADÜNZE, A. L.; BRANDLER, D.; BRUNETTO, L.; DA SILVA, A. M. L.; ASPIAZÚ, I.; PERIN, G. F. Competição entre híbridos de milho com plantas daninhas. **South American Sciences**. v. 2 n.1, p1-26, 2021.

- GEHRKE, V. R.; CAMARGO, E. R.; AVILA, L. A. Sulfentrazone: environmental dynamics and selectivity. **Planta Daninha**, v38, e020215663, p. 1-16, 2020.
- GREY, T. L.; WALKER, R. H.; HANCOCK, H. G. Sulfentrazone adsorption and mobility as affected by soil and pH. **Weed Science**, v.45, e.5, p. 8-733, 1997.
- KRAUSE, H.; WEIS, E. Annual Review Plant Physiology. 42: 313. 1991.
- LIRA, E. C.; ARAÚJO, J. S.; FELIX, E. S.; NASCIMENTO, G. V.; OLIVEIRA FILHO, T. J.; SOUZA, J. T. A.; PEREIRA, D. D. Produtividade de culturas anuais em sistema de consórcio com a palma forrageira resistente a Cochonilha-do-Carmim (*Dactylopius opuntiae Cockerell*). **HOLOS**, Ano 37, v.2, e11212, 2021.
- LIRA, M. A.; MELLO, A. C. L.; CUNHA, M. V.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.; LIRA JUNIOR, M. A.; APOLINÁRIO, V.X.O. Produção animal em pastagens tropicais da América Latina. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, vol. 25, p. 1- 23, 2017.
- MALARDO, Marcelo Rafael. Eficácia e seletividade de associações de herbicidas inibidores da PPO e do fotossistema II aplicados em pós-transplante de mudas pré-brotadas de cana de açúcar. 2023. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo “ Luiz de Quiroz”, Piracicaba, SP, 2023.
- MANABE, P. M. S.; MATOS, C. C.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; SILVA, A. F.; SEDIYAMA, T.; MANABE, A.; ROCHA, P. P.; SILVA, C. T. Efeito da competição de plantas daninhas na cultura do feijoeiro. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 31, n. 2, p. 333-343, 2015.
- MATRINGE, M.; CAMADRO, J. M.; LABBE, P.; SCALLA, R. Protoporphyrinogen oxidase as a molecular target for diphenyl ether herbicides. **Biochemical Journal**. e.260, p. 231-5, 1989.
- MENDES, K. F.; SILVA, A. L. Plantas daninhas: herbicidas., v. 2, 200p. 2023.
- MENOR, Talita Roberta Firemand de Lira. Sistemas de cultivo e composição isotrópica de e nitrogênio em palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*). 2018. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2018.
- NANDULA, V.K. Recent Advances in Deciphering Metabolic Herbicide Resistance Mechanisms. In: JUGULAM, M. (Ed.) *Biology, Physiology and Molecular Biology of Weeds*. Boca Raton: **CRC Press**. p.154-165, 2017.
- OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba, PR: Omnipax, 348p, 2011.
- PEREGO, I.; JÚNIOR, J. B. D.; ROSA, W. B.; JÚNIOR, A. C. G.; QUEIROZ, S. B.; COSTA DA, A. C. T. Phytotoxicity in two sugarcane cultivars in the initial development as affected by selectivity to herbicides. **Arquivos do Instituto Biológico**. v.87, p1-8, 2020.

- PINHEIRO, K. M.; SILVA, T. G. F.; CARVALHO, H. F. S.; SANTOS, J. E. O.; MORAIS, J. E. F.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D. C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfológicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.49, p. 939–947, 2014.
- PINTO, M. S. C. Estimativa do peso da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*, Mill.) a partir de medidas dos cladódios. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39., 2002. Recife-PE. Anais... Recife-PE: SBZ, v. 1, p.54-54, 2002.
- RAMOS, J. P. D. F.; MACÊDO, A. J. D. S.; SANTOS, E. M.; EDVAN, R. L.; SOUSA, W. H. D.; PERAZZO, A. F.; CARTAXO, F. Q. Forage yield and morphological traits of cactus pear genotypes. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v. 43, 2021.
- RAMOS, J.P.F.; SOUZA, J.T.A.; SANTOS, E.M.; PIMENTA FILHO, E.C.; RIBEIRO, O.L. Crescimento e Produtividade de *Nopalea Cochenillifera* em função de diferentes densidades de plantio em cultivo com e sem capina. **Revista Electrónica de Veterinária**. v. 18, n.8, p. 1-12, 2017.
- REIS, F.; CAMPOSTRINI, E. 'Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro,' **Revista Brasileira Agrociência**. vol. 17, no. 3, p. 284-295, 2011.
- RIBEIRO, J. R. D.; Sulfentrazone no controle de plantas daninhas na fase inicial da cultura do eucalipto. 2016. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - UFES - São Mateus, ES, 2016.
- ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**. v. 66, n. 255, p. 363-371, 2017.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas 7. Ed. Londrina: IAPAR, 764 p, 2018.
- ROGERS, J.; CHEN, M.; YANG, K.; GRAHAM, J.; PARKER, M. K. Production of Dichloroacetonitrile from Derivatives of Isoxaflutole Herbicide during Water Treatment. **Environmental Science & Technology**, February 7, p.9, 2023.
- SANTIAGO, A. D.; PROCÓPIO, S. DE O.; BRAZ, G. B. P. Tolerância de variedades de mandioca a herbicidas aplicados em pré-emergência. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 18p. 2020.
- SANTOS, D. B.; AZEVEDO, D. O.; JOSÉ DE SOUZA, A. A.; SIMÕES, W. L.; RODRIGUES, C. S.; ARAÚJO, R. O. F.; SOUZA, M. C.; DE CARVAL, C. M. Uso de esgoto doméstico na produção da palma forrageira. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.9, p. 88639-88650, 2021.
- SHANER, D. L. HERBICIDE HANDBOOK. Lawrence: Allen Press. e. 10, 513p. 2014.

SILVA, A. P.; SOUZA, P. A. Zoneamento agroclimatológico para produção da Palma Forrageira no semiárido. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n.4, p.20048-20057, 2020.

SILVA, A. S.; SANTOS, E. M.; PINTO, I. M. Y.; RAMOS, J. P. DE F. Análise multivariada da palma forrageira: características morfoprodutivas sob correlações canônicas. **Agrarian**, v.13, n.47, p.100-106, 2020b.

SILVA, A. S.; SANTOS, E. M.; RAMOS, João, J. P. De F.; SANTOS, B. R. D.; NASCIMENTO, J. F.; SÁ, R. P. Sistema de produção, valor nutricional e eficiência da palma forrageira no semiárido: uma revisão. **Academic Journal**, v. 12, n. 2, p.99, 2020a.

SILVA, D. V.; SANTOS, J. B.; CARVALHO, F. P.; FERREIRA, E. A.; FRANÇA, A. C.; FERNANDES, J. S. C.; GANDINI, E. M. M.; CUNHA, V.C. Seletividade de herbicidas pós-emergentes na cultura da mandioca. **Planta Daninha**. Viçosa-MG, v. 30, n. 4, p. 835-841, 2012.

SILVA, J. A.N.; CUNHA, J.L.X.L.; SOUZA, R.C.; RODRIGUES, G.N.; AMORIM, P.L.; JUNIOR, A.B.S.; FERREIRA, A.M.O.; LIMA, L.A.R.; SANTOS, N.E.A.; SOARES, M.A.S. Herbicide selectivity in the forage palm. **International Journal of Development Research**. vol. 09, Issue, 09, p. 29868-29873, 2019.

SILVA, J.A.; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E.S.; PADILHA JÚNIOR, M.C. E SILVA JUNIOR, A.A. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**. v.20. p 20-35, 2016.

SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J. H. A.; MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.44, n.11, p.2064-2071, nov, 2014.

SILVA, T. G. F.; MIRANDA, K. F.; SANTOS, D. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, M. DA C.; NETO, J. F. C.; ARAÚJO, J. E. M. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Agrária**, Recife, v.9, n.4, p.633-641, 2014.

SNYMAN, H.A. A greenhouse study on root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia robusta*. **Journal of Arid Environments**, v. 65, n. 4, p. 529-542, 2006.

SOARES, F. M. F.; ALBUQUERQUE, A. L. S.; SILVA, W. R. T. Avaliação do crescimento vegetativo de palma forrageira no Semiárido Alagoano. **Diversitas journal**, v.6, n. 1, p.1777-1785, 2021.

SOUSA, B. T.; DOMINGUESA, A. R.; BALOTTA, G. A. P.; ANDRADEA, D. F. M.; DALAZEN, G. Controle de Plantas Daninhas e Seletividade de Sulfentrazone + Diuron em Cana-De-Açúcar (Cultivar Rb 966928). **Rev. Bras. Herb**. v. 18, n. 4, e. 691, 2019.

SOUSA-JONAS, B. F.; JAKELAITIS, A.; SILVA, C. H. L.; LEÃO, V. G. Selection of bioindicator species of flumioxazin and saflufenacil residues in the soil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 11, 2020.

SOUZA, J. T. A.; RAMOS, J. P.; MACEDO, A. J. DA S.; VIANA, J. A.; CARTAXO, F. Q.; ORESCA, D.; DE OLIVEIRA, F. G. Crescimento e produtividade de genótipos de palma forrageira no Semiárido Paraibano. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**. v.12, n.3, p.37-42, 2018.

THOMAS, W. E.; TROXLER, S. C.; SMITH, W. D.; FISHER, L. R. Uptake, translocation, and metabolism of sulfentrazone in peanut, prickly sida (*Sida spinosa*), and pitted morningglory (*Ipomoea lacunosa*). **Weed Science**. v.53, e.4, p. 40-446, 2005.

WEHTJE, G. R.; WALKER, R. H.; GREY, T. L.; HANCOCK, H. G. Response of purple (*Cyperus rotundus*) and yellow nutsedges (*C. esculentus*) to selective placement of sulfentrazone. **Weed Science**, v.45, e3, p. 382-7, 1997.

ZHOU, C.; LUO, X.; CHEN, N.; ZHANG, L.; GAO, J. C. P. Natural Products as Next-Generation Herbicides: Chemistry and Biology of Glufosinate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n.18, v.11, p. 3344-3353, 2020. doi: 10.1021/acs.jafc.0c00052.

CAPÍTULO III

Adubação nitrogenada sobre o desenvolvimento e a produtividade da palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) (L.) Salm – Dick cv Miúda.

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação nitrogenada sobre o desenvolvimento e produtividade da palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) cv Miúda. Os tratamentos foram compostos por doses de nitrogênio (0, 25, 50, 100, 200, 400) kg ha⁻¹ de N e 4 repetições, totalizando 24 parcelas. As avaliações ocorreram aos 720 dias após o plantio e foram avaliadas a produtividade de massa verde (MV) e seca (MS) da parte aérea, número de cladódios por planta (NCP) e por hectare (NCH), altura (ALP) e largura (LGP) de planta, índice de área de cladódios (IAC) e foi determinada a dose de N economicamente viável. Os dados obtidos foram analisados pelo teste F e análise de regressão polinomial. Todas as variáveis foram influenciadas pela adubação nitrogenada e apresentaram resposta quadrática significativa (p<0,01). Os maiores valores estimados de produtividade de MV e MS 308,84 e 31,29 t ha⁻¹ respectivamente estão associados às doses de 214,17 e 251 kg ha⁻¹ de N o que representa um incremento produtivo de 45,32 e 67,42% em relação ao tratamento sem adubação, o NCP e NCH apresentaram resposta quadrática significativa (p<0,01) à adubação nitrogenada com valores máximos estimados de 48,62 e 2.035.100,43 cladódios respectivamente que representa um incremento de 46,99 e 47,67% quando comparado à dose 0 kg ha⁻¹ de N, para ALP e LGP os valores máximos estimados foram de 95,98 e 65 cm nas doses de 212 e 200 kg ha⁻¹ de N respectivamente. O IAC apresentou valor máximo de 3,88 m² m⁻² na dose de 221 kg ha⁻¹ de N, que representa um incremento 55,20% quando não se usa N. A dose mais econômica para a maior produtividade de massa seca da palma forrageira foi de 232,25 kg ha⁻¹ considerando a moeda de troca o peso seco dos cladódios, com receita líquida prevista de R\$ 11.855,32 ha. A palma forrageira (*N. cochenillifera*) cv Miúda é responsiva à adubação nitrogenada que promove ganhos significativos em suas características produtivas e de crescimento.

Palavras chave: cactácea, forrageira, nutrição mineral, xerófita.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the effect of nitrogen fertilization on the development and productivity of forage cactus (*N. cochenillifera*) cv. "Miúda." The treatments consisted of nitrogen doses (0, 25, 50, 100, 200, 400) kg ha⁻¹ of N with 4 replications, totaling 24 plots. Evaluations were conducted 720 days after planting, and the following parameters were assessed: green (GV) and dry (DV) above-ground mass productivity, number of cladodes per plant (NCP) and per hectare (NCH), plant height (ALP) and width (LGP), cladode area index (IAC), and the economically viable N dose. The data were analyzed using the F-test and polynomial regression analysis. All variables were influenced by nitrogen fertilization and exhibited a significant quadratic response ($p < 0.01$). The highest estimated values for GV and DV productivity, 308.84 and 31.29 t ha⁻¹, respectively, were associated with nitrogen doses of 214.17 and 251 kg ha⁻¹ of N, representing a productivity increase of 45.32% and 67.42%, respectively, compared to the no-fertilization treatment. NCP and NCH also showed a significant quadratic response ($p < 0.01$) to nitrogen fertilization, with estimated maximum values of 48.62 and 2,035,100.43 cladodes, respectively. This represents an increase of 46.99% and 47.67% when compared to the 0 kg ha⁻¹ N dose. For ALP and LGP, the estimated maximum values were 95.98 and 65 cm at doses of 212 and 200 kg ha⁻¹ of N, respectively. The IAC reached a maximum value of 3.88 m² m⁻² at the 221 kg ha⁻¹ N dose, representing a 55.20% increase when compared to no nitrogen application. The most cost-effective dose for higher forage cactus productivity was 232.25 kg ha⁻¹, considering the exchange rate as the dry weight of the cladodes, with an estimated net income of R\$ 11,855.32 per hectare. Forage cactus (*N. cochenillifera*) cv. "Miúda" responds positively to nitrogen fertilization, resulting in significant gains in its productive and growth characteristics.

Keywords: cactus, forage, mineral nutrition, xerophyte.

1. INTRODUÇÃO

As regiões de condições semiáridas são caracterizadas pela baixa precipitação, com chuvas irregulares e altas temperaturas, o que afeta diretamente a disponibilidade de forragens para a produção animal (MANIÇÓBA et al., 2021). O cultivo de espécies forrageiras que melhor adaptam-se a estas condições é essencial para evitar perdas produtivas e financeiras em sistemas de produção de ruminantes, neste sentido a utilização da palma forrageira como ração animal é uma das estratégias que podem ser empregadas para amenizar questões relacionadas à disponibilidade de forragem (ALVES et al., 2021; MARQUES et al., 2017).

A palma forrageira é uma planta adaptada às regiões de clima semiárido, constituindo importante fonte de alimento para os rebanhos no período de estiagem, sobretudo no Nordeste do Brasil (SOARES et al., 2021). É muito usada por apresenta várias potencialidades de uso, na alimentação animal, na alimentação humana, na medicina, na indústria de cosméticos, entre outras (OLIVEIRA et al., 2021). E quando bem manejada, pode alcançar elevadas produtividades.

A manutenção de altas produtividades na cultura da palma forrageira depende de vários fatores que compõem o sistema de cultivo, entre eles, o uso de fertilizantes, tanto orgânico quanto mineral (SILVA et al., 2016), que aumenta a produção de biomassa da palma forrageira (FONSECA et al., 2021). Nesse sentido, a utilização de nutrientes minerais, em especial o nitrogênio, na adubação da palma forrageira é uma prática que vem sendo adotada por vários produtores ao longo dos anos, porém existem poucos estudos a respeito da utilização correta desse nutriente na cultura, além disso, as informações a respeito de dose correta e ganhos de produtividade são contraditórias (SILVA et al., 2012).

O nitrogênio desempenha um papel crucial no desenvolvimento das plantas, pois está presente nas moléculas orgânicas e serve como regulador primário dos processos fotossintéticos (CUNHA et al., 2012; CAMARGO et al., 2022). Além disso, o nitrogênio aumenta gradativamente a produção de fitomassa, e sua ausência pode levar a efeitos deletérios como retardo de crescimento (CIRILO JUNIOR et al., 2022; FERRAZ et al., 2020).

Alguns estudos têm sendo realizados com uso desse nutriente, Neto et al. (2020), trabalhando com adubação nitrogenada cuja fonte foi uréia na dose de 600 kg ha⁻¹, verificaram impacto significativo no desenvolvimento do clone Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), Segundo os autores, a presença de nitrogênio influenciou no desenvolvimento do clone OEM, resultando em aumento dos valores médios de altura (63,5 cm), largura (86,6 cm) e número de cladódios (13,9 unidades) em relação às plantas não

adubadas (44,8 cm, 56,3 cm e 7,70 unidades, respectivamente). Santos et al. (2024), também verificaram resposta positiva no rendimento da palma forrageira clone OEM, com uso de adubação nitrogenada sendo a dose máxima de 286,19 kg N ha⁻¹ para massa verde e 299,12 kg N ha⁻¹ a dose máxima para produtividade de massa seca.

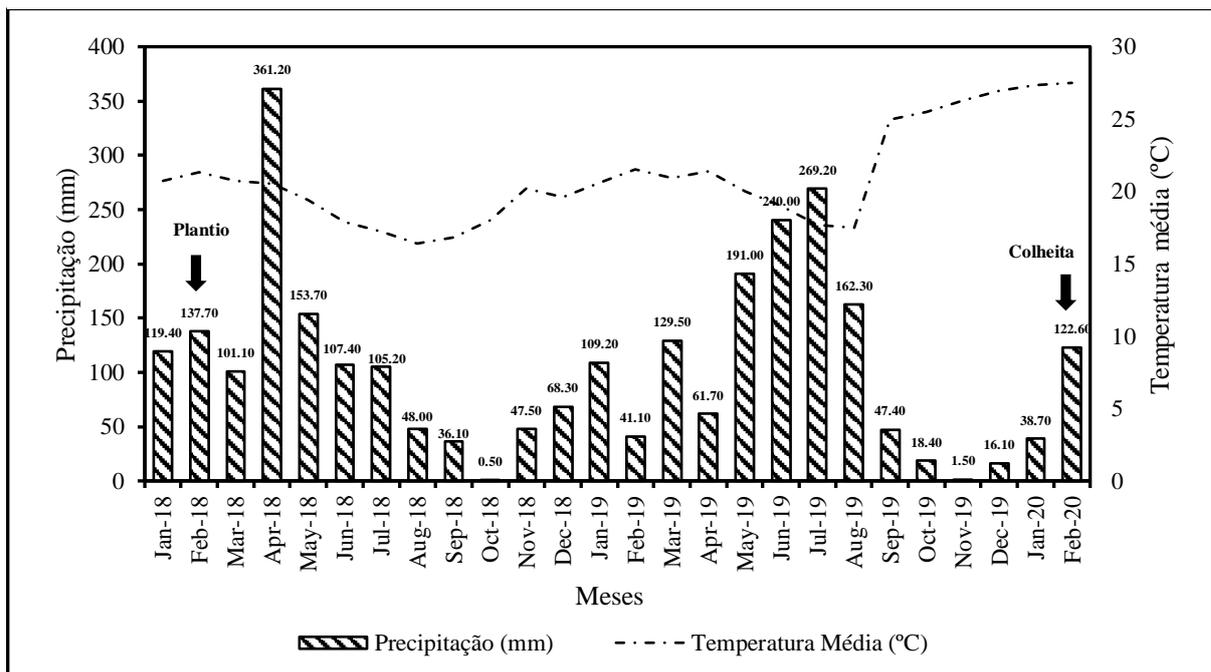
Esses trabalhos demonstram o efeito positivo do nitrogênio no desenvolvimento da palma forrageira. Entretanto, investigações adicionais sobre a eficiência biológica e econômica da utilização de nutrientes são necessárias para determinar a dosagem ideal que pode produzir os resultados mais significativos para a produção de palma forrageira. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar doses de nitrogênio, sobre o crescimento, desenvolvimento e a produtividade da palma forrageira (*N. cochenillifera*) cv Miúda cultivada em condições de sequeiro, além de determinar a dose de nitrogênio economicamente viável para a máxima produtividade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento e variáveis meteorológicas

O experimento foi desenvolvido no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, no município de Rio Largo – AL no período de fevereiro de 2018 a fevereiro de 2020. O local apresenta as seguintes coordenadas geográficas (latitude 09°28'30" S; longitude 35°49'43" W; altitude 127 m). De acordo com Alvares et al. (2014), o solo é classificado como sendo um latossolo amarelo coeso argissólico de textura médio-argilosa. O clima da região segundo a classificação de Koppen é As' (tropical megatérmico com chuvas no outono - inverno). Durante o período experimental a precipitação acumulada foi de 2.615,40 mm e temperatura média de 21 °C (Figura 18). Os dados de precipitação e temperatura foram obtidos da estação meteorológica do Centro de Ciências Agrárias em Rio Largo/AL locada à 300 metros da área experimental.

Figura 18 - Precipitação e temperatura média no período de condução do experimento.



Fonte: Autor (2024).

2.2 Amostragem do solo e calagem

Antes do plantio foram realizadas amostragem de solo na área experimental na profundidade de 20 cm e enviadas ao laboratório para análise química. O resultado da análise de solo (Tabela 7) foi utilizado para a recomendação da adubação e calagem. O preparado da área foi realizado de forma mecanizada com aração e gradagem 30 dias antes do plantio. A calagem foi realizada de forma manual em sulcos aplicando-se 3,65 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, para o cálculo da necessidade de calagem (NC) utilizou-se o método da elevação da saturação por bases onde: $NC (t ha^{-1}) = (V_2 - V_1) T / PRNT$, em que V_2 é a saturação por bases desejada, neste caso 60%, V_1 é a saturação por bases atual do solo que foi de 13,62%, de acordo com a análise química do solo, T é a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 e o PRNT é o poder relativo de neutralização do calcário utilizado que foi igual a 80%.

Tabela 7 - Resultado da análise do solo da área experimental na profundidade de 20 cm.

PH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+AL	SB	T	T _{efe}	V	M	Na	K	Mat Org.
H ₂ O	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³						%					
4,46	2,778	46	27	0,25	0,38	0,17	5,45	0,85	6,3	1,02	13,62	16,67	1,84	1,87	2,04

Fonte: Central analítica (2018).

2.3 Plantio e adubação de fundação

O plantio foi realizado de forma manual com espaçamento de 1,20 m entre linhas e 0,20 m entre plantas totalizando 41.666 plantas por hectare. Utilizou-se cladódios da variedade Miúda com 12 meses de idade, livres de pragas e doenças, provenientes do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias e previamente desidratados à sombra por um período de 10 dias para selamento dos cortes decorrentes da colheita.

Os cladódios foram enterrados na vertical com suas faces seguindo orientação norte-sul, enterrando-se aproximadamente 30%. No momento do plantio foi realizada adubação de fundação, em todas as parcelas, com fósforo (P) e potássio (K) nas doses de 200 e 130 kg ha⁻¹ respectivamente, baseando-se no resultado da análise do solo. Como fonte de fósforo utilizou-se o superfosfato simples que possui 18% de P₂O₅ e 12% de SO₄⁻², para K foi utilizado cloreto de potássio com 60% de K₂O.

2.4 Instalação do experimento

Aos 60 dias após o plantio (DAP) as parcelas experimentais receberam os tratamentos representados por 6 doses de N (0, 25, 50, 100, 200, 400) kg ha⁻¹ de nitrogênio e 4 repetições

totalizando 24 parcelas experimentais, seguindo o delineamento em blocos casualizados (DBC). As parcelas foram constituídas por 4 fileiras de plantas com 10 plantas em cada fileira, totalizando 40 plantas por parcela e uma área de 9,60 m². A área útil foi constituída pelas duas fileiras centrais de cada parcela, desprezando-se uma planta de cada extremidade, totalizando 16 plantas e área de 3,84 m². Como fonte de nitrogênio foi utilizado o sulfato de amônio que possui 20% de N na forma amoniacal e 24% de enxofre na forma de sulfato SO₄⁻². A aplicação da adubação correspondente aos tratamentos foi realizada paralelo à linha de plantio dos cladódios, próximo ao sistema radicular da palma para facilitar sua absorção. Ao longo do experimento, a área experimental foi mantida livre de plantas daninhas para evitar competição.

2.5 Variáveis e avaliação do experimento

As variáveis analisadas foram: Produtividade de massa verde (MV) e seca (MS), número de cladódios por planta (NCP), número de cladódios por hectare (NCH), altura (ALP) e largura (LGP) das plantas e índice de área de cladódios (IAC) e dose econômica de N. Todas avaliadas no momento da colheita.

O número de cladódios por planta foi obtido pela contagem de todos os cladódios das plantas na área útil da parcela e o resultado da contagem dividido pelo respectivo número de plantas. A contagem foi feita de forma manual e não houve distinção entre as ordens dos cladódios. O número de cladódios por hectare foi obtido pela multiplicação do número de cladódios por planta por 41.666,00 que representa o número total de plantas em 1 hectare no espaçamento adotado.

A altura e largura das plantas foram obtidas com uso de fita métrica, medindo-se todas as plantas da área útil da parcela. A altura foi mensurada da base do cladódio semente até o ápice do cladódio mais alto, já a largura foi obtida com a mensuração dos cladódios laterais, de um lado ao outro, sempre considerando o maior lado. Na análise estatística foi considerado o valor médio da altura e largura obtidos das plantas mensuradas.

O índice de área de cladódios (IAC) foi calculado com uso da equação proposta por Silva et al. (2014), onde

$$IAC = \sum \frac{AC1 + \dots + ACn}{10000} / (E1XE2)$$

Em que:

✓ IAC: É o índice de área do cladódio observado, em m² . m⁻²;

✓ AC: É a área de cada cladódio;

✓ 10.000: É o fator de conversão de cm^2 para m^2 ; e

✓ E1 e E2: São os espaçamentos entre fileiras e entre plantas

O valor de AC foi calculado a partir da fórmula $AC = CC \times LC \times 0,693$ onde CC e LC são o comprimento e a largura dos cladódios em cm e 0,693 é o fator de correção em função da forma da elipse do cladódio (PINTO, 2002).

Para obtenção dos valores de CC e LC utilizou-se uma régua milimetrada, medindo-se todos os cladódios de uma única planta selecionada e separando-os em ordem. O valor calculado do IAC foi multiplicado por dois, uma vez que os cladódios da palma forrageira realizam fotossíntese de ambos os lados.

A produtividade de massa verde foi obtida no momento da colheita aos 720 dias após o plantio (DAP), para isso foram colhidas 16 plantas correspondentes a área útil de cada parcela retirando-se todos os cladódios de cada planta deixando-se apenas o cladódio semente ou mãe. Após colhidos, os cladódios foram colocados em sacos e pesados, com uso de balança digital, ainda no campo, para evitar perda de umidade devido a desidratação (Figura 19). Com os dados, calculou-se o peso médio por planta e multiplicou-se por 41.666,00 que corresponde ao total de plantas em um hectare, obtendo-se a produtividade em t ha^{-1} de massa verde.

Figura 19 - Pesagem da palma no campo.



Fonte: Autor (2020).

Para obtenção da massa seca foi retirada uma amostra de 500g de cada parcela e colocada em estufa com ventilação forçada a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ até obtenção de massa constante, com os dados foi obtido o percentual de massa seca na amostra utilizando a equação:

$$\% MS = \left(\frac{PMS}{PMV} \right) \times 100$$

Em que:

% MS = É o percentual de massa seca da amostra

PMS = É o peso seco do material após a secagem na estufa dado em gramas

PMV = É o peso da amostra que foi de 500g para todos os tratamentos

A produtividade de massa seca foi obtida pela multiplicação do percentual de massa seca pela produtividade de massa verde.

A dose mais econômica de nitrogênio para a máxima produtividade de massa seca foi determinada conforme Rajj (1991) e Natale et al. (2011). Para o cálculo, considerou-se o preço médio por tonelada de massa seca de farelo de palma comercializado no mercado local, no valor de R\$ 1.100,0 referente ao ano de 2022. O custo médio do kg de nitrogênio, cuja fonte foi o sulfato de amônio no mercado foi R\$ 8,30 (por kg do elemento). Com isso, a “moeda” utilizada nos cálculos, durante todo o estudo, foi a próprio peso seco dos cladódios, considerando-se a seguinte relação de equivalência: kg de nitrogênio aplicado / tonelada de massa seca, logo tem-se que $R\$ 8,30/R\$ 1.100,00 = R\$ 0,0075$.

A dose econômica foi calculada com base na derivada da equação de regressão entre a produtividade de massa seca e as doses de nitrogênio, tornando-a igual à relação de troca, ou seja: $dy/dx = 2a_2x + a_1 =$ relação de troca. A dose mais econômica (x') foi calculada por: $x' = (a_1 - \text{relação de troca}) / 2 \cdot (-a_2)$

2.6 Análise estatística

Os dados coletados no experimento foram submetidos a análise de variâncias pelo teste f e as médias foram submetidas a regressão polinomial utilizado o programa Sisvar versão 5.7

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de variância

Houve diferença significativa pelo teste F para as doses de N em todas as variáveis analisadas (Tabela 8), sendo que massa seca (MS) foi significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) e as demais variáveis: massa verde (MV), número de cladódios por planta (NCP), número de cladódios por hectare (NCH), altura de planta (ALP), largura de planta (LGP) e índice de área de cladódios (IAC) à 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Para todas as variáveis o modelo de regressão quadrática foi a que melhor se ajustou aos dados ($p < 0,01$).

Tabela 8 - Resumo das análises de variância para as variáveis produtivas e morfológica da palma forrageira cv Miúda submetida a doses de adubação nitrogenada.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios						
		MV	MS	NCP	NCH	ALP	LGP	IAC
Doses de N	5	5840,92*	65,35**	124,15*	2,15*	95,77*	431,69*	0,88*
Linear	1	2342,63 ^{ns}	23,68 ^{ns}	86,53 ^{ns}	15023,37 ^{ns}	66,78 ^{ns}	301,04 ^{ns}	0,61 ^{ns}
Quadrática	1	22341,28**	283,31**	491,85**	85361,78**	379,31**	1710,09**	3,50**
Cúbica	1	44,99 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,94 ^{ns}	16505,17 ^{ns}	0,73 ^{ns}	3,30 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Blocos	3	5552,48*	45,24*	135,76*	2,35*	104,72*	472,27*	0,97*
Resíduos	15	1498,09	12,16	37,25	6,47	28,75	129,66	0,26
CV (%)		15,13	14,87	15,29	15,29	9,08	13,94	16,19

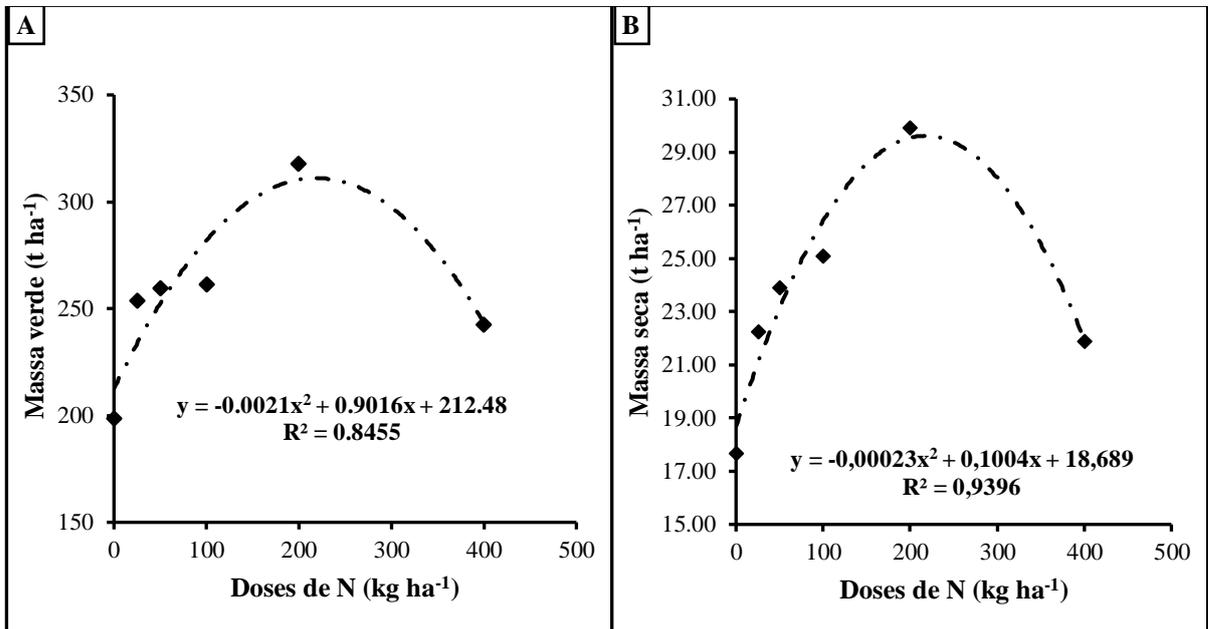
GL = Grau de liberdade; MV = massa verde; MS = massa seca; NCP = número de cladódios por planta; NCH = número de cladódios por hectare; ALP = altura de planta; LGP = largura de planta; IAC = índice de área de cladódio; CV = coeficiente de variação; * = significância a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste F; ** = significância a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) pelo teste F; ns = não significativo.

Fonte: Autor (2024).

3.2 Produtividade de massa verde (MV) e seca (MS).

A produtividade de massa verde e seca da palma Miúda aumentaram significativamente ($p < 0,01$), com o aumento das doses de adubação nitrogenada sendo que 84,55% e 93,96% do incremento da produtividade de MV e MS respectivamente é explicado pelo aumento das doses de N, determinado pela equação do 2º grau (Figura 20). A máxima produtividade estimada 308,84 e 29,65 t ha⁻¹ de MV e MS nessa ordem podem ser obtidas com as doses de 214,17 e 218,26 kg ha⁻¹ de N, o que representa um incremento de 45,32 e 67,61% na produtividade de MV e MS quando comparado com o tratamento sem aplicação de nitrogênio.

Figura 20 - Produtividade de massa verde (A) e seca (B) da parte aérea da palma forrageira cv Miúda (*Nopalea cochenillifera*) em função de doses de adubação nitrogenada.



Fonte: Autor (2024).

O aumento na produtividade de massa verde e seca da palma forrageira com o uso de adubação nitrogenada também foi verificado por Santos et al. (2024), que obtiveram resposta positiva do nitrogênio sobre a produtividade da parte aérea da palma clone Orelha de Elefante Mexicana, com dose máxima de 286,19 kg N ha⁻¹ e 299,12 kg N ha⁻¹ para massa verde e seca respectivamente. Neto et al. (2020), trabalhando com irrigação e adubação nitrogenada na palma forrageira, também verificaram que o nitrogênio aumentou a produtividade dessa cultura, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho.

Por outro lado, Leite et al. (2018) avaliando doses de nitrogênio sobre as características produtivas da palma forrageira Miúda colhida com 720 dias não verificaram resposta no incremento de produtividade do nitrogênio nessa cultura. A ausência de resposta verificada pelos autores pode estar relacionada ao grande aporte de nutriente do solo no qual o experimento foi realizado

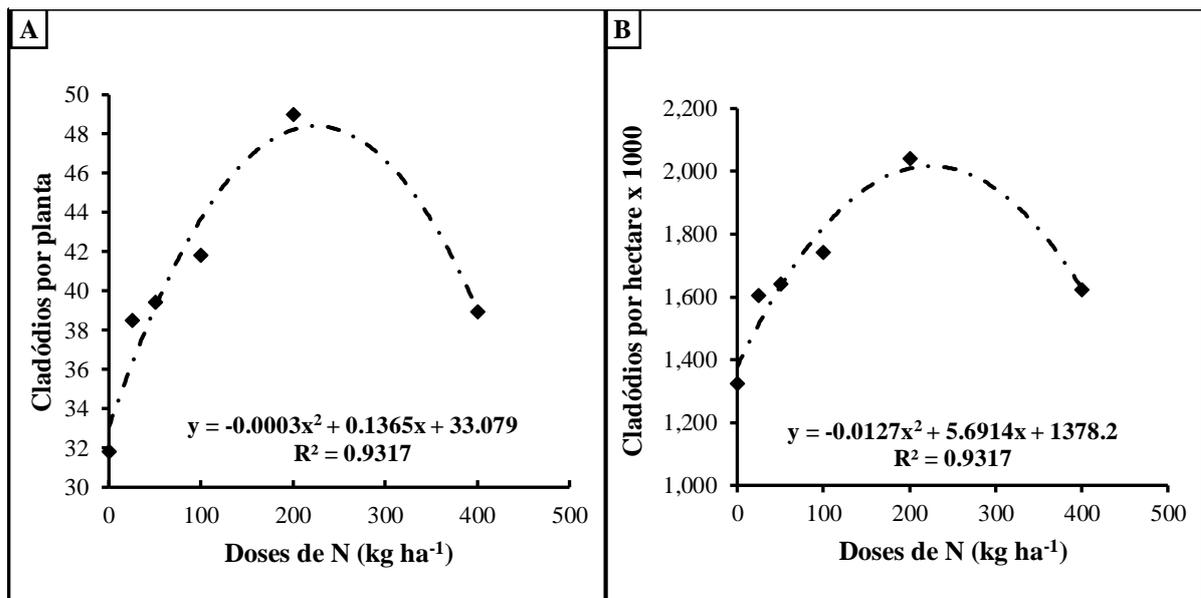
O aumento da produtividade de biomassa verde e seca está relacionado com as funções do nitrogênio nas plantas, dentre elas a participação na formação de enzimas como a ribulose-1,5-bisfosfato-carboxilaseoxigenase que atua na fixação de CO₂ e formação de esqueleto carbônico, aumentando a taxa fotossintética e a incorporação de biomassa seca nas plantas, (MEDEIROS et al., 2020).

3.3 Número de cladódios por planta e por hectare

O número de cladódios por planta (NCP) e número de cladódios por hectare (NCH) apresentaram resposta quadrática significativa ($p < 0,01$) às doses de N (Figura 21), sendo que 93,17% do aumento na produtividade de cladódios da palma Miúda está relacionado as doses de N aplicadas. Para o NCP tem-se o valor máximo estimado de 48,62 cladódios por planta, já para o NCH tem-se 2.035.100,43 cladódios, em ambos os casos associado a dose de 227,67 kg ha⁻¹ de N, o que representa um incremento de 46,99% para NCP e 47,67% para NCH quando comparados ao tratamento sem adubação com nitrogênio (dose 0).

Cunha et al. (2012), também encontraram resposta positiva do nitrogênio sobre o número de cladódios por planta da palma forrageira, com valores que variavam de 27,75 a 36,08 cladódios, para ausência de adubação e para a dose de 300kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

Figura 21 - Efeito das doses de adubação nitrogenada sobre a quantidade de cladódios por planta e por hectare da palma forrageira CV Miúda (*Nopalea cochenillifera*).



Fonte: Autor, 2024.

A resposta positiva da produção de cladódios da palma Miúda à adubação nitrogenada deve-se ao fato do nitrogênio está diretamente relacionado com divisão celular, pois é componente de ácidos nucléicos, com isso estimula a emissão de novos cladódios na palma proporcionando aumento de produtividade (TAIZ et al., 2017).

O aumento do número de cladódios brotados numa planta de palma forrageira tende a aumentar a ocupação do solo por essa planta, garantindo-lhe maior competitividade em relação

ao aproveitamento dos recursos naturais, principalmente radiação solar interceptada devido ao aumento da área fotossinteticamente ativa da planta.

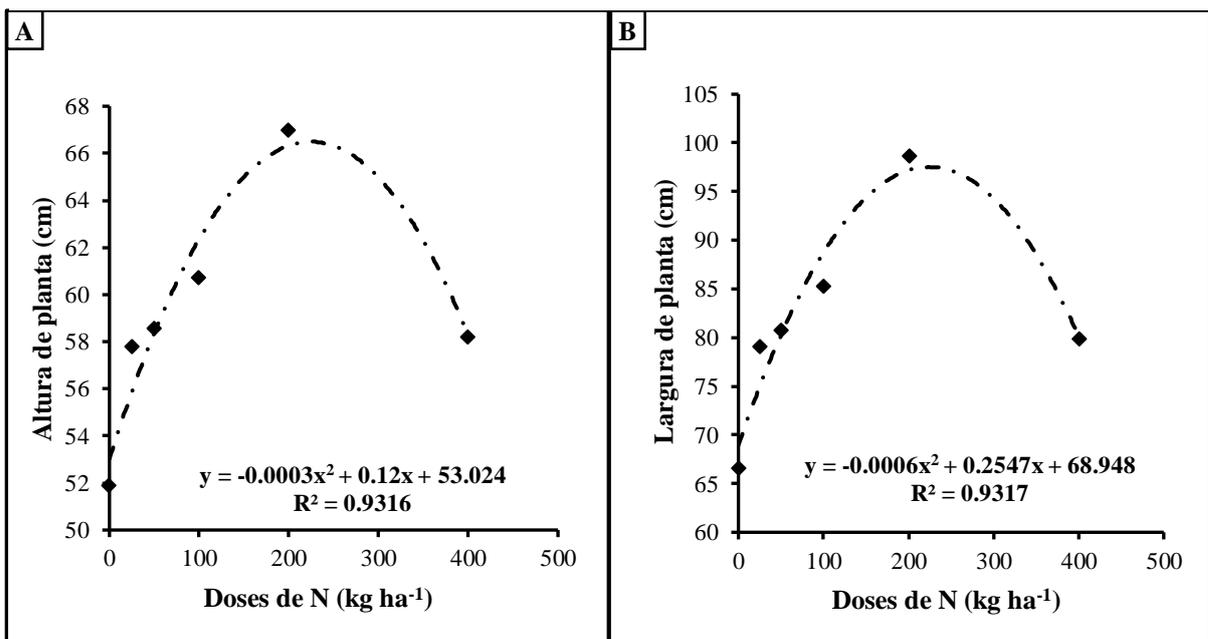
Silva (2017), ao avaliar o crescimento e produtividade de palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada, observou que o nitrogênio favorece positivamente o número de cladódios da palma forrageira cultivar orelha de elefante sendo que, na dose de 600 kg ha⁻¹ obteve-se 14,18 cladódios por planta.

Cunha et al. (2012), ao estudar a morfometria e o acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio também observaram que o nitrogênio favorece a brotação de cladódios de palma cv. Miúda, no qual obteve-se média de 36,08 cladódios por planta com a dose de 300 kg ha⁻¹.

3.4 Altura e largura de planta

O nitrogênio promoveu aumento significativo ($p < 0,01$) na largura (LGP) e altura (ALP) das plantas (Figura 22), com valores máximos estimados de 95,98 e 65 cm nas doses de 212 e 200 kg ha⁻¹ de N respectivamente. Isso se explica pelo fato do nitrogênio ser um nutriente que estimula a divisão celular e induz a emissão de novos cladódios promovendo alterações na morfologia das plantas e, em condições de alto suprimento de N, ocorrem maior crescimento e aumento na área foliar, (MARSCHNER, 2012).

Figura 22 - Efeito das doses de adubação nitrogenada sobre a altura (A) e largura (B) de planta da palma forrageira CV Miúda (*Nopalea cochenillifera*).



Fonte: Autor (2024).

Neto et al. (2020), avaliando o crescimento e produtividade da palma forrageira cv. Orelha de elefante com irrigação e adubação nitrogenada verificaram que o nitrogênio promoveu as maiores médias para altura da planta (63,5 cm) e largura da planta (86,6 cm) diferindo das plantas não adubadas, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho, no qual o nitrogênio influenciou o crescimento da palma.

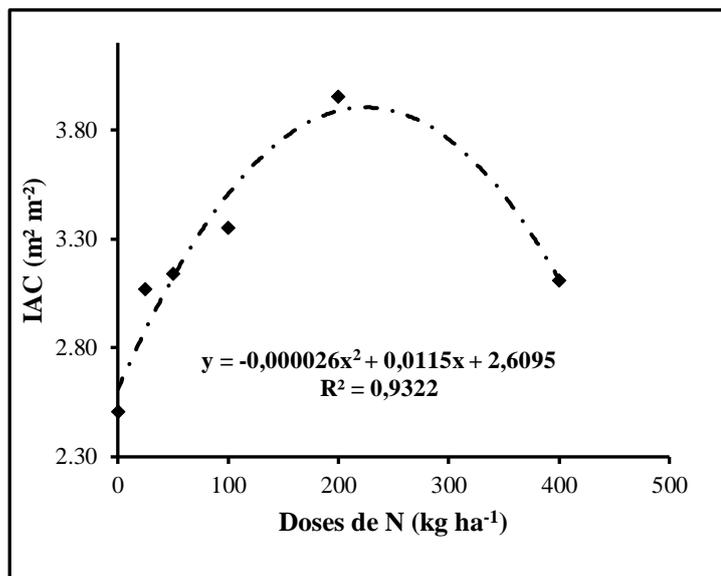
Silva et al. (2016), trabalhando com adubação obtiveram maior altura e largura da palma forrageira no tratamento submetido à adubação mineral, o que está associado à maior disponibilidade de nutrientes para a cultura, especificamente N, quando comparado ao tratamento sem adubação.

3.5 Índice de área de cladódios

O Índice de área de cladódio (IAC) foi influenciado pela adubação nitrogenada ($p < 0,01$), apresentado resposta quadrática positiva (Figura 23), sendo que 93,22 % do incremento no IAC é explicado pelas doses de N. O maior IAC estimado $3,88 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ pode ser obtido com a dose de 221 kg ha^{-1} de N, que representa um incremento 55,20% no IAC quando comparado com a dose 0 kg ha^{-1} de N. A resposta positiva da planta à adição de nitrogênio ocorre pelo fato do IAC está relacionado ao estado nutricional da planta demonstrando a importância da utilização desse nutriente para se obter aumento nas características morfológica da palma forrageira cv Miúda (PADILHA JUNIOR et al., 2016).

O IAC é um fator importante que determina a área fotossintética ativa da planta, pois indica a capacidade que palma forrageira tem em interceptar a luz solar e transformá-la de forma eficiente em fatores de produção (DONATO et al., 2014), o que interfere diretamente no rendimento de biomassa verde e seca planta (SILVA et al., 2015).

Figura 23 - Efeito das doses de adubação nitrogenada sobre o índice de área de cladódios (IAC) da palma forrageira CV Miúda (*Nopalea cochenillifera*).



Fonte: Autor (2024).

Lima et al. 2020, verificaram que IAC da palma forrageira responde a adubação nitrogenada e encontraram maiores valores com a dose de 600 kg ha⁻¹, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho. Por outro lado, Filho (2018) não verificou resposta do IAC da palma Miúda à adubação nitrogenada e encontrou valor máximo de 0,9 m² m⁻² com a colheita aos 380 dias após o plantio (DAP). Vale ressaltar que além do estado nutricional da planta, outros fatores como espaçamento e densidade de plantio podem influenciar no (IAC) da palma forrageira (ROCHA; VOLTOLINI; GAVA, 2017), justificando a ausência de resposta à adubação encontrada por alguns autores.

3.6 Dose econômica de nitrogênio

Utilizando-se da equação da Figura 20 ($y = -0,00023x^2 + 0,1004x + 18,689$) calculou-se a dose mais econômica de nitrogênio para a maior produtividade de massa seca da palma forrageira $x' = (0,1004 - 0,0075) / 2 \cdot (0,00023) = 201,95 \text{ kg ha}^{-1}$,

A receita bruta prevista por hectare, em função da adubação nitrogenada (R\$ 13.079,00) pode ser determinada pelo aumento da produtividade de massa seca = 11,89 t ha⁻¹ (produção de massa seca com a dose mais econômica de N igual a 29,58 t ha⁻¹ menos a produção na dose zero de N igual a 17,69 t ha⁻¹) x R\$ 1.100 (preço por tonelada de massa seca).

Subtraindo-se o custo da adubação nitrogenada por hectare = 8,30 x 201,95 = R\$ 1.676,19 da receita bruta obtém-se uma receita líquida na ordem de R\$ 11.402,81 ha⁻¹. Contudo, vale salientar que esse valor líquido é apenas referente a adubação, para o cálculo do

valor líquido por hectare, deve-se retirar as outras despesas referentes ao cultivo da palma forrageira. Diante disso, a adubação nitrogenada proporciona um aumento superior a 10 mil reais por hectare no faturamento bruto da lavoura.

4. CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada aumenta a produtividade de massa verde e seca da palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) cv Miúda.

A adubação nitrogenada aumenta o IAC e a produção de cladódios da palma forrageira *Nopalea cochenillifera* cv Miúda

A estatura das plantas de palma forrageira *Nopalea cochenillifera* cv Miúda é influenciada pelo nitrogênio.

A dose mais econômica para a maior produtividade de massa seca da palma forrageira foi de 201,95 kg ha⁻¹, o que retorna uma receita líquida de R\$ 11.402,81.

A adubação nitrogenada proporciona aumento superior a 10 mil reais/ha no cultivo da palma forrageira.

5. REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONC, ALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, n. 6, p.711-728, 2014.
- ALVES, C. P.; JÚNIOR, B. C.; DOMINGOS, A. K. P. R.; VIEIRA, S. M. M.; EUGÊNIO, D. S.; LEITE, M. L. M. V. Respostas morfofisiológicas das plantas forrageiras sob manejo de cultivo e pastejo: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, e.10610615405, 2021.
- CAMARGO, F. C.; DIFANTE, G. DOS S.; MONTAGNER, D. B.; EUCLIDES, V. P. B.; TAIRA, C. DE A. Q.; GURGEL, A. L. C.; DE SOUZA, D. L. Morphogenetic and structural traits of Ipyporã grass subjected to nitrogen fertilization rates under intermittent grazing. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.52, n. 5, e20201074, 2022.
- CIRINO JUNIOR, B. C.; LEITE, M. L. M. V.; DA SILVA, F. E.; ALVES, C. P.; DE OLIVEIRA, A. C.; EUGÊNIO, D. S. Crescimento inicial de clones de palma forrageira submetidos a níveis de adubação potássica. **Ciência Animal Brasileira**, v.23, e-70836p 2022.
- CUNHA, D. N. F. V.; GOMES, E. S.; MARTUSCELLO, J. A.; AMORIM, P. L.; SILVA, C. R.; FERREIRA, P. S. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, Salvador. v.13, n.4, p.1156-1165, 2012.
- DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; BONOMO, P.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Morfometria rendimento da palma forrageira Gigante “sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.1, p.151-158, 2014.
- FERRAZ, R. L. S.; NETO, J. D.; COSTA, P. S.; LIMA, A. S.; PATRÍCIA FERREIRA DA SILVA, P. F.; DE MATOS, R. M. Composição mineral da palma forrageira variedade baiana sob níveis de reposição de água no solo. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 05, n.03, p. 319-328, 2020.
- FILHO, Renato Vieira de Carvalho. Sombreamento e adubação nitrogenada influenciando o acúmulo de biomassa em palma forrageira *Nopalea cochenillifera*. 2018. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2018.
- FONSECA, V. A.; RODRIGUES, C. S.; ALVARENGA, R. R.; SANTOS, D. B.; BEBÉ, F. V.; PINA, D. S. Yield of ‘Gigante’ cactus pear cultivated under biofertilizer doses and application intervals. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.25 n.9, p.633-640, 2021.
- LEITE, J. R. A.; JUNQUEIRA SALES, E. C.; MONÇÃO, F. P.; GUIMARÃES, A. S.; RIGUEIRA, J. P S.; GOMES, V. M. *Nopalea* cactus pear fertilized with nitrogen: morphometric, productive and nutritional characteristics. **Acta Scientiarum**. Animal Sciences, v. 40, p-8, 2018.

LIMA, A. S.; SILVA, P. F.; MATOS, R. M.; BONOU, S. I.; NETO, J. D.; Determinação da área de cladódios e fator de correção da palma forrageira sob fertirrigação nitrogenada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v.14, nº.1, p. 3803 – 3815, 2020.

MANIÇOBA, R. M.; SOBRINHO, J. E.; ZONTA, J. H.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA, A. K.; FREITAS, I. A. S. Resposta do algodoeiro à supressão hídrica em diferentes fases fenológicas no semiárido brasileiro. **Irriga**. v.26, n.1, p.123-133, 2021.

MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. P.; MOURTHE, M. H. F.; BRAZ, T. G. S.; NETO, O. S. P. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Cadaderno de Ciências Agrárias**. v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Third Edition. London: **Elsevier**. 651 p. 2012.

MEDEIROS, D. A; MALAQUIAS, J. P; MALTA, A. O.; PEREIRA, W. E.; SILVA, E. S SOUZA, L. T SANTOS, R. F. Meloeiro orgânico: trocas gasosas e teores foliares de NPK em função de fontes e doses de nitrogênio. **Acta Biológica Paranaense**. Curitiba, p. 89-104, 2020.

NATALE W; ROZANE DE; PRADO RM; ROMUALDO LM; SOUZA HAS; HERNANDES A. Dose econômica de calcário na produtividade de caramboleiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, n. 33, p. 1294-1299, 2011.

NETO J. D.; MATOS, R. M DE.; SILVA, P. F.; LIMA, A. S.; C. A. V.; SABOYA, L. M. F. Growth and yield of cactus pear under irrigation frequencies and nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.24, n.10, p.664-671, 2020.

PADILHA JUNIOR, M. C.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. S. Características morfométricas e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes adubações e configurações de plantio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 67-72, 2016.

PINTO, M. S. C. Estimativa do peso da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*, Mill.) a partir de medidas dos cladódios. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39, 2002. Recife-PE. Anais... Recife-PE: SBZ, v. 1, p.54-54, 2002

RAIJ, B. Fertilidade do solo e adubação. Campinas: Ceres. 343p, 1991.

ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**. v. 66, n. 255, p. 365- 373, 2017.

SANTOS, J. P. A. S.; OLIVEIRA, A. C.; MORAIS, J. E. F.; JARDIM, A. M. R.; ALVES, C. P.; SILVA, M. J.; SOUZA, L. F.; SIMÕES, A. M.; QUEIROIS, M. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, T. G. F. Morphophysiological responses, water, and nutritional performance of the forage cactus submitted to different doses of nitrogen. **Field Crops Research**, v. 308, e.109273, 2024.

SILVA, J. A.; BONOMO, P.; DONATO, S. L. R.; PIRES, A. J. V.; ROSA, R. C. C.; DONATO, P. E. R. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.7, p. 866-875, 2012.

SILVA, J. A da.; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. S.; JÚNIOR, M.C. P.; JUNIOR, A. A. S.; Extraction/export of nutrients in *Opuntia ficus-indica* under diferente spacings and chemical fertilizers. *Revista Brasileira*. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n. 3, p. 236–242, 2016.

SILVA, Patrícia Ferreira da. Crescimento e produtividade de palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2017.

SILVA, T. G. F.; MIRANDA, K. R.; SANTOS D. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, M. C.; NETO, J. F. C.; Araújo, J. E. M. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Agrária, Recife**. v.9, n.4, p.633-641, 2014.

SILVA, T. G. F.; PRIMO J. T. A.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**. v. 28, n. 2, p. 10 18, 2015.

SOARES, F. M. F.; ALBUQUERQUE, A, L, S.; SILVA, W. R. T. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO VEGETATIVO DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO ALAGOANO. **Diversitas Journal**. v.6, n.1, p.1777-1785, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.