



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

PAULO HENRIQUE DE ALMEIDA CARTAXO

**OPÇÕES DE MANEJO COM PRODUTOS COM DIFERENTES MECANISMOS DE
AÇÃO E INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA PARA *Diaspis echinocacti* BOUCHÉ EM
Opuntia stricta HAW**

AREIA

2025

PAULO HENRIQUE DE ALMEIDA CARTAXO

**OPÇÕES DE MANEJO COM PRODUTOS COM DIFERENTES MECANISMOS DE
AÇÃO E INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA PARA *Diaspis echinocacti* BOUCHÉ EM
Opuntia stricta HAW**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de Concentração: Agronomia Tropical. Linha de Pesquisa: Biotecnologia, Melhoramento e Proteção de Plantas Cultivadas.

Orientador: Prof. Dr. José Bruno
Malaquias

Coorientador: Prof. Dr. Jacinto de Luna
Batista

AREIA

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C322o Cartaxo, Paulo Henrique de Almeida.

Opções de Manejo com Produtos com Diferentes
Mecanismos de Ação e Indução de Resistência para
Diaspis echinocacti Bouché em *Opuntia stricta* Haw /
Paulo Henrique de Almeida Cartaxo. - Areia, 2025.
61 f.

Orientação: José Bruno Malaquias.

Coorientação: Jacinto de Luna Batista.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Cactaceae. 3. Cochonilha de escama.
4. Silicato de potássio. 5. Inseticidas. I. Malaquias,
José Bruno. II. Batista, Jacinto de Luna. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635 (043.2)

PAULO HENRIQUE DE ALMEIDA CARTAXO

**Opções de Manejo com Produtos com Diferentes Mecanismos de Ação e Indução
de Resistência para *Diaspis echinocacti* Bouché em *Opuntia stricta* Haw**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de Concentração: Agronomia Tropical. Linha de Pesquisa: Biotecnologia, Melhoramento e Proteção de Plantas Cultivadas.

Aprovado em: 29/05/2025

BANCA EXAMIDADORA

Documento assinado digitalmente



JOSE BRUNO MALAQUIAS
Data: 16/06/2025 14:37:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. José Bruno Malaquias (Orientador)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Documento assinado digitalmente



JACINTO DE LUNA BATISTA
Data: 18/06/2025 10:28:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Jacinto de Luna Batista (Coorientador)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Documento assinado digitalmente



ANGELICA DA SILVA SALUSTINO
Data: 16/06/2025 13:56:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Angélica da Silva Salustino (Avaliadora)

Documento assinado digitalmente



JOAO PAULO DE OLIVEIRA SANTOS
Data: 15/06/2025 18:49:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. João Paulo de Oliveira Santos (Avaliador)

Documento assinado digitalmente



ROBERIO DE OLIVEIRA
Data: 16/06/2025 08:56:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Robério de Oliveira (Avaliador)

Documento assinado digitalmente



VALERIA FERNANDES DE OLIVEIRA SOUSA
Data: 16/06/2025 09:45:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Valéria Fernandes de Oliveira Sousa (Avaliadora)

*Aos meus pais, Mailson Cartaxo e Maria José de Almeida
Cartaxo, por todo amor, carinho e ensinamentos.*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades e chegar a esse momento ímpar em minha vida pessoal e profissional.

Aos meus pais Mailson Cartaxo e Maria José de Almeida Cartaxo por serem sempre a minha base e referência. Aos meus irmãos Pedro Arthur Almeida Cartaxo e Mailson Augusto Almeida Cartaxo pelo companheirismo e cumplicidade. As minhas cunhadas Amanda e Katiana agradeço pelas palavras de incentivo de sempre. As minhas sobrinhas Ana Beatriz, Sarah, Ana Julia e Clarissa pelo amor e carinho dessas pequenas.

À toda minha família pela atenção, presteza e ensinamentos transmitidos. Agradeço ainda pelo apoio durante toda essa jornada acadêmica e por compreenderem meus momentos de ausência.

À minha noiva maravilhosa, Joilma Ferreira de Brito, meu alicerce em cada etapa desta jornada da pós-graduação. Nos momentos em que pensei em desistir, foi a sua força que me sustentou. Obrigado por ser meu porto seguro nas horas difíceis, e meu farol, sempre iluminando com leveza e serenidade os caminhos certos a seguir. Sou imensamente grato por tudo o que você fez e continua fazendo por mim. Eu te amo profundamente.

Aos amigos que construí em Boa Vista e Campina Grande, pessoas de imensuráveis qualidades.

À Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, pela oportunidade de conviver em um ambiente único, com uma estrutura e profissionais que me capacitaram para enfrentar o mundo lá fora. Agradeço também a oportunidade de viver em um ambiente complexo, político e heterogêneo no campo das concepções e ideias. Sem dúvidas essa atmosfera forja indivíduos aptos a enfrentar qualquer situação cotidiana e conviver com as mais diferentes pessoas.

Aos Professores Dr. José Bruno Malaquias e Dr. Jacinto de Luna Batista pela confiança, paciência, conselhos e contribuições para esse trabalho, o meu profundo e eterno agradecimento. Obrigado por serem não apenas excelentes profissionais, mas também grandes amigos ao longo dessa jornada.

Ao meu nobre amigo João Paulo de Oliveira Santos, pela parceria constante, generosidade, disposição incansável e nobreza de espírito. Sua presença ao longo desses anos foi fundamental, não apenas pelas contribuições acadêmicas, mas pela amizade sincera, pelo companheirismo nos bons momentos e pela sua essência iluminada, proativa e leal. Sou grato por ter contado com alguém sempre pronto a estender a mão e fazer a diferença.

A Silvio Lisboa, meu amigo de trabalho, de laboratório e de vida. Compartilhamos muitos bons momentos, e durante este processo de pós-graduação, dividimos não apenas o mesmo apartamento, mas também desafios, aprendizados e conquistas. Sua presença foi fundamental nessa trajetória.

A Silvio, Adjair, Khyson, Manoel, Leticia, Luana, Erasmo, Anderson, Lázaro, Clint e a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste experimento, meu sincero agradecimento. De maneira especial, expresso minha gratidão aos colegas que estiveram comigo no trabalho de campo. Além do esforço físico e das exigências da pesquisa, enfrentaram o calor intenso do Cariri paraibano e as dolorosas picadas dos espinhos da palma, mas sempre com bom humor, dedicação e prontidão. Muito obrigado por toda a ajuda e parceria.

Ao Laboratório de Entomologia, em nome do saudoso “Seu Nino”, expresso minha gratidão a todos os professores, servidores e alunos que, ao longo do tempo, contribuíram de forma significativa para a minha formação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e a todos os seus Professores.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Aos membros da banca examinadora de exame de qualificação e de tese pelo aceite do convite e valiosas contribuições essenciais para a finalização desse trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a finalização dessa etapa.

MUITO OBRIGADO!

*“As noites mais escuras produzem
as estrelas mais brilhantes”*

CARTAXO, P. H. A. **Opções de Manejo com Produtos com Diferentes Mecanismos de Ação e Indução de Resistência para *Diaspis echinocacti* Bouché em *Opuntia stricta* HAW.** Areia-Paraíba: Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, 2025, 61 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

RESUMO GERAL

A palma forrageira (*Opuntia stricta* Haw.) tem se consolidado como uma das principais fontes alimentares para rebanhos no semiárido brasileiro, especialmente em períodos de estiagem. Contudo, a intensificação do cultivo tem favorecido o aumento de pragas, como a cochonilha-de-escama (*Diaspis echinocacti* Bouché), que compromete o desenvolvimento da planta e a produtividade. Diante disso, objetivou-se avaliar se inseticidas com diferentes mecanismos de ação e a aplicação de silicato de potássio reduz a infestação da praga e aumenta o desempenho agrônomo da cultura. No primeiro experimento, ninfas móveis de primeiro ínstar foram expostas topicamente a quatro inseticidas (Acetamiprido + Fenpropatrina, Espinetoram, Azadiractina e Teflubenzurom), em cinco concentrações cada, com avaliações de mortalidade aos 0, 24, 48, 72, 96 e 120 horas. A mistura de Acetamiprido + Fenpropatrina foi a mais eficiente, com 98% de mortalidade na maior concentração (4000 ppm), concentração letal mediana CL_{50} de 1530 ppm e tempo letal mediano (TL_{50}) de 48 h. O Espinetoram apresentou 95% de mortalidade e CL_{50} de 1590 ppm, com tempo letal de 24 h. A Azadiractina alcançou 88% de mortalidade apenas na dose de 32000 ppm, com ação mais prolongada. O Teflubenzurom foi o menos eficiente, apresentando tempo letal de 72 h. No segundo experimento, avaliou-se a influência de doses de silicato de potássio e épocas de aplicação sobre a infestação da cochonilha e na produtividade da palma utilizando um modelo supervisionado de machine learning (Árvores de Decisão) aplicadas em quatro épocas diferentes, além de um tratamento controle. A dose de 28 mL L⁻¹ proporcionou os melhores resultados, com aumento significativo na produtividade e na redução da infestação, indicando efeito indutor de resistência. Os resultados demonstram que o uso integrado de estratégias químicas e nutricionais pode ser altamente eficiente no manejo da cochonilha-de-escama e no aumento da produtividade da palma forrageira, contribuindo para sistemas de produção mais sustentáveis no semiárido brasileiro.

Palavras-Chave: Cactaceae; cochonilha de escama; silicato de potássio; inseticidas.

CARTAXO, P. H. A. **Management Options with Products with Different Mechanisms of Action and Resistance Induction for *Diaspis echinocacti* Bouché in *Opuntia stricta* Haw.** Areia-Paraíba: Center of Agricultural Sciences, Federal University of Paraíba, 2025, 61 p. Thesis (Doctorate in Agronomy). Postgraduate Program in Agronomy.

GENERAL ABSTRACT

Forage cactus (*Opuntia stricta* Haw.) has established itself as one of the main food sources for livestock in the Brazilian semiarid region, especially during dry periods. However, the intensification of cultivation has favored the increase of pests, such as the scale insect (*Diaspis echinocacti* Bouché), which compromises plant development and productivity. Therefore, the objective of this study was to evaluate whether insecticides with different mechanisms of action and the application of potassium silicate reduce pest infestation and increase crop agronomic performance. In the first experiment, first-instar mobile nymphs were topically exposed to four insecticides (Acetamiprid + Fenpropathrin, Spinetoram, Azadirachtin and Teflubenzuron), in five concentrations each, with mortality assessments at 0, 24, 48, 72, 96 and 120 hours. The mixture of Acetamiprid + Fenpropathrin was the most efficient, with 98% mortality at the highest concentration (4000 ppm), median lethal concentration CL_{50} of 1530 ppm and median lethal time (LT_{50}) of 48 h. Spinetoram showed 95% mortality and CL_{50} of 1590 ppm, with a lethal time of 24 h. Azadirachtin reached 88% mortality only at the dose of 32000 ppm, with a longer action. Teflubenzuron was the least efficient, with a lethal time of 72 h. In the second experiment, the influence of potassium silicate doses and application times on scale infestation and palm productivity was evaluated using a supervised machine learning model (Decision Trees) applied at four different times, in addition to a control treatment. The 28 mL L⁻¹ dose provided the best results, with a significant increase in productivity and reduction in infestation, indicating a resistance-inducing effect. The results demonstrate that the integrated use of chemical and nutritional strategies can be highly efficient in the management of scale insects and in increasing the productivity of forage cactus, contributing to more sustainable production systems in the Brazilian semiarid region.

Keywords: Cactaceae; scale insect; potassium silicate; insecticides.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Concentração resposta da ação dos ingredientes ativos Acetamiprido + Fenpropatrina (Bold®) em ninfas de primeiro instar de <i>D. echinocacti</i>	33
Figura 2 - Padrão de sobrevivência de <i>D. echinocacti</i> em função de diferentes concentrações do inseticida a base de acetamiprido e fenpropatrina.	34
Figura 3 - Concentração resposta da ação do ingrediente ativo espinetoram em ninfas de primeiro instar de <i>D. echinocacti</i>	35
Figura 4 - Padrão de sobrevivência de <i>D. echinocacti</i> em função de diferentes concentrações do inseticida a base de Espinetoram.	35
Figura 5 - Concentração resposta da ação do ingrediente ativo azadiractina em ninfas de primeiro instar de <i>D. echinocacti</i>	36
Figura 6 - Padrão de sobrevivência de <i>D. echinocacti</i> em função de diferentes concentrações do inseticida a base de Azadiractina.	37
Figura 7 - Concentração resposta da ação do ingrediente ativo teflubenzurom em ninfas de primeiro instar de <i>D. echinocacti</i>	38
Figura 8 - Padrão de sobrevivência de <i>D. echinocacti</i> em função de diferentes concentrações do inseticida a base de Teflubenzurom.	38
Figura 9 - Contrastes para a variável comprimento da raquete de palma como função de diferentes doses do Silicato de Potássio: D05, D09, D18 e D28 e da época de aplicação: API, APII, APIII e APIV e do fator adicional Testemunha.	50
Figura 10 - Contrastes para a Largura da raquete de palma como função de diferentes doses do Silicato de Potássio: D05, D09, D18 e D28 e da época de aplicação: API, APII, APIII e APIV e do fator adicional Testemunha.	51
Figura 11 - Contrastes para Espessura da raquete de palma como função de diferentes doses do Silicato de Potássio: D05, D09, D18 e D28 e da época de aplicação: API, APII, APIII e APIV e do fator adicional Testemunha.	51
Figura 12 - Relação Dose de Silicato de Potássio (mL/L) e Produtividade em Matéria Seca (toneladas por hectare) de palma	52
Figura 13 - Relação Dose de Silicato de Potássio (mL/L) e Infestação da cochonilha de escama nas raquetes de palma.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentrações dos inseticidas utilizados sobre ninfas de 1º instar de cochonilha de escama para avaliação da mortalidade.....	31
Tabela 2 - Concentrações letais (CL_{50} e CL_{90}) dos ingredientes ativos em ninfas de primeiro instar de <i>D. echinocacti</i>	39
Tabela 3 - Concentrações do fertilizante utilizado no experimento.	48
Tabela 4 - Métricas de desempenho do modelo de árvores de decisão para categorização de diferentes números de classes iniciais..	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	12
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
3	CAPÍTULO I - MANEJO QUÍMICO DE <i>Diaspis echinocacti</i> EM <i>Opuntia stricta</i> HAW.....	25
	RESUMO.....	25
	ABSTRACT	26
3.1	INTRODUÇÃO.....	27
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
3.4	CONCLUSÕES	38
	REFERÊNCIAS	38
4	CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DO SILICATO DE POTÁSSIO NA PRODUTIVIDADE DE <i>Opuntia stricta</i> Haw E NA INFESTAÇÃO POR <i>Diaspis echinocacti</i>	41
	RESUMO.....	41
	ABSTRACT	42
4.1	INTRODUÇÃO.....	43
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	44
4.3	RESULTADOS	47
4.4	DISCUSSÃO	50
4.5	CONCLUSÕES	52
	REFERÊNCIAS	53
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59

1 INTRODUÇÃO GERAL

As regiões semiáridas no mundo ocupam aproximadamente 40% da superfície terrestre, abrigando cerca de 2 bilhões de pessoas. No Brasil, essas áreas são marcadas por temperaturas elevadas, precipitação irregular e vegetação xerófila (Cunha et al., 2015). A distribuição espacial e temporalmente heterogênea das chuvas resulta em secas sazonais, tornando a escassez hídrica um dos principais limitantes à produção agropecuária (Rossato et al., 2017). Além disso, a baixa adoção de tecnologias e investimentos insuficientes exacerbam a vulnerabilidade produtiva da região (Martins et al., 2018).

Nesse cenário, a utilização de plantas forrageiras adaptadas as condições edafoclimáticas do semiárido tornou-se uma estratégia viável e economicamente relevante para a pecuária local. Dentre essas, a palma forrageira (*Opuntia* spp.) destaca-se como recurso-chave em regiões tropicais, áridas e semiáridas, especialmente durante períodos de estiagem (Kumar et al., 2022). No Nordeste brasileiro, sua importância é ainda mais pronunciada devido à sua resiliência climática e valor nutricional para alimentação animal (Dubeux et al., 2021).

A palma forrageira apresenta adaptações fisiológicas notáveis, como caules suculentos, folhas modificadas em espinhos, metabolismo CAM e mecanismos que lhes permitem utilizar a água de forma extremamente eficiente (Arba et al., 2017). Além do uso forrageiro, a espécie tem potencial para alimentação humana e produção de bioativos (Dubeux et al., 2021). Dentre as variedades cultivadas, *Opuntia stricta* Haw. (palma orelha-de-elefante mexicana) tem ganhado destaque devido à sua alta produtividade, tolerância à seca e baixa exigência nutricional (Ferreira et al., 2022; Miranda et al., 2023).

Entretanto, assim como outras culturas, a palma forrageira é suscetível a fatores bióticos e abióticos que comprometem sua produtividade (Nhaga et al., 2018). Dentre as pragas, as cochonilhas (Hemiptera: Diaspididae) destacam-se como um dos principais problemas fitossanitários. Esses insetos sugadores danificam a planta ao extrair a seiva, injetar toxinas e facilitar a entrada de patógenos, levando a clorose, secamento e morte dos cladódios em infestações severas (Dantas et al., 2020). A cochonilha-de-escama *Diaspis echinocacti* Bouché, 1833 é particularmente prejudicial devido ao seu ciclo biológico curto, alta taxa reprodutiva e proteção conferida pela carapaça (Lima & Gama, 2001). Sem controle adequado, essa praga pode inviabilizar plantios inteiros (Gonçalves et al., 2020). Atualmente, o controle de *D. echinocacti* baseia-se principalmente no uso de inseticidas químicos (Gonçalves et al., 2020). No entanto, a busca por estratégias sustentáveis tem incentivado o desenvolvimento de manejo

integrado, incluindo o uso de variedades resistentes, inseticidas com modos de ação distintos e indução de resistência via nutrição vegetal (Randami et al., 2021).

Foi nessa perspectiva que o presente estudo contemplou a avaliação do efeito de inseticidas com diferentes mecanismos de ação e da aplicação de silicato de potássio na infestação da praga e no desempenho agrônômico da cultura. As hipóteses dos dois artigos que compõem este trabalho foram estabelecidas com base nos objetivos propostos em cada experimento. No Artigo 1, a hipótese foi que inseticidas com diferentes mecanismos de ação, aplicados em distintas concentrações, apresentam eficácia variada no manejo de *Diaspis echinocacti* em *Opuntia stricta* Haw. Já no Artigo 2, a hipótese considerou que a aplicação de silicato de potássio influencia positivamente a produtividade de *Opuntia stricta* Haw. e contribui para a redução da infestação por *Diaspis echinocacti*.

REFERÊNCIAS

- ARBA, M.; FALISSE, A.; CHOUKR-ALLAH, R.; SINDIC, M. Biology, flowering and fruiting of the cactus *Opuntia* spp.: A review and some observations on three varieties in Morocco. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 60, p. e17160568, 2017.
- CUNHA, A. P. M.; ALVALÁ, R. C.; NOBRE, C. A.; CARVALHO, M. A. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. **Agricultural and forest meteorology**, v. 214, p. 494-505, 2015.
- DANTAS, N. J.; DE OLIVEIRA LIMA, A. K. V.; DE MACEDO, L. P. M.; PEREIRA, F. C. Relato da incidência da cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*) em dois gêneros de cactáceas. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 51136-51146, 2020.
- DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; CUNHA, M. V.; SANTOS, D. C.; SOUZA, R. T. A.; MELLO, A. C. L.; SOUZA, T. C. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 275, p. e114890, 2021.
- FERREIRA, C. C. S.; PAZ, C. D. D.; SOUZA, J. C. D.; PEIXOTO, A. R.; RIOS, L. S.; NASCIMENTO, A. R.; RIBEIRO, J. M.; MELO, N. F.; TEIXEIRA, S. L.; ARAÚJO, J. F. Development of the prickly pear cactus *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.(Cactaceae) in vitro in response to the replacement of potassium nitrate for a commercial kno_3 fertilizer. **Ciência Rural**, v. 52, n. 1, p. e20200122, 2021.

GONÇALVES, G. B.; VASCONCELOS, J. F.; DA GRAÇA, G. A.; DIAS, K. L. L.; ARAÚJO, C. T.; DE JESUS, T. A.; SANTANA, S. F. Óleo de dendê: alternativa para o manejo agroecológico da cochonilha de escamas da palma forrageira *Diaspis echinocacti* (Hemiptera: Diaspididae). **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.

KUMAR, S.; PALSANIYA, D. R.; KUMAR, T. K.; MISRA, A. K.; AHMAD, S.; RAI, A. K. et al. Survival, morphological variability, and performance of *Opuntia ficus-indica* in a semi-arid region of India. **Archives of Agronomy and Soil Science**, p. 1-18, 2022.

LIMA, I. M.M.; GAMA, N. S. Registro de plantas hospedeiras (Cactaceae) e de nova forma de disseminação de *Diaspis echinocacti* (Bouché) (Hemiptera: Diaspididae), Cochonilha-da-Palma-Forrageira, nos Estados de Pernambuco e Alagoas. **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 3, p. 479-481, 2001.

MARTINS, M. A.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A.; ALVALÁ, R. C.; GIAROLLA, A.; GAROFOLO, L. L.; et al. Improving drought management in the Brazilian semiarid through crop forecasting. **Agricultural Systems**, v. 160, p. 21-30, 2018.

MIRANDA, J. R.; FURTADO, D. A.; SILVA, V. C. D.; DANTAS NETO, J.; SOUZA, J. T. A.; ARAÚJO, J. S. Physiology of the forage cactus cultivate *Opuntia stricta* (Haw.) Haw under different irrigation frequencies in the Semiarid. **Revista Ceres**, v. 70, p. 24-31, 2023.

NHAGA, A.; PINTO, C.; SALLES, M. G.; PINTO, O.; SOUSA, F. Controle da cochonilha de escama da palma forrageira com o uso de extrato de nim. **Enciclopédia biosfera**, v. 15, n. 28, p. 332-340, 2018.

RAMDANI, C.; EL FAKHOURI, K.; SBAGHI, M.; BOUHARROUD, R.; BOULAMTAT, R.; AASFAR, A.; et al. Chemical Composition and Insecticidal Potential of Six Essential Oils from Morocco against *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) under Field and Laboratory Conditions. **Insects**, v. 12, n. 11, p. 1007, 2021.

ROSSATO, L.; ALVALÁ, R. C.; MARENGO, J. A.; ZERI, M.; CUNHA, A. P.; PIRES, L.; et al. Impact of soil moisture on crop yields over Brazilian semiarid. **Frontiers in Environmental Science**, v. 5, p. e73, 2017.

VANEGAS-RICO, J. M.; LOMELI-FLORES, J. R.; RODRÍGUEZ-LEYVA, E.; VALDEZ-CARRASCO, J. M.; LUNA-CRUZ, A. Primer registro de *Laetilia coccidivora* (Lepidoptera:

Pyalidae) como depredador de *Diaspis echinocacti* (Hemiptera: Diaspididae) en Tlalnepantla, Morelos. **Dugesiana**, v. 25, n. 2, p. 125-127, 2018.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A família Cactaceae engloba cerca de 1.600 espécies, sendo as do gênero *Opuntia* (subfamília Opuntioideae) as mais relevantes para alimentação animal devido à alta palatabilidade, tolerância à salinidade, teor de energia digestível e mucilagem (Gusha et al., 2015; Ventura-Aguilar et al., 2017). No Brasil, as espécies cultivadas pertencem principalmente aos gêneros *Opuntia* spp. e *Nopalea* spp. (Alves et al., 2020). A palma forrageira, planta de origem mexicana e atualmente dispersa por quase todos os continentes, foi utilizada nos primórdios como planta ornamental, até o conhecimento do seu alto potencial forrageiro, consequentemente sendo fonte de alimento de muitos animais, no entanto, a palma também é utilizada na culinária humana, no agronegócio e na produção de corantes e cosméticos (Almeida et al., 2019).

A palma forrageira, planta de origem mexicana e atualmente dispersa por quase todos os continentes, foi utilizada nos primórdios como planta ornamental, até o conhecimento do seu alto potencial forrageiro, consequentemente sendo fonte de alimento de muitos animais, no entanto, a palma também é utilizada na culinária humana, no agronegócio e na produção de corantes e cosméticos (Almeida et al., 2019).

A composição química dessas plantas varia de acordo com a espécie, condições ambientais e período do ano. No entanto, são características importantes seu elevado teor de umidade, digestibilidade e vitamina A (Paiva et al., 2019), bem como são uma importante fonte de compostos bioativos, como betalainas, polifenóis, carotenóides, vitamina C e minerais (Alves et al., 2016), sendo também utilizado no tratamento de diversas doenças.

Nas regiões áridas e semiáridas, caracterizadas por longos períodos de estiagem, e pouca água disponível, diferentemente de outras forrageiras comuns, a palma forrageira consegue crescer e se desenvolver com qualidade (Snyman, 2013), tornando-se assim uma ótima alternativa para a alimentação de ruminantes, especialmente bovinos e caprinos. A adaptação de suas características morfológicas tornou a palma forrageira extremamente tolerante às condições extremas de falta de água no solo bem como secas prolongadas (Almeida et al., 2019).

Além da capacidade de resistir às secas, a palma forrageira também é capaz de tolerar altas temperaturas e erosão eólica e hídrica (Grünwaldt et al., 2015), características muito comuns das regiões áridas e semiáridas no mundo. Mesmo sendo cultivada em ambientes tão hostis, a palma forrageira consegue persistir e ter alto rendimento de biomassa, sendo uma planta extremamente palatável e digestiva para os animais (Abay, 2018).

O aproveitamento da radiação solar no processo fotossintético pelos cladódios é fator determinante para a alta produção de biomassa da planta (Lucena et al., 2020). Além da disponibilidade de energia, carboidratos não fibrosos e nutrientes (Edvan et al., 2020), a palma também fornece uma fonte substancial de água devido ao seu elevado teor de umidade (cerca de 900 g/kg) (Rezende et al., 2020).

A palma forrageira também é caracterizada por possuir um processo fotossintético chamado metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), que permite uma economia hídrica enorme, fechando os estômatos durante o dia (temperatura altas e incidência da radiação) e abrindo-os durante a noite para fixação do dióxido de carbono (Pereira et al., 2021). Apenas 6% de toda a vegetação mundial realiza esse tipo de metabolismo. Outra característica importante nas plantas CAM é a presença de cutícula cerosa nos seus cladódios e baixa densidade estomática, conferindo-lhes transpiração mínima (Silva et al., 2017). Esse mecanismo fotossintético diferenciado foi decisivo para a adaptação desse cacto às condições climáticas hostis de regiões áridas e semiáridas.

A propagação tradicional da palma ocorre através do corte e plantio dos cladódios (Calaes et al., 2017). Os cladódios (raquetes) são enterrados no solo em diferentes profundidades, podendo ser em fileiras simples ou duplas, no entanto, há também a forma de plantio não enterrada, mantido sobre a superfície do solo, isso é possível em função da capacidade de enraizamento por meio das aréolas da palma (Macedo et al., 2018).

Visto a importância e o potencial da cultura para o agronegócio, o consumo do fruto já vem sendo difundido em diversas áreas do mundo, tanto no mercado interno, como também para vias de exportação (Beccaro et al., 2015). No entanto, como toda cultura, a palma forrageira está também sujeita às limitações bióticas que vão desde infecção de patógenos ao ataque insetos pragas, sendo as cochonilhas (*D. echinocacti* e *Dactylopius opuntiae*) os principais responsáveis pelos impactos negativos na cultura (El-Aalaoui; Sbaghi, 2021).

A cochonilha de escama, *D. echinocacti*, é considerada uma das principais pragas da cultura da palma forrageira, uma espécie cosmopolita encontrada em todo o mundo (Japoshvili et al., 2010), presente em todas as lavouras de cactos, preferencialmente em cultivares do gênero *Nopalea* spp. (Lobos et al., 2013).

São características da sua família a presença da carapaça protetora, reprodução por partenogênese telítica e a anfigonia, e alto potencial de infestação no cultivo de palma forrageira (Lima; Gama, 2001). A principal disseminação desta praga é via anemocoria (Ferreira et al., 2020), no entanto, o transporte de material propagativo infectado para outras

regiões saudáveis, como também o tráfego de pessoas e animais acentuaram ainda mais a disseminação dessa praga em muitos países. Em função dessa alta dispersão, a cochonilha-de-escama *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera, Diaspididae), também se tornou conhecida por outras nomenclaturas como escama, piolho ou mofo-da-palma (Sena, 2021).

O ataque da cochonilha de escama acontece na superfície dos cladódios da palma forrageira, formando um aglomerado pulverulento de indivíduos em estágios de desenvolvimento distintos do inseto, sendo facilmente reconhecida apenas por inspeção visual (Oliveira et al., 2021). O sintoma observado primeiramente na palma forrageira é a clorose dos tecidos, ou seja, o amarelecimento gradual dos cladódios devido à sucção de seiva do inseto, que além de retirar nutrientes das plantas injeta simultaneamente toxinas. Segundo (Rogel Zambrano, 2020), a cochonilha de escama afetou aproximadamente 50 a 80% das plantas do gênero *Opuntia*, tendo também sua maior infestação em plantas com espinhos.

Além dos danos diretos, a cochonilha de escama também gera uma série de danos indiretos e que influenciam negativamente nas plantas, como é o caso da diminuição drástica da área fotossintética da planta, podendo causar a sua morte (Sena, 2021). Por isso, o uso de estratégias de manejo e controle dessa praga é de extrema necessidade, visando solucionar ou minimizar os danos do inseto no cultivo da palma forrageira.

Embora seja amplamente reconhecido que o controle químico é a alternativa de manejo mais comum para a maioria dos insetos-praga, no caso de *D. echinocacti*, os produtos registrados ainda são escassos, restringindo-se a apenas um único produto comercial autorizado (Methomex 215 SL) (Artemaisdigital/Agrofit, 2024). Essa limitação evidencia a necessidade de mais pesquisas voltadas à identificação de novas moléculas e mecanismos de ação.

Ademais, com o aumento das restrições ao uso de agrotóxicos e o crescimento da mentalidade sustentável e ambiental, existe cada vez mais o incentivo da utilização de métodos alternativos e que gerem menos resíduos ao meio ambiente. Dentre tantas estratégias, a indução de resistência em plantas para minimizar o ataque de insetos se tornou uma ferramenta valiosa para o controle de pragas (Matos et al., 2021). Na agricultura moderna, são inúmeras as pesquisas que comprovam a eficiência do induzimento da resistência em diversas plantas agrícolas (Bloem et al., 2015; Han et al., 2015; Cabot et al., 2019). Esses indutores, também chamados de fortificantes, têm a capacidade de proteger contra o ataque de pragas e patógenos que impactam negativamente as culturas (Silva et al., 2021).

Essa resistência incrementada em características físicas e mecânicas da planta como espessura da parede celular e lignificação dos tecidos, como também em características

fisiológicas como metabólitos secundários, toxinas, etc (War et al, 2012). Os indutores utilizados variam desde o uso de fitormônios como ácido jasmônico (JA), etileno (ET) e ácido salicílico (SA) (Mishra et al., 2012), ao uso de adubação com nutrientes específicos, como o silício (Hernandez-Apaolaza, 2014).

O bom estado nutricional da planta refletirá numa maior dificuldade dos insetos em atacá-la, isso se dá em função do desenvolvimento de fatores químicos, bioquímicos físicos e mecânicos que atuarão diretamente na proteção e tolerância das plantas à infestação, sendo essas características influenciadas pelos nutrientes minerais (Cabot et al., 2019).

Diversos macro e micronutrientes são reportados como responsáveis por interações com doenças de plantas. De modo que, o suprimento eficiente de nutrientes é uma das principais estratégias para o combate das infecções de patógenos. Assim, o uso de uma nutrição mineral adequada para o fortalecimento da resistência de plantas a doenças e pragas é uma importante premissa do controle desses agentes nocivos (Bloem et al., 2015). A indução de resistência apresenta um grande potencial para os programas de defesa vegetal. Os indutores abióticos, como o silício (Si) (Hernandez-Apaolaza, 2014), desencadeiam uma cascata de vias que favorecem a produção de uma série de compostos químicos de defesa que impedem o ataque de pragas (Tripathy; Rath, 2019).

Ressalta-se que o silício é um elemento de grande abundância na crosta terrestre, correspondendo ao segundo elemento mais abundante e com uma presença abundante no solo (Hernandez-Apaolaza, 2014). E embora esse nutriente não seja considerado um elemento essencial para a maioria das plantas, seus efeitos benéficos são conhecidos em diversas etapas do crescimento e desenvolvimento vegetal, assim como, para indução de resistência ao estresse e defesa das plantas. O padrão de deposição desse elemento se dá principalmente como fitólitos opalinos, estando estes associados a eventos como o aumento da rigidez e abrasividade dos tecidos vegetais, o que leva a redução da digestibilidade dessas estruturas (YE et al., 2013), de modo que, a adição de Silício leva a dificuldade de consumo desses tecidos por insetos herbívoros, retardando ainda, o desempenho desses insetos (Han et al., 2015).

Diversas fontes de silício (Si) têm sido utilizadas para fornecer esse elemento às plantas e testar sua eficácia no aumento da resistência da planta hospedeira a insetos. Entre elas, o silicato de potássio (K_2SiO_3) tem sido uma fonte frequentemente escolhida em estudos experimentais que avaliam a interação entre a fertilização com Si e uma variedade de insetos herbívoros (Reynolds, Keeping & Meyer, 2009). O silicato de potássio é um composto natural,

considerado o sal de potássio do ácido silícico, sendo prontamente absorvido pelas plantas (Torabi et al., 2022).

REFERÊNCIAS

ABAY, N. G. Cactus (*Opuntia ficus-indica*): Current utilization and future threats as cattle forage in Raya Azebo, Ethiopia. **Environmental Management and Sustainable Development**, v. 7, n. 3, p. 1-13, 2018.

ALMEIDA, H. A.; SOARES, E. R. A.; NETO, J. A. S.; PINTO, I. O. Social and productive indicators of forage palm and the survival of livestock activity in the semi-arid Region of northeastern Brazil. **Asian Journal of Advances in Agricultural Research**, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2019.

ALVES, F. A. L.; DE ANDRADE, A. P.; BRUNO, R. D. L. A.; DE VASCONCELOS SILVA, M. G.; DE SOUZA, M. D. F. V.; PESSOA, C.; et al. Genetic diversity and seasonal chemical profile by ¹H NMR and cytotoxic activity in *Opuntia* and *Nopalea* genres. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 10, n. 40, p. 732-747, 2016.

ALVES, F. A. L.; DE ANDRADE, A. P.; BRUNO, R. D. L. A.; DOS SANTOS, D. C. Study of the variability, correlation and importance of chemical and nutritional characteristics in cactus pear (*Opuntia* and *Nopalea*). **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 31, p. 2882-2892, 2016.

ALVES, F. A. L.; DOS SANTOS, D. C.; SIQUEIRA, S. M.; OLIVEIRA, M. A. B. Photosynthesis and gas exchanges of forage cactus varieties (*Opuntia* and *Nopalea*) grown screen and irrigation. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 25, n. 1, 2020.

ARTEMAISDIGITAL. Disponível em:
<https://www.atermaisdigital.cnptia.embrapa.br/web/controle-de-pragas/w/methomex-215-sl-adama-brasil-s.a.-7895-3>. Acesso em: 11/12/2024.

BECCARO, G. L.; BONVEGNA, L.; DONNO, D.; MELLANO, M. G.; CERUTTI, A. K.; NIEDDU, G.; et al. *Opuntia* spp. biodiversity conservation and utilization on the Cape Verde Islands. **Genetic resources and crop evolution**, v. 62, n. 1, p. 21-33, 2015.

BLOEM, ELKE; HANEKLAUS, SILVIA; SCHNUG, EWALD. Milestones in plant sulfur research on sulfur-induced-resistance (SIR) in Europe. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 779, 2015.

CABOT, C.; MARTOS, S.; LLUGANY, M.; GALLEGÓ, B.; TOLRÀ, R.; POSCHENRIEDER, C. A role for zinc in plant defense against pathogens and herbivores. **Frontiers in Plant Science**, p. 1171, 2019.

CALAES, J. G.; LONDE, L. C. N.; ROCHA, S. S.; MARANHÃO, C. M. A.; TEIXEIRA, B. A.; JUNIOR, M. M.; NIETSCH, S. In vitro cultivation of forage palm cv. giant with different concentrations of 1-naphthaleneacetic acid under artificial and natural light. **Journal of advances in biology & biotechnology**, v. 13, p. 1-7, 2017.

EDVAN, R. L.; MOTA, R. R. M.; DIAS-SILVA, T. P.; DO NASCIMENTO, R. R.; DE SOUSA, S. V.; DA SILVA, A. L.; et al. Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2020.

EL-AALAOUI, M.; SBAGHI, M. Life history of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) on Moroccan resistant cactus germplasm. **bioRxiv**, 2021.

FERREIRA, T. C.; SOUZA, J. T. A.; DA SILVA, F. S. R.; PEREZ-MARIN, A. M. Insetos-pragas em mudas de *Hylocereus* spp.(Cactaceae) na Paraíba. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 16, n. 3, 2020.

GRÜNWALDT, J. M.; GUEVARA, J. C.; GRÜNWALDT, E. G. Review of scientific and technical bibliography on the use of *Opuntia* spp. as forage and its animal validation. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 17, p. 13-32, 2015.

GUSHA, J.; HALIMANI, T. E.; KATSANDE, S.; ZVINOROVA, P. I. The effect of *Opuntia ficus indica* and forage legumes based diets on goat productivity in smallholder sector in Zimbabwe. **Small Ruminant Research**, v. 125, p. 21-25, 2015.

HAN, Y.; LEI, W.; WEN, L.; HOU, M.. Silicon-mediated resistance in a susceptible rice variety to the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). **PloS one**, v. 10, n. 4, p. e0120557, 2015.

HERNANDEZ-APAOLAZA, L. Can silicon partially alleviate micronutrient deficiency in plants? A review. **Planta**, v. 240, n. 3, p. 447-458, 2014.

JAPOSHVILI, G. O.; STATHAS, G. J.; KAMPOURIS, S. G. Natural enemies of *Diaspis echinocacti* in Greece and first records of *Aphytis debachi* and *Plagiomerus diaspidis*. **Phytoparasitica**, v. 38, n. 2, p. 121-123, 2010.

LIMA, I. M.M.; GAMA, N. S. Registro de plantas hospedeiras (Cactaceae) e de nova forma de disseminação de *Diaspis echinocacti* (Bouché)(Hemiptera: Diaspididae), Cochonilha-da-Palma-Forageira, nos Estados de Pernambuco e Alagoas. **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 3, p. 479-481, 2001.

LOBOS, E.; PASSOS DE SILVA, D. M.; MENA-COVARRUBIAS, J.; LAGARZO, G.; VARONE, L. Principales insectos plaga de las Opuntias en Argentina, México y Brasil. **CactusNet Newsletter**, v. 13, p. 137-158, 2013.

LUCENA, L. R. R. D.; LEITE, M. L. D. M. V.; SIMÕES, V. J. L. P.; NÓBREGA, C.; ALMEIDA, M. C. R.; SIMPLÍCIO, J. B. Estimating the area and weight of cactus forage cladodes using linear dimensions. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, 2020.

MACEDO, M. R.; GOMES, G. M. F.; SILVA, C. R.; GOMES, F. M. S.; SOUSA NETO, A. D.; RODRIGUES, M. V. B. Sprout evaluation of forage palm cladodes under different planting and harvest managements. **Anais...In: 55a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 28º Congresso Brasileiro de Zootecnia, Goiânia, Brasil, 27 a 30 de agosto de 2018. Sociedade Brasileira de Zootecnia-SBZ, Associação Brasileira dos Zootecnistas, 2018.**

MATOS, T. K. B.; GUEDES, J. A.; ALVES, E. G.; LUZ, L. R.; LOPES, G. S.; NASCIMENTO, R. F. D.; SOUSA, J. A.; CANUTO, K. M.; BRITO, E. S.; DIAS-PINI, N. S.; ZOCCOLO, G. J. Integrated UPLC-HRMS, chemometric tools, and metabolomic analysis of forage palm (*Opuntia* spp. and *Nopalea* spp.) to define biomarkers associated with nonsusceptibility to carmine cochineal (*Dactylopius opuntiae*). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 32, p. 1617-1627, 2021.

MISHRA, A. K.; SHARMA, K.; MISRA, R. S. Elicitor recognition, signal transduction and induced resistance in plants. **Journal of plant interactions**, v. 7, n. 2, p. 95-120, 2012.

OLIVEIRA, J. B.; ARAÚJO, A. M. D. S.; TEIXEIRA, L. R.; SILVA, E. C.; SANTANA, L. E.; RODRIGUES, T. C.; CHAGAS, M. C. Uma proposta de sistema embarcado para contagem automatizada de cochonilhas de escama em laboratório. **Anais... In: Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente-SBAI. 2021.**

PAIVA, P. M. G.; DE SOUZA, I. F. A. C.; COSTA, M. C. V. V.; SANTOS, A. D. F. S.; NAPOLEÃO, T. H.; COELHO, L. C. B. B. Biology, Chemical Composition, Cultivation and Applications of Cacti from the *Opuntia* Genus. **Advances in Applied Science and Technology** Vol. 5, p. 94-111, 2019.

PEREIRA, M. O.; RAMOS, J. G.; TOMAZ, B. A.; CABRAL, J. H. A.; PEREIRA, M. C. A.; AZEVEDO, C. A. V.; et al. Growth of forage palm cultivars irrigated with saline waters. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3Supl1, p. 1421-1434, 2021.

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of applied biology**, v. 155, n. 2, p. 171-186, 2009.

REZENDE, F. M.; VÉRAS, A. S. C.; SIQUEIRA, M. C. B.; CONCEIÇÃO, M. G.; LIMA, C. L.; ALMEIDA, M. P.; et al. Nutritional effects of using cactus cladodes (*Opuntia stricta* Haw Haw) to replace sorghum silage in sheep diet. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, n. 4, p. 1875-1880, 2020.

SENA, W. L. **Avaliação preliminar do extrato de Coité no controle da cochonilha-de-escama em palma-forrageira**. 2021. 38 f. (Trabalho de Conclusão de Curso – Licenciatura em Ciências Biológicas), Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, Brasil, 2021.

SILVA, R. M.; LIMA, E. J.; BARBOSA, M. A. P.; SANTOS, W. L.; SILVA, E. F. T.; BADJI, C. A.; et al. Phenylalanine ammonia lyase (PAL) activity in genotypes of *Opuntia* spp. against artificial infestation of *Dactylopius opuntiae* submitted to biotic and abiotic resistance inducers. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e41610515106-e41610515106, 2021.

SILVA, T. G.; DE ARAÚJO, G. G.; DE MOURA, M. S.; SB, L. Agrometeorological research on forage cactus and its advances in Brazil. **Amazonian Journal of Plant Research**, v. 1, n. 2, p. 45-68, 2017.

SNYMAN, H. A. Growth rate and water-use efficiency of cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. **Arid Land Research and Management**, v. 27, n. 4, p. 337-348, 2013.

TORABI, E.; TAVAKOLI, E.; TORSHIZ, A. O.; TAHERIAN, M. Investigating the Efficacy of Potassium Silicate and Potassium Sulfate against the Pistachio Psyllid (*Agonoscaena pistaciae*) under Field Conditions. **Chemistry Proceedings**, v. 10, n. 1, p. 40, 2022.

TRIPATHY, S.; RATH, L. K. Non-preference mechanism of induced resistance in rice to white backed plant hopper through application of zinc. **J. Entomol. Zool. Stud**, v. 7, p. 1240-1243, 2019.

VENTURA-AGUILAR, R. I.; BOSQUEZ-MOLINA, E.; BAUTISTA-BAÑOS, S.; RIVERA-CABRERA, F. Cactus stem (*Opuntia ficus-indica* Mill): Anatomy, physiology and chemical composition with emphasis on its biofunctional properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 15, p. 5065-5073, 2017.

WAR, A. R.; PAULRAJ, M. G.; AHMAD, T.; BUHROO, A. A.; HUSSAIN, B.; IGNACIMUTHU, S.; SHARMA, H. C. Mechanisms of plant defense against insect herbivores. **Plant signaling & behavior**, v. 7, n. 10, p. 1306-1320, 2012.

YE, M.; SONG, Y.; LONG, J.; WANG, R.; BAERSON, S. R.; PAN, Z.; et al. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 38, p. E3631-E3639, 2013.

ZAMBRANO, J. G. R. **Ciclo biológico de *Diaspis echinocacti* (Bouché)(Hemiptera: Diaspididae) en Tuna *Opuntia ficus-indica* (L) Miller bajo condiciones de laboratorio.** 2020. 69 f. Tesis de maestría (Posgrado Maestría en Entomología). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Peru. 2020.

CAPÍTULO I

OPÇÕES DE MANEJO DE *Diaspis echinocacti* COM INSETICIDAS COM DIFERENTES MECANISMOS DE AÇÃO

RESUMO

A palma é a principal fonte de alimento para os rebanhos no semiárido brasileiro. Contudo, a expansão das áreas cultivadas tem favorecido o aumento de pragas, especialmente a cochonilha-de-escama, que causa sérios danos às plantas e exige medidas de controle eficazes. Portanto, o objetivo deste trabalho foi testar a eficiência de inseticidas com diferentes mecanismos de ação para controle da cochonilha de escama (*Diaspis echinocacti*) em palma forrageira. No bioensaio, ninfas móveis de primeiro ínstar da cochonilha-de-escama foram expostas topicamente a quatro inseticidas, em cinco concentrações cada, além de testemunhas, utilizando pincel de 1,5 mm. A mortalidade foi avaliada aos 0, 24, 48, 72, 96 e 120 horas após a aplicação, determinando-se a CL₅₀, CL₉₀ e o tempo de ação dos produtos. A mistura de Acetamiprido + Fenpropatrina (Bold®) foi a mais eficaz, com 98% de mortalidade a 4000 PPM, CL₅₀ de 1530 PPM e tempo letal mediano de 48h. O Espinetoram (Exalt®) apresentou 95% de mortalidade, CL₅₀ de 1590 PPM e matou 50% das ninfas em 24h. A Azadiractina (Fitoneem®) obteve 88% de mortalidade apenas na dose de 32000 PPM, com CL₅₀ de 6300 PPM e tempo letal de 48h. O Teflubenzurom (Nomolt®) com 95% de mortalidade a 4000 PPM e tempo letal mediano, de 72h. Portanto, como opção de manejo químico curativo, o inseticida à base de acetamiprido e fenpropatrina em sua maior dose é o mais indicado devido à alta eficácia. Para cultivos orgânicos, o uso do inseticida natural à base de azadiractina também em sua maior dose representa uma alternativa promissora no controle da praga.

Palavras-Chave: Cactaceae; *Opuntia sp.*; controle químico; fagodeterrente; neurotóxico; regulador de crescimento.

ABSTRACT

The palm is the main source of food for livestock in the Brazilian semiarid region. However, the expansion of cultivated areas has favored the increase of pests, especially the scale insect, which causes serious damage to plants and requires effective control measures. Therefore, the objective of this study was to test the efficiency of insecticides with different mechanisms of action to control the scale insect (*Diaspis echinocacti*) in forage palm. In the bioassay, first-instar mobile nymphs of the scale insect were topically exposed to four insecticides, at five concentrations each, in addition to controls, using a 1.5 mm brush. Mortality was evaluated at 0, 24, 48, 72, 96 and 120 hours after application, determining the LC_{50} , LC_{90} and the time of action of the products. The mixture of Acetamiprid + Fenpropathrin (Bold®) was the most effective, with 98% mortality at 4000 PPM, CL_{50} of 1530 PPM and median lethal time of 48h. Spinetoram (Exalt®) showed 95% mortality, CL_{50} of 1590 PPM and killed 50% of the nymphs in 24h. Azadirachtin (Fitoneem®) obtained 88% mortality only at the dose of 32000 PPM, with CL_{50} of 6300 PPM and lethal time of 48h. Teflubenzuron (Nomolt®) with 95% mortality at 4000 PPM and median lethal time of 72h. Therefore, as a curative chemical management option, the insecticide based on acetamiprid and fenpropathrin in its highest dose is the most indicated due to its high efficacy. For organic crops, the use of the natural insecticide based on azadirachtin also in its highest dose represents a promising alternative in pest control.

Keywords: Cactaceae; *Opuntia sp.*; chemical control; deterrent; neurotoxic; growth regulator.

3. 1 INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas do Brasil estão concentradas no Nordeste e caracteriza-se por altas temperaturas, chuvas erráticas e vegetação xerófila (Marengo *et al.*, 2020). Estas regiões enfrentam tensões abióticas, como o déficit hídrico, a salinidade e as temperaturas extremas que dificultam o cultivo de diversas espécies (Sousa *et al.*, 2019; Lira *et al.*, 2021). Além disso, os baixos investimentos e baixa tecnologia empregada nessa área atenuam ainda mais a vulnerabilidade produtiva da região (Martins *et al.*, 2018).

Nesse contexto, o cultivo de palma forrageira (*Opuntia stricta* Haw) emerge como um componente importante da agricultura nas áreas semiáridas devido à sua resistência à seca (El Aalaoui; Sbaghi, 2023). A palma é principalmente utilizada com alimento para ração animal durante a seca para os pequenos agricultores. Além disso, os seus produtos industriais e medicinais são altamente exigidos no mercado (Ramdani *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2022).

É importante ressaltar que cultivo de palma forrageira é acometido por insetos-praga que afetam seu desenvolvimento e produção, a exemplo de formigas, lagartas e gafanhotos. No entanto, a cochonilha de escama *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera; Diaspididae) é o principal problema da cultura causando os maiores prejuízos a essas plantas nas principais regiões produtoras do Brasil (Albuquerque Junior *et al.*, 2023).

A cochonilha de escama infesta todas as partes da planta hospedeira, reduzindo o vigor da planta e o honeydew secretado promove o crescimento de patógenos que interferem na fotossíntese e podem levar à morte da planta (El Aalaoui; Sbaghi, 2023a). Além disso, possui elevada taxa reprodutiva (150 indivíduos por fêmea) e a propensão para se espalhar rapidamente através de suportes naturais (vento, água, etc) tornando assim o estabelecimento e a propagação da cochonilha muito mais fácil do que muitas outras espécies (El Aalaoui; Sbaghi, 2023b).

O controle da cochonilha de escama tem sido realizado principalmente com a utilização de inseticidas químicos, o único inseticida registrado para cochonilha de escama em palma forrageira é o Methomex 215 SL, que é um inseticida neurotóxico do grupo dos carbamato de oxima cujo modo de ação consiste em contato e ingestão atuando na inibição da acetilcolinesterase (Gonçalves *et al.*, 2020; Artemaisdigital/Agrofit, 2024). Em virtude da pouca disponibilidade de opções para controle da praga na cultura da palma os produtores geralmente utilizam outros inseticidas de outros mecanismos de ação sem eficiência comprovada para a cultura e para o inseto. Portanto, torna-se necessário o desenvolvimento de estudos que visem avaliar os efeitos de demais inseticidas para controle de cochonilha de escama em palma forrageira.

Embora trabalhos que investiguem a eficiência de inseticidas no controle de insetos sejam frequentes na pesquisa agrícola, há uma escassez de estudos recentes que avaliem a eficácia de inseticidas com diferentes mecanismos de ação no controle da cochonilha de escama (*D. echinocacti*) na palma forrageira. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo testar a eficácia de inseticidas com diferentes mecanismos de ação para controle dessa espécie de cochonilha em palma forrageira.

3. 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Laboratório de Entomologia (LEN) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em Areia, Paraíba, Brasil. O ambiente da sala foi mantido a uma temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, com umidade relativa do ar de $70 \pm 10\%$ e foto fase de 12 horas. As ninfas de cochonilha-de-escama (*Diaspis echinocacti*) utilizadas no experimento foram provenientes da criação mantida em raquetes de palma forrageira no Laboratório de Entomologia da UFPB, CCA, Areia – PB.

Os insetos foram mantidos em gaiolas e casa de vegetação sob hospedeiro natural. Quinzenalmente raquetes sadias e intestadas por *D. echinocacti* eram retiradas do campo e levadas ao laboratório para manutenção da criação. As raquetes foram substituídas regularmente quando começavam a apresentar intensa desidratação, cloroses e necroses. Nesses casos, ninfas móveis de primeiro instar eram retiradas das raquetes danificadas e reinfestadas em raquetes saudáveis de palma forrageira (*Opuntia stricta* Haw) para a manutenção da criação.

Para os testes de mortalidade em *D. echinocacti*, foram utilizados inseticidas em formulações comerciais com diferentes mecanismos de ação. Os modos de ação avaliados incluíram neurotóxico (Exalt® - Espinetoram e Bold® - Acetamiprido e Fenpropatrina), regulador de crescimento (Nomolt® - Teflubenzurom) e fagodeterrente (Fitoneem® - Azadiractina A e B).

O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 24 tratamentos: 4 inseticidas e 5 concentrações (Tabela 1), mais 4 controles, um para cada inseticida, totalizando 24 tratamentos. Cada tratamento teve 12 repetições independentes, contendo 6 ninfas cada ($n=72$ insetos/tratamento). As unidades experimentais foram distribuídas em bancada laboratorial sob condições controladas ($25 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $70 \pm 5\%$ UR).

Tabela 1 - Concentrações dos inseticidas utilizados sobre ninfas de 1º instar de cochonilha de escama para avaliação da mortalidade.

Inseticidas - Ingredientes ativos	Concentrações (ppm)
-----------------------------------	---------------------

Bold - Acetamiprido e Fepropatrina	250	500	1000	2000	4000
Exalt - Espinetoram	250	500	1000	2000	4000
Fitoneem - Azadiractina	1000	5000	9000	18000	32000
Nomolt - Teflubenzurom	250	500	1000	2000	4000

As concentrações utilizadas no experimento foram determinadas com base nas recomendações de controle dos inseticidas para a subordem Sternorrhyncha, à qual pertence essa espécie de cochonilha. Com base nas concentrações padrão dos inseticidas, foram estipuladas cinco doses para cada um. A partir da dose padrão recomendada pelo produto, foram quantificadas duas doses maiores e duas doses menores, conforme a Tabela 1.

Inicialmente, foram cortadas e esterelizadas lâminas de palma com dimensões de 15 cm² (5x3 cm) e pequenas arenas circulares de PVC com diâmetro de 2 cm e altura de 1 cm. As arenas foram coladas nas lâminas de palma para limitar a mobilidade dos insetos e facilitar a avaliação. No experimento, foram utilizadas ninfas de primeiro instar de *D. echinocacti* retiradas da criação mantida em laboratório. Optou-se pela utilização de ninfas de primeiro instar por se tratar da única fase do ciclo de vida do inseto em que há mobilidade, sendo as demais fases sésseis, o que inviabiliza sua manipulação. Após a seleção das ninfas com o auxílio do microscópio, foi realizada a aplicação tópica do inseticida com o auxílio de um pincel de 1,5 mm. Todos os tratamentos foram acomodados em recipientes plásticos esterilizados com dimensões de 8 cm de diâmetro e altura.

As variáveis analisadas consistiram na determinação da taxa de mortalidade, a concentração letal capaz de matar 50% dos insetos - CL 50, a concentração letal capaz de matar 90% dos insetos - CL 90. Além dessas, também foi avaliada a probabilidade de sobrevivência no tempo, que é o tempo necessário para mortalidade de 50% da população, as avaliações foram feitas em 24, 48, 72, 96 e 120 horas após a aplicação dos inseticidas.

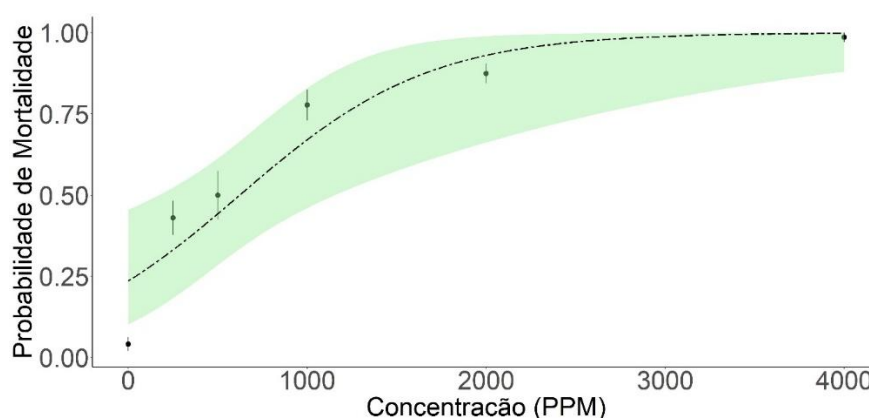
Para a análise da mortalidade dos insetos em laboratório avaliada ao longo do tempo, foram programadas funções utilizando-se os pacotes “survmniner” (Kassambra et al., 2021) e “survival” (Therneau, 2021) do R (R Core Team, 2023) para comparar as curvas de sobrevivência e estimar a toxicidade aguda das doses letais (CL₅₀ e CL₉₀) das concentrações em cada tratamento e os seus respectivos Intervalos de Confiança com 95% de probabilidade (IC 95%).

3. 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os inseticidas testados demonstraram efetividade ao apresentarem níveis significativos de toxidez, resultando em elevada mortalidade das ninfas de cochonilha de escama no primeiro ínstar. Esse resultado indica que os produtos testados possuem potencial para o controle eficiente da praga ainda nas fases iniciais do seu desenvolvimento, etapa crítica para a interrupção do ciclo biológico e redução da infestação.

Os resultados deste estudo demonstraram que a mortalidade das ninfas de primeiro instar de *D. echinocacti* seguiu um padrão logarítmico em resposta ao aumento das concentrações (ppm) do inseticida à base de Acetamiprido + Fenpropatrina (Figura 1). Observou-se uma relação linear entre a elevação das doses e a probabilidade de mortalidade, com um efeito mais acentuado nas concentrações intermediárias. No entanto, nas doses mais altas, a curva de mortalidade atingiu um platô, indicando um limite máximo de eficiência. A concentração de 4000 ppm foi a mais eficaz, alcançando aproximadamente 98% de mortalidade das ninfas. Em contraste, as concentrações de 1000 ppm e 2000 ppm apresentaram respostas intermediárias, promovendo mortalidades de 77% e 87%, respectivamente, valores significativamente superiores ao tratamento controle (0 ppm) (Figura 1).

Figura 1 – Concentração resposta da ação dos ingredientes ativos Acetamiprido + Fenpropatrina (Bold®) em ninfas de primeiro instar de *D. echinocacti*.

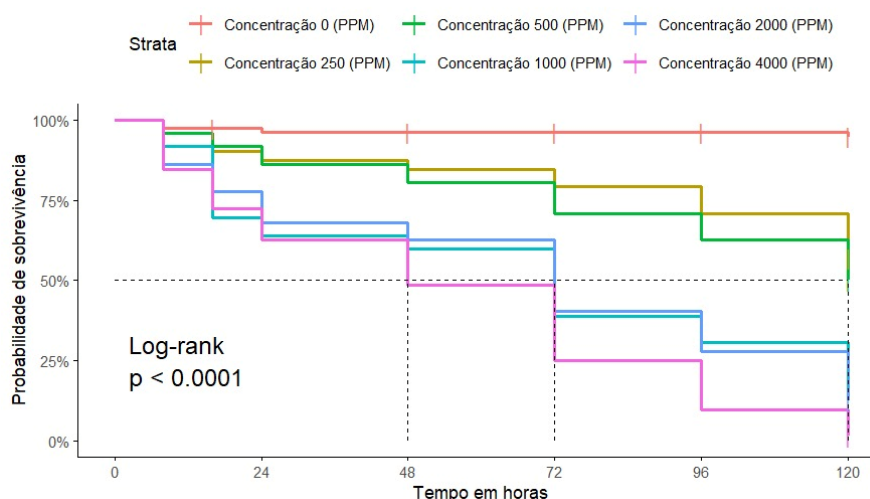


Esses ingredientes ativos agem como agonistas dos receptores nicotínicos de acetilcolina pós-sinápticos, amplamente utilizados com eficiência para controlar muitas pragas de insetos, sendo recomendados para diversas culturas (Furlan; Kreutzweiser, 2015; Jactel *et al.*, 2019).

A Figura 2 apresenta a curva de sobrevivência das ninfas de *D. echinocacti* em função do tempo após exposição ao inseticida Acetamiprido + Fenpropatrina. Os resultados demonstram uma clara relação dose-dependente, com diferenças significativas na cinética de mortalidade entre as concentrações testadas.

A dose mais elevada (4000 ppm) induziu a mortalidade mais rápida, com um tempo letal mediano (LT_{50}) de 48 horas, quando 50% da população foi eliminada. A mortalidade progrediu de forma acentuada, atingindo 60% às 72 horas e 70% às 96 horas de exposição. Esse padrão de resposta rápida é consistente com o mecanismo de ação neurotóxico do inseticida, que atua como agonista dos receptores nicotínicos de acetilcolina, causando excitação neuronal, paralisia e morte. A dose de 2000 ppm, embora eficaz, apresentou um LT_{50} mais prolongado (72 horas), indicando que a velocidade de ação está diretamente relacionada à concentração aplicada.

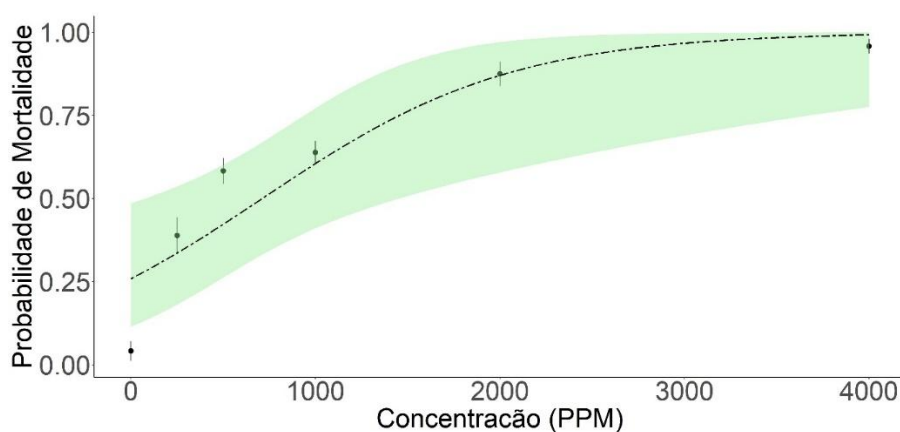
Figura 2 - Padrão de sobrevivência de *D. echinocacti* em função de diferentes concentrações do inseticida a base de acetamiprido e fenpropatrina.



A eficiência dos ingredientes ativos acetamiprido e fenpropatrina sobre a taxa de sobrevivência das ninfas pode ser devido ao seu modo de ação, uma vez que agem nos insetos com rapidez causando paralisia imediata e mortalidade, efeito de choque denominado *knockdown* (Montanha et al., 2012). Ação do inseticida ocorre no sistema nervoso dos insetos, no receptor nicotínico de acetilcolina (nAChR), um canal iônico que desempenha um papel fundamental na sinalização nervosa, causando assim a morte do inseto de forma mais rápida (Bass; Field, 2018).

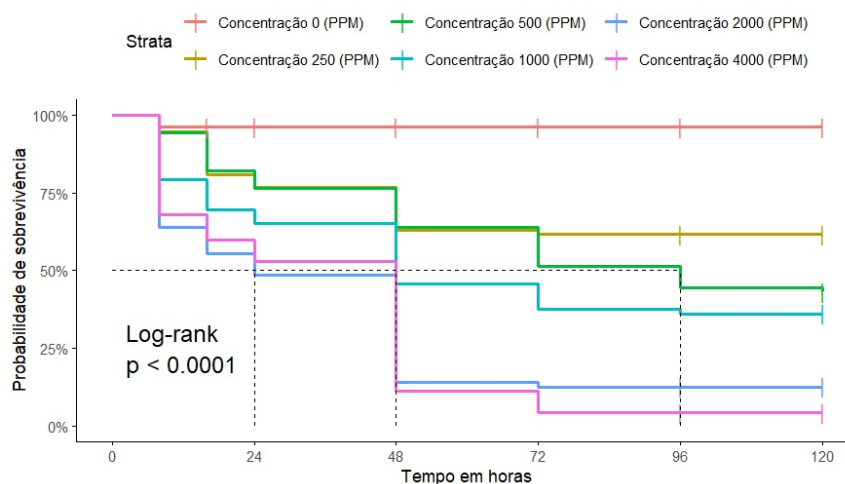
Observa-se um padrão de mortalidade logarítmica das ninfas de primeiro instar de *D. echinocacti* em função do aumento das concentrações (PPM) do inseticida a base de Espinetoram sobre a taxa mortalidade de *D. echinocacti*, no entanto, as maiores concentrações promoveram um comportamento estacionário sobre a taxa de mortalidade do inseto, de modo que com o aumento da concentração resultou num pequeno incremento na mortalidade. As concentrações que apresentaram maiores probabilidades de mortalidade para as ninfas foram 4000 PPM e 2000 PPM, correspondendo a 95% e 87%, respectivamente (Figura 3).

Figura 3- Concentração resposta da ação do ingrediente ativo espinetoram em ninfas de primeiro instar de *D. echinocacti*.



A taxa de probabilidade de sobrevivência de *D. echinocacti* em função de diferentes concentrações de espinetoram são apresentadas na Figura 4. Observa-se que a concentração de 2000 PPM foi mais eficiente em relação as demais testadas necessitando de menor tempo mediano para mortalidade de 50% das ninfas de primeiro instar (24h de exposição). A partir das 48h as concentrações de 4000 PPM e 1000 PPM resultaram em morte superior a 50% das ninfas. A concentração de 500 PPM só conseguiu alcançar os 50% de mortalidade das ninfas as 96h (Figura 4).

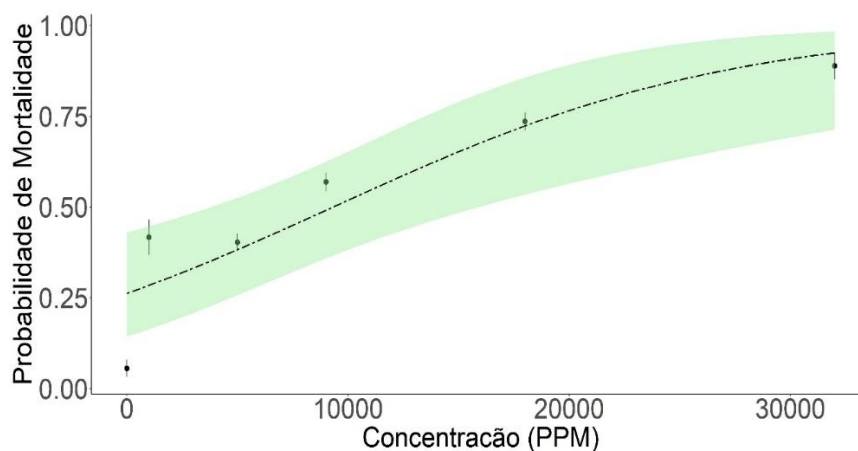
Figura 4 - Padrão de sobrevivência de *D. echinocacti* em função de diferentes concentrações do inseticida a base de Espinetoram.



O Espinetoram pertence ao grupo químico das espinosinas que são neurotóxicos, caracterizados como um bioinseticida, atua no sistema nervoso central dos insetos, especificamente nos receptores nicotínicos de acetilcolina (Bacci *et al.*, 2016; Dias *et al.*, 2017; Coutinho, 2022), essas moléculas moduladoras podem alterar a atividade da enzima acetilcolinesterase, tornando-a mais ativa, fazendo com que os impulsos nervosos sejam transmitidos de forma ininterrupta e descontrolada, induzindo o inseto à excitação, tremores contínuos, paralisção pela fadiga muscular e morte mais rápida, o que poderia explicar seu efeito mais rápido na morte do inseto (Lima, Fazolin, Monteiro, 2022).

O uso da Azadiractina apresentou comportamento linear crescente para a taxa de mortalidade das ninfas, ou seja, de acordo com o aumento nas concentrações testadas houve maior taxa de mortalidade das ninfas de *D. echinocacti*, diferindo dos resultados obtidos do Espinetoram e do Acetamiprido e Fenpropatrina. A concentração com maior eficiência sobre a taxa de mortalidade das ninfas foi a de 32000 PPM apresentando mortalidade de cerca de 88%, seguida pela concentração de 18000 PPM que correspondeu a uma probabilidade de mortalidade de cerca de 73% (Figura 5).

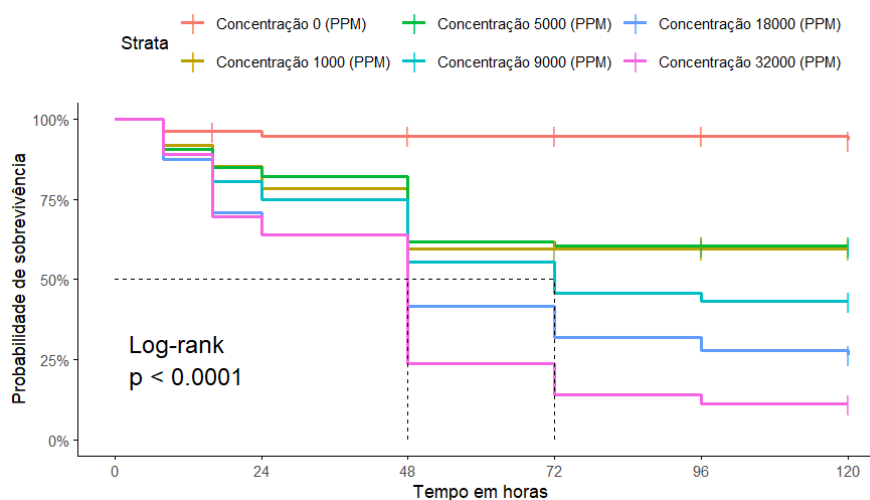
Figura 5 - Concentração resposta da ação do ingrediente ativo azadiractina em ninfas de primeiro instar de *D. echinocacti*.



No nosso estudo as maiores concentrações estudadas de Azadiractina foram mais eficientes para controle de *D. echinocacti*, sendo semelhante aos demais inseticidas testados. Esse ingrediente ativo atua como impedimento da alimentação do inseto, disruptor de crescimento (IGD) e esterilizante (Kilani-Morakchi, Morakchi-Goudjil, Sifi, 2021), comprovando o seu efeito positivo sobre o controle de *D. echinocacti*,

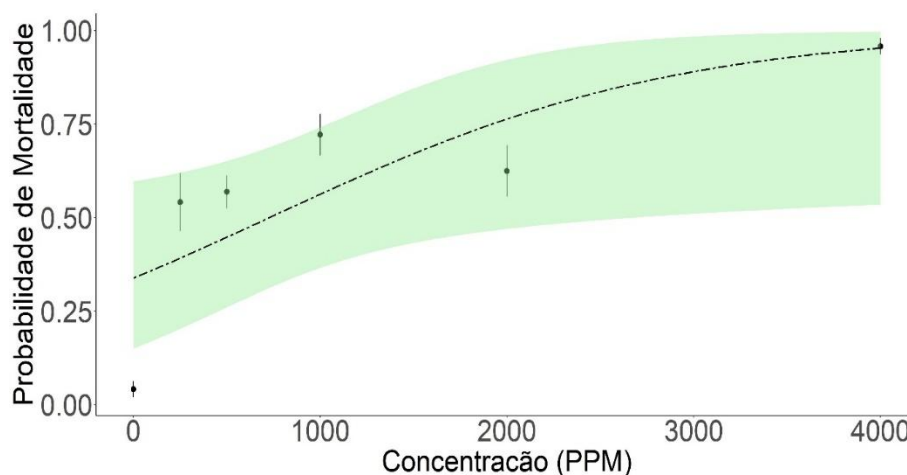
Como pode-se observar as concentrações de 32000 PPM e 18000 PPM apresentaram menores valores com relação a probabilidade de sobrevivência das ninfas, necessitando de 48h do bioensaio para causar morte de 75% e 60% de mortalidade das ninfas. Com o avanço das horas desde a aplicação, a concentração de 9000 PPM também ocasionou a mortalidade de 50% das ninfas às 72h de experimento (Figura 6). A toxicidade da Azadiractina varia entre as ordens de insetos e é influenciada pelas diferentes taxas de penetração e atividades de enzimas desintoxicantes (Kilani-Morakchi, Morakchi-Goudjil, Sifi, 2021), desta forma acredita-se que as concentrações estudadas possam ter encontrado maior dificuldade para penetrar em *D. echinocacti*, e por isso requereu maior tempo para apresentar efeito.

Figura 6 - Padrão de sobrevivência de *D. echinocacti* em função de diferentes concentrações do inseticida a base de Azadiractina.



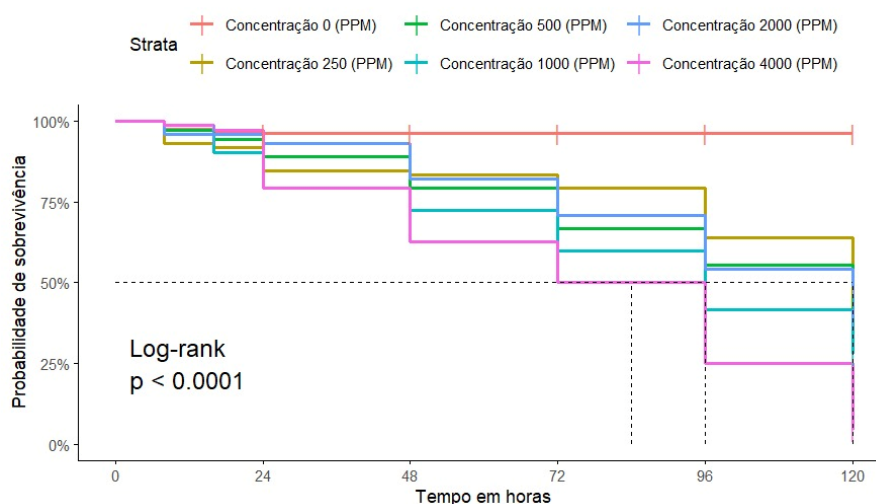
Verificou-se um padrão de comportamento logarítmico em função do aumento nas concentrações do ingrediente ativo Teflubenzurom para a taxa de mortalidade de *D. echinocacti*. A dose de 4000 ppm resultou em maior taxa de mortalidade para *D. echinocacti* de aproximadamente 95% (Figura 7). Esse inseticida atua inibindo o processo de incorporação de N -acetilglucosamina na quitina de insetos, mas não há efeitos bioquímicos diretos em enzimas, receptores ou organelas intracelulares em um sistema livre de células (Sun *et al.*, 2015).

Figura 7 - Concentração resposta da ação do ingrediente ativo teflubenzurom em ninfas de primeiro instar de *D. echinocacti*.



Com relação a taxa de sobrevivência das ninfas, verificou-se que esse inseticida não teve rápida ação, observa-se que a maior concentração estudada 4000 ppm ocasionou a mortalidade de 50% das ninfas apenas em 72h da aplicação, evoluindo para as 96h houve redução na probabilidade de sobrevivência das ninfas para 25% e posteriormente as 120h com uma probabilidade de sobrevivência bem baixa. A concentração de 2000 ppm também resultou na mortalidade de 50% das ninfas, no entanto, isso só ocorreu as 96h (Figura 8). Observa-se que o Teflubenzurom na sua maior dose resultou em uma alta taxa de mortalidade, no entanto com efeito mais lento que os demais.

Figura 8 - Padrão de sobrevivência de *D. echinocacti* em função de diferentes concentrações do inseticida a base de Teflubenzurom.



A análise das concentrações letais (CL_{50} e CL_{90}) dos inseticidas testados revelou diferenças expressivas na toxicidade entre os produtos, conforme apresentado na Tabela 2. As CL_{50} indicam as doses necessárias para causar 50% de mortalidade nas ninfas de cochonilha-de-escama no primeiro ínstar, enquanto as CL_{90} representam as doses requeridas para atingir 90% de mortalidade.

Tabela 2 - Concentrações letais (CL₅₀ e CL₉₀) dos ingredientes ativos em ninfas de primeiro ínstar de *D. echinocacti*.

Produto	CL	Média (ppm)	Intervalos de confiança (IC 95%)	
			Limite Inferior	Limite Superior
Acetamiprido e Fenpropatrina	CL ₅₀	1530	1430	1640
	CL ₉₀	2720	2430	3190
Espinetoram	CL ₅₀	1590	1480	1710
	CL ₉₀	3120	2740	3760
Azadiractina	CL ₅₀	6300	5010	7860
	CL ₉₀	57000	37800	103000
Teflubenzurom	CL ₅₀	1590	1380	1810
	CL ₉₀	4270	3360	6470

Em síntese, a análise das concentrações letais (CL₅₀ e CL₉₀) demonstra que a formulação de Acetamiprido + Fenpropatrina (Bold®) apresentou a maior eficiência intrínseca, com valores de CL₅₀ (1530 ppm) e CL₉₀ (2720 ppm) significativamente inferiores aos demais tratamentos. O Espinetoram (Exalt®) exibiu perfil toxicológico semelhante (CL₅₀ = 1590 ppm; CL₉₀ = 3120 ppm), porém com diferenças cinéticas notáveis - seu tempo letal mediano (LT₅₀) de 24h na dose de 2000 ppm sugere mecanismo de ação mais rápido que a mistura Acetamiprido+Fenpropatrina (LT₅₀ = 48h). Esta característica o torna particularmente adequado para situações que demandam controle imediato.

O Teflubenzurom, apesar de exibir CL₅₀ comparável (1590 ppm), requer doses substancialmente mais altas para atingir CL₉₀ (4270 ppm), refletindo sua ação como regulador de crescimento com efeito tardio (LT₅₀ = 84h). A Azadiractina demonstrou a menor eficácia intrínseca (CL₅₀ = 6300 ppm; CL₉₀ = 57000 ppm), porém seu mecanismo fagodeterrente e anti-ecdísial mostra valor em estratégias anti-resistência.

Os resultados indicam que a escolha do inseticida para o controle da cochonilha-de-escama deve levar em conta a taxa de mortalidade, a velocidade de ação, o sistema de cultivo (convencional ou agroecológico) e a forma de aplicação (curativa ou preventiva), pois esses fatores influenciam diretamente a eficácia do manejo. Portanto, a validação desses inseticidas em condições de campo é essencial para confirmar sua efetividade no controle da praga.

3. 4 CONCLUSÕES

Todos os inseticidas incorrem em altas taxas de mortalidade nas concentrações mais elevadas. O produto à base dos ingredientes ativos Acetamiprido e Fenpropatrina foi o mais eficiente em termos de taxa de mortalidade para controle de *D. echinocacti*.

O Espinetoram foi o segundo ingrediente ativo mais eficiente com boa taxa de letalidade e melhor tempo mediano letal.

A Azadiractina ocasiona toxicidade contra o inseto e possui um tempo de ação prolongado, sendo também uma alternativa para o controle do inseto. O inseticida à base de Teflubenzurom foi o mais lento.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE JUNIOR, P. de S. *et al.* Effectiveness of Agave genotype extracts applied alone or mixed with mineral oil against the cactus scale mealybug *Diaspis echinocacti* (Hemiptera: Diaspididae). **Bragantia**, v. 82, p. e20230024, 2023.

BACCI, L. *et al.* A review of *Spinosyns*, a derivative of biological acting substances as a class of insecticides with a broad range of action against many insect pests. **Journal of Entomological and Acarological Research**, v. 48, n. 1, p. 40-52, 2016.

BASS, C.; FIELD, L. M. Neonicotinoids. **Current biology**, v. 28, n. 14, p. R772-R773, 2018.

ARTEMAISDIGITAL. Disponível em:
<https://www.atermaisdigital.cnptia.embrapa.br/web/controle-de-pragas/w/methomex-215-sl-adama-brasil-s.a.-7895-3>. Acesso em: 11/12/2024.

COUTINHO, J. de S. *et al.* Sobrevivência e capacidade de voo da Abelha *Apis mellifera* (Hymenoptera: apidae) após exposição direta e oral a antranilamidas e espinosinas. 2022.

DIAS, L. dos S. *et al.* Toxicity of spinosad to temephos-resistant *Aedes aegypti* populations in Brazil. **Plosone**, v. 12, n. 3, p. e0173689, 2017.

EL AALAOUI, M.; SBAGHI, M. Efficacy of some biorational insecticides against the cactus scale pest *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae) in Morocco. **African & Mediterranean Agricultural Journal**, v. 139, p.21-36, 2023a.

- EL AALAOUI, M.; SBAGHI, M. Potential of parasitoids to control *Diaspis echinocacti* (Bouché) (Hemiptera: Diaspididae) on *Opuntia* spp. cactus pear. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 33, n. 1, p. 57, 2023b.
- FURLAN, L.; KREUTZWEISER, D. Alternatives to neonicotinoid insecticides for pest control: case studies in agriculture and forestry. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 1, p. 135-147, 2015.
- GONÇALVES, G. B. *et al.* Óleo de dendê: alternativa para o manejo agroecológico da cochonilha de escamas da palma forrageira *Diaspis echinocacti* (Hemiptera: Diaspididae). **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.
- JACTEL, H. *et al.* Alternatives to neonicotinoids. **Environment international**, v. 129, p. 423-429, 2019.
- KILANI-MORAKCHI, S.; MORAKCHI-GOUDJIL, H.; SIFI, K. Azadirachtin-based insecticide: Overview, risk assessments, and future directions. **Frontiers in agronomy**, v. 3, p. 676208, 2021.
- LIMA, M. E. C.; FAZOLIN, M.; MONTEIRO, A. F. M. Avaliação de frações do óleo de *Piper aduncum* L. como sinérgicas de inseticidas carbamatos e espinosinas. In: Seminário da Embrapa Acre de Iniciação Científica e Pós-Graduação, 4., 2021, Rio Branco, AC. Atividades agropecuária e florestal para o desenvolvimento sustentável da Amazônia: **Anais**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2022.
- LIRA, E. *et al.* Changes in reserve mobilization caused by salinity could interfere in the initial growth of *Jatropha curcas*. **Sustainability**, v. 13, n. 13, p. 7446, 2021.
- MARENGO, J. A. *et al.* Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 C. **Natural Hazards**, v. 103, p. 2589-2611, 2020.
- MARTINS, M. A. *et al.* Improving drought management in the Brazilian semiarid through crop forecasting. **Agricultural Systems**, v. 160, p. 21-30, 2018.
- MONTANHA, F. P.; PIMPÃO, C. T. Efeitos toxicológicos de piretróides (*cipermetrina* e *deltametrina*) em peixes-Revisão. **Revista científica eletrônica de medicina veterinária**, v. 18, p. 1-58, 2012.

PRĂVĂLIE, R.*et al.* Recent changes in global drylands: Evidences from two major aridity databases. **Catena**, v. 178, p. 209-231, 2019.

RAMDANI, C. *et al.* Field and laboratory evaluations of different botanical insecticides for the control of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) on cactus pear in Morocco. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 41, p. 1623-1632, 2021.

SOUSA, Valéria F. O. *et al.* Growth and gas changes of melon seedlings submitted to water salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 23, n. 2, 2019.

SUN, R.*et al.* Benzoylurea chitin synthesis inhibitors. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 63, n. 31, p. 6847-6865, 2015.

CAPÍTULO II

INFLUÊNCIA DO SILICATO DE POTÁSSIO NA PRODUTIVIDADE DE *Opuntia stricta* Haw E NA INFESTAÇÃO POR *Diaspis echinocacti*

RESUMO

A palma forrageira vem gradualmente adquirindo importância econômica, sendo uma alternativa em potencial para produtores do semiárido, pois pode ser usada para diversos fins tanto para humanos como animais. No entanto, seu cultivo é acometido por vários tipos de insetos-praga que afetam sua produção, em especial a cochonilha de escama. Dessa forma, objetivou-se testar a influência do silicato de potássio na produtividade de palma-forrageira e na infestação por Cochonilha de Escama. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial $4 \times 4 + 1$, correspondente a quatro concentrações de silicato de potássio (0, 5, 9, 18, 28 ml L^{-1}) e quatro épocas de aplicação (0, 90, 180, 270 dias) e um tratamento adicional testemunha (sem aplicação do silicato) com 4 blocos, contendo 5 plantas como unidade experimental. Aos 365 dias após o início do experimento, as plantas da parcela experimental foram usadas para a realização das análises biométricas e de infestação. Foram levados em consideração variáveis morfoagronômicas da palma e também foi avaliado o nível de infestação da cochonilha da escama. Não houve diferença significativa entre as diferentes épocas de aplicação do produto. As aplicações de silicato de potássio beneficiaram as palmas-forrageiras, especialmente na concentração de 28 ml L^{-1} , que proporcionou maior produtividade de matéria seca (84,78 t ha^{-1}) e com menor infestação por cochonilha da escama (55,4%). Conclui-se que existem evidências que a aplicação de silicato de potássio induz resistência a cochonilha da escama com menor nível de infestação nos cladódios.

Palavras-Chave: Cactaceae; cochonilha de escama; K_2SiO_3 ; manejo da palma; controle de praga.

ABSTRACT

Forage cactus has gradually gained economic importance and is a potential alternative for producers in the semiarid region, as it can be used for various purposes for both humans and animals. However, its cultivation is affected by several types of insect pests that affect its production, especially the scale insect. Thus, the objective of this study was to test the influence of potassium silicate on forage cactus productivity and scale insect infestation. The experimental design used was randomized blocks in a $4 \times 4 + 1$ factorial scheme, corresponding to four concentrations of potassium silicate (0, 5, 9, 18, 28 ml L⁻¹) and four application times (0, 90, 180, 270 days) and an additional control treatment (without silicate application) with 4 blocks, containing 5 plants as the experimental unit. At 365 days after the start of the experiment, the plants of the experimental plot were used to perform biometric and infestation analyses. Morphoagronomic variables of the palm were taken into account and the level of scale mealybug infestation was also evaluated. There was no significant difference between the different times of application of the product. The applications of potassium silicate benefited the forage palms, especially at a concentration of 28 ml L⁻¹, which provided greater dry matter productivity (84.78 t ha⁻¹) and lower scale mealybug infestation (55.4%). It is concluded that there is evidence that the application of potassium silicate induces resistance to scale mealybug with a lower level of infestation in the cladodes.

Keywords: Cactaceae; scale mealybug; K₂SiO₃; palm management; pest control.

4. 1 INTRODUÇÃO

Os gêneros *Opuntia* e *Nopalea* são responsáveis pelas palmas forrageiras mais cultivadas comercialmente e a principal fonte de alimento para ruminantes na região semiárida do nordeste do Brasil (Bayar; Friji; Kammoun, 2018; Albuquerque Junior et al., 2023). A palma forrageira vem gradualmente adquirindo importância econômica, geralmente cultivada em zonas áridas para proteger o solo contra a erosão, é alternativa que pode ser utilizada para diversos fins e sua fruta fresca é consumida por humanos e animais. A rica composição química dos cladódios sugere que eles podem ser explorados para a extração de pectina. Além disso, os seus produtos industriais e medicinais são altamente exigidos no mercado (Bayar; Friji; Kammoun, 2018; Ramdani et al., 2021; Kumar et al., 2022).

No entanto, como qualquer cultivo agrícola, a palma forrageira é acometida por vários tipos de insetos-praga que afetam seu cultivo, a exemplo de formigas, lagartas e gafanhotos, mas a cochonilha escama *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera; Diaspididae) é o principal agente prejudicial à cultura causando os maiores prejuízos a essas plantas nas principais regiões produtoras do Brasil (Albuquerque Junior et al., 2023).

D. echinocacti causa danos diretos (sucção de seiva e injeção de toxinas) e indiretos (crescimento de fumagina sobre a melada, reduzindo a fotossíntese). Sua preferência por cladódios maduros está associada à menor produção de metabólitos de defesa nesses tecidos (Lopes et al., 2018; El Aalaoui; Sbaghi, 2023a). Além disso, possui elevada taxa reprodutiva e a propensão para se espalhar rapidamente através de suportes naturais (vento, água, etc) tornam o estabelecimento e a propagação da cochonilha muito mais fácil do que muitas outras espécies (El Aalaoui; Sbaghi, 2023b). Na agricultura convencional, o controle da cochonilha de escama tem sido realizado principalmente com a utilização de inseticidas químicos (Gonçalves et al., 2020).

No entanto, sabe-se que os inseticidas químicos são frequentemente perigosos para muitas formas de vida do meio ambiente e ao homem. Para preservar a produtividade das plantas e manter o equilíbrio ecológico e sustentável, é importante compreender a resistência da planta hospedeira e sua utilização no manejo de pragas (Nagaratna et al., 2022). Além disso, sabe-se ainda que inseticidas químicos aplicados em plantas de palma forrageira podem selecionar populações resistentes de *D. echinocacti*, ademais pode contaminar carne e leite de bovinos, caprinos e ovinos alimentados com cladódios desta planta (Ramdani et al., 2021). Portanto, alternativas aos inseticidas tradicionais são desejáveis, especialmente para pequenos produtores de palma forrageira.

O silício (Si) corresponde a ~28% da crosta terrestre, mas sua disponibilidade para as plantas depende da solubilização de minerais como silicatos (Zamojska et al., 2018). Na agricultura, a aplicação de Si solúvel (ex.: silicato de potássio) tem ganhado relevância devido aos seus efeitos duplos: melhoria da arquitetura celular (via deposição de fitólitos), e ativação de vias de defesa contra herbívoros (Nagaratna et al., 2022). "O silício, embora não essencial para todas as plantas, atua como um elemento benéfico ao: (i) fortalecer a parede celular via deposição de fitólitos, (ii) modular vias de defesa bioquímicas, e (iii) melhorar a tolerância ao estresse hídrico (Ma, 2004; Nagaratna et al., 2022).

O silício aumenta a resistência das plantas e reduz os danos às plantas causados por fatores bióticos e abióticos (Ma, 2004). Nagaratna *et al.* (2022) relataram que o silício pode aumentar a resistência das plantas de duas formas, a primeira através da resistência física e a segunda pela defesa química. Alguns estudos comprovam seus efeitos no controle de pragas em algumas espécies, tais como o controle de pragas e doenças em arroz (Buck et al., 2008; Rezende et al., 2009; Stout; Riggio; Yang, 2009), soja (Rodrigues et al., 2009; Cruz et al., 2013), café (Lopes et al., 2013), pepino (Liang et al., 2005) e tomate (Kedarnath et al., 2016) e induzem resistência ao estresse abiótico em culturas como trigo (Sattar et al., 2019) e batata (Pilon et al., 2014). Embora o silício tenha sido estudado em culturas como arroz e soja, seu potencial no manejo de *D. echinocacti* em palma forrageira permanece pouco explorado, especialmente quanto a doses ideais e épocas de aplicação. Portanto, este estudo teve como objetivo testar a influência do silicato de potássio na produtividade de palma-forrageira e na infestação por Cochonilha de Escama.

4. 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Riachão, localizada no município de Boa Vista (7°18'25,7"S e 36°18'1,03"O), situada na Mesorregião do Agreste Paraibano e Microrregião de Campina Grande e na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Norte. A sede da propriedade tem uma altitude aproximada de 475,0 metros distando 152,6509 km da capital. O acesso é feito, a partir de Campina Grande, pelas rodovias BR 230/ BR 412.

O tipo de clima da região é 'Bsh' semiárido quente, com chuvas de janeiro a abril, apresentando temperaturas medias anuais em torno de 24 °C, umidade relativa do ar em torno de 68%, ocorrendo precipitação pluvial média de 400 mm anuais, com déficit hídrico durante quase todo o ano (SUDENE, 1996). O trabalho foi implantado em condições de campo, a área apresenta um Neossolo Litólico, apresentando baixa profundidade, sequenciado pelos

horizontes A – C – R, com ausência do horizonte B, fertilidade alta quando derivado de rochas básicas ou calcária, pequena capacidade de armazenamento de água, pedregosidade e rochosidade generalidade e alta suscetibilidade à erosão (EMBRAPA, 1999).

A infestação da cochonilha-de-escama foi realizada de forma natural em campo. A palma utilizada no experimento foi a variedade Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw) sendo a mais cultivada na Paraíba. O plantio escolhido para o experimento possuía 2 anos de idade com sistema de fileira duplas com as seguintes medições (150 cm entre fileiras duplas, 30 cm entre fileiras simples e 20 cm entre plantas - raquetes na linha de plantio) totalizando aproximadamente 55 mil plantas/ha.

O experimento foi conduzido em condições de campo, com os seguintes atributos químicos: pH de 7,5; 132,02 mg dm⁻³ de P; 392,05 mg dm⁻³ de K⁺; 10,90 cmolc dm⁻³ de Ca²⁺; 5,83 cmolc dm⁻³ de Mg²⁺; 0,23 cmolc dm⁻³ de Na⁺; 0,10 cmolc dm⁻³ de H⁺ + Al³⁺; 0,05 cmolc dm⁻³ de Al³⁺; soma de bases de 18,96 cmolc dm⁻³; 19,06 cmolc dm⁻³ de CTC e 36,64 g kg⁻¹ de matéria orgânica.

Para a avaliação da influência do silício na palma forrageira, utilizou-se a fonte silicato de potássio (K₂ SiO₃) em 4 doses com 4 aplicações durante o ano (a aplicação do produto era realizada a cada trimestre - 90 dias) mais a testemunha absoluta.

As concentrações utilizadas no experimento (Tabela 1) foram determinadas com base na recomendação do produto para plantas do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), o qual a *O. stricta* pertence.

Tabela 3 - Concentrações do fertilizante utilizado no experimento.

Concentrações (ml L ⁻¹)					
Silicato de potássio	0	5	9	18	28
	Concentrações (L ha ⁻¹)				
Silicato de potássio	0	1	1,8	3,6	5,6

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial com medida repetida no tempo 4 x 4 +1, correspondente a quatro concentrações de silicato de potássio (0, 5, 9, 18, 28 ml L⁻¹) e quatro épocas de aplicação (0 – início do experimento, 90, 180, 270 dias) e um tratamento adicional testemunha (sem aplicação do silicato) com 4 blocos, contendo 5 plantas como unidade experimental.

A unidade experimental correspondia a um metro linear do plantio na qual possuíam 10 plantas, das quais apenas 5 eram avaliadas. A aplicação dos tratamentos foi realizada em toda a unidade experimental com o auxílio de um pulverizador manual com capacidade de 2 litros.

Aos 365 dias após a instalação do experimento, as plantas da parcela experimental foram usadas para a realização das análises biométricas e de infestação. Avaliou-se o número total de cladódios por planta (NCTotais) e o número total de cladódios infestados (NCITotais). Da parcela experimental utilizou-se 5 raquetes aleatórias para mensuração da largura (LC), comprimento (CC), e espessura (EC) dos cladódios.

A biomassa fresca dos cladódios (BFC) foi determinado na balança digital. Posteriormente, os cladódios foram fragmentados, acondicionados em sacos de papel e mantidos em uma estufa de circulação forçada a 65 °C até se atingir peso seco constante, obtendo-se assim a biomassa seca do cladódio (BSC). A BFC e BSC foram utilizadas exclusivamente para o cálculo da produtividade de matéria seca (PMS), em $t\ ha^{-1}$, que foi obtida com o produto da multiplicação do peso médio da massa seca dos cladódios pelo número total de cladódios por planta e pelo número de plantas por hectare.

Diferentes modelos generalizados foram programados levando em consideração uma estrutura fatorial com a inclusão de um fator adicional. Os dados de comprimento, largura e espessura das raquetes foram tratados com um modelo gaussiano com função de ligação identidade; enquanto a variável produtividade foi analisada com um modelo Gama. A função `lme4` do R (R Core Team, 2024) foi utilizada para calcular as médias marginais estimadas (MMEs) para fatores especificados no modelo e as combinações geradas dos fatores. Adicionalmente, foram efetuadas comparações por meio de contrastes entre as combinações possíveis, incluindo o fator adicional testemunha.

Um modelo Supervisionado de Aprendizado de Máquina de Árvore de Decisão foi adotado para classificar os níveis de aplicação do Silício com base em características morfológicas, produtividade e infestação das raquetes. 70% dos dados foram reservados para o treinamento do modelo, enquanto 30% dos dados foram reservados para a validação. Foram utilizados os seguintes números iniciais de nós (chamados aqui classes): 2 classes (Presença e Ausência do Silício), 5 classes (Controle e Doses de Silício) e 21 classes (Controle, Doses de Silício dentro de cada época de aplicação). Para confrontar o melhor número de nós para classificação deste conjunto de dados foram utilizadas as seguintes métricas: Acurácia, Taxa de desinformação e Kappa.

4.3 RESULTADOS

Os fatores Época de Aplicação ($P_{\text{comprimento}} = 0,2131$; $P_{\text{largura}} = 0,5843$; $P_{\text{espessura}} = 0,5106$) ou Dose ($P_{\text{comprimento}} = 0,8828$; $P_{\text{largura}} = 0,8471$; $P_{\text{espessura}} = 0,1671$), interação Época de Aplicação vs Dose ($P_{\text{comprimento}} = 0,4626$; $P_{\text{largura}} = 0,8841$; $P_{\text{espessura}} = 0,9625$), e os contrastes aplicados levando em consideração a combinação da interação dos tratamentos combinados vs fator adicional revelaram não diferença significativa ($P_{\text{comprimento}} = 0,9982$; $P_{\text{largura}} = 0,5746$; $P_{\text{espessura}} = 0,06485$) para as variáveis Comprimento, Largura e Espessura das Raquetes (Figuras 1, 2 e 3).

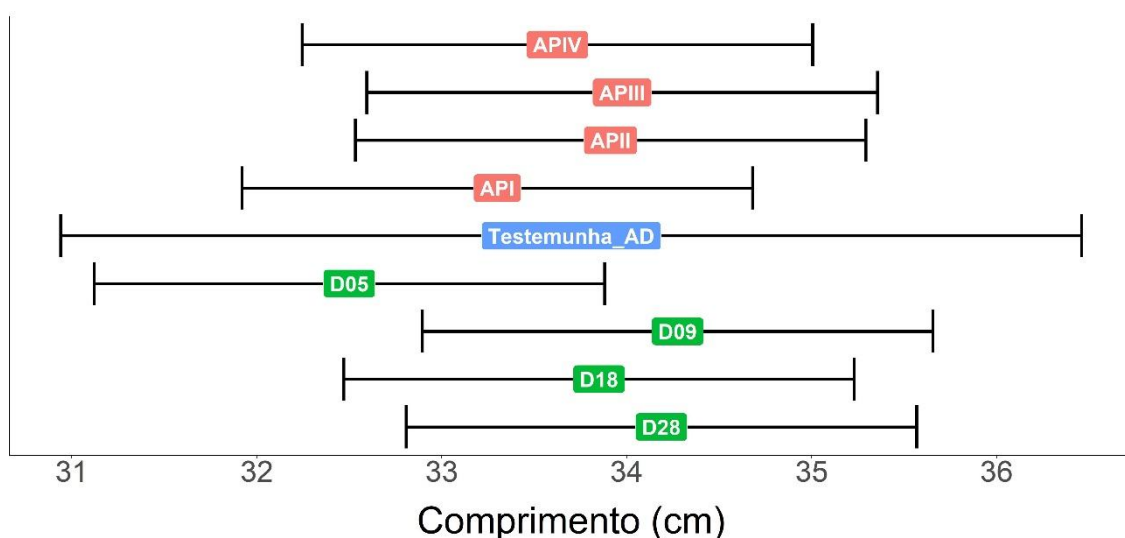


Figura 9 – Contrastes para a variável comprimento da raquete de palma como função de diferentes doses do Silicato de Potássio: D05, D09, D18 e D28 e da época de aplicação: API, APII, APIII e APIV e do fator adicional Testemunha. Médias não diferem entre si pela sobreposição dos Intervalos de Confiança (IC95%) gerados pelo modelo linear generalizado gaussiano com função de ligação identidade.

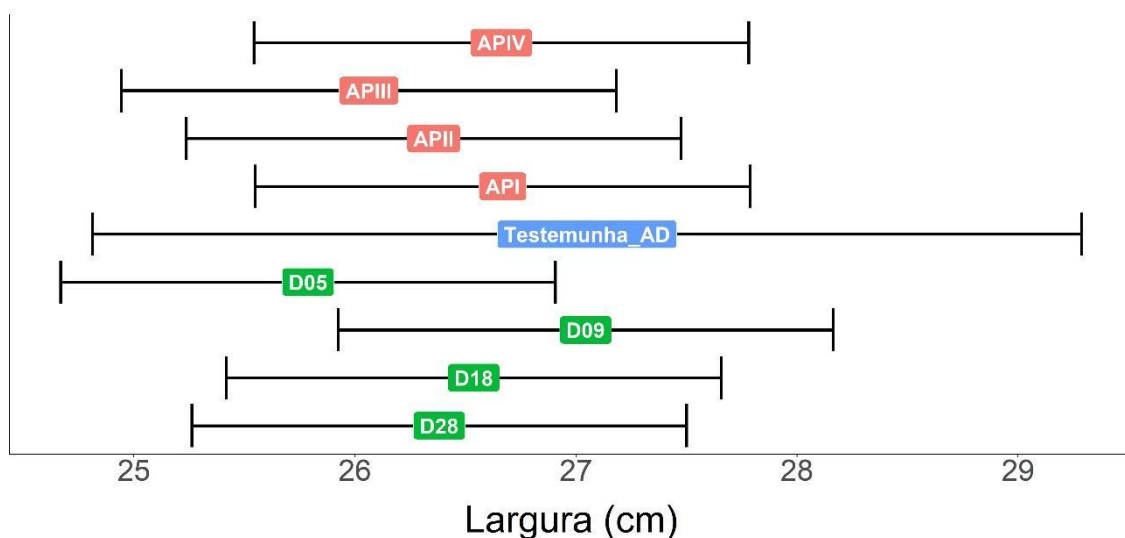


Figura 10 – Contrastes para a Largura da raquete de palma como função de diferentes doses do Silicato de Potássio: D05, D09, D18 e D28 e da época de aplicação: API, APII, APIII e APIV e do fator adicional Testemunha. Médias não diferem entre si pela sobreposição dos Intervalos de Confiança (IC95%) gerados pelo modelo linear generalizado gaussiano com função de ligação identidade.

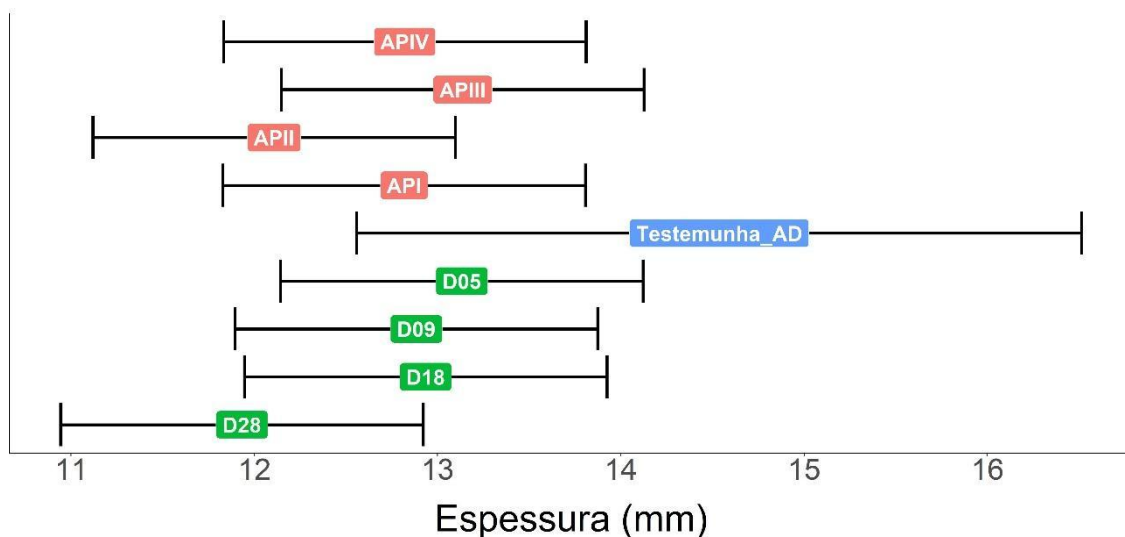


Figura 11 – Contrastes para Espessura da raquete de palma como função de diferentes doses do Silicato de Potássio: D05, D09, D18 e D28 e da época de aplicação: API, APII, APIII e APIV e do fator adicional Testemunha. Médias não diferem entre si pela sobreposição dos Intervalos de Confiança (IC95%) gerados pelo modelo linear generalizado gaussiano com função de ligação identidade.

Para a variável produtividade em matéria seca (Figura 4), houve efeito da dose ($P_{\text{produtividade}} = 0.001013$) e não efeito da época de aplicação ($P_{\text{produtividade}} = 0.944291$). Além disso, houve um incremento de produtividade dos tratamentos adotados, independentemente da época de aplicação e da dose, em relação à testemunha ($P_{\text{produtividade}} = 0.01623$). O comportamento que melhor descreve a relação dose do silício versus produtividade em matéria seca é dada pela seguinte função cúbica $y = \exp(-0,0054x^3 - 0,0019x^2 - 0,0177x + 0,0154)$. De fato, a produtividade em matéria seca é nitidamente descrita por uma resposta sigmoidal, apresentando pontos de estabilização entre as doses de 5 a 18 mL/L, e uma tendência de aumento nessa variável entre 18 e 28 mL/L.

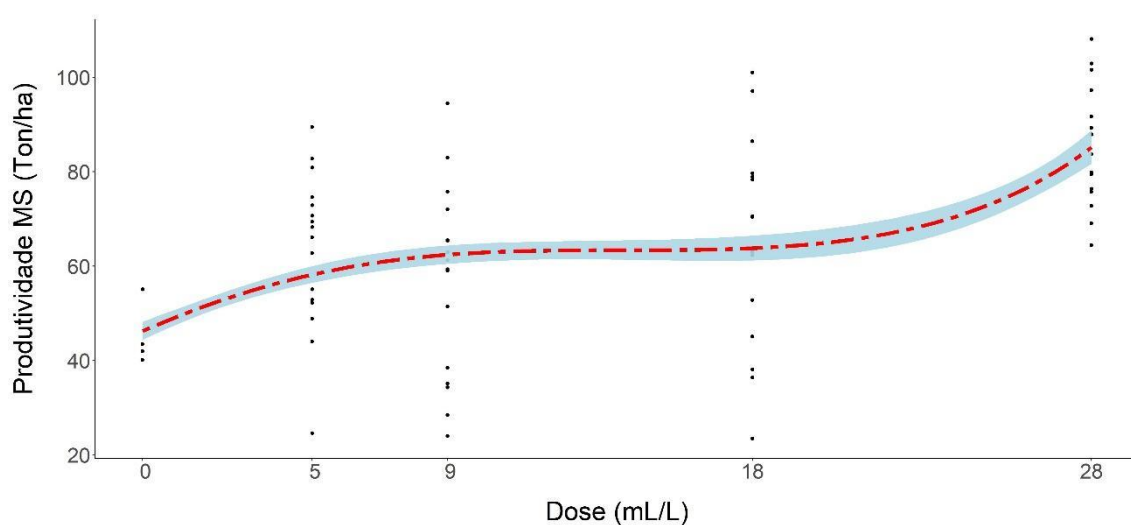


Figura 12 – Relação Dose de Silicato de Potássio (mL/L) e Produtividade em Matéria Seca (toneladas por hectare) de palma. Pontos refletem os dados originais, enquanto as linhas tracejadas e coloridas são os dados médios e Intervalos de Confiança (IC95%) gerados pelo modelo linear generalizado do tipo Gama com função de ligação log.

Para a variável infestação da cochonilha nas raquetes de palma (Figura 5), houve efeito da dose ($P_{\text{infestação}} = 0.03366$) e não efeito da época de aplicação ($P_{\text{infestação}} = 0.93934$). Além disso, houve um incremento de produtividade dos tratamentos adotados, independentemente da época de aplicação e da dose, em relação à testemunha ($P_{\text{infestação}} = 0.000645$). Houve uma redução crescentada relação dose do silício versus infestação de raquetes de palma, descrito pelo modelo logístico quasibinomial $y = \exp(-0.43055 + -0.09613x) / 1 + \exp(-0.43055 + -0.09613x)$. A variabilidade nesta variável para praticamente todas as doses foi também nitidamente expressa, o que justificou a adoção do modelo binomial com superdispersão.

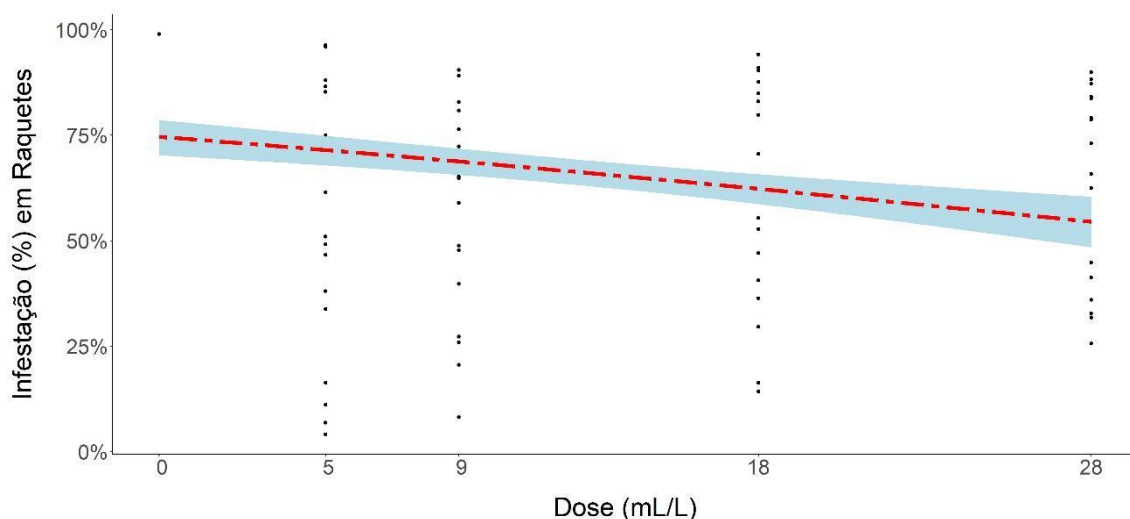


Figura 13 – Relação Dose de Silicato de Potássio (mL/L) e Infestação da cochonilha de escama nas raquetes de palma. Pontos refletem os dados originais, enquanto as linhas tracejadas e coloridas são a probabilidade média e Intervalos de Confiança (IC95%) gerados pelo modelo linear generalizado do tipo quasibinomial com função de ligação logit.

Em se tratando do modelo de Árvore de Decisão, que visou classificar as diferentes classes de aplicação do Silício com base em características morfoagronômicas e na infestação da cochonilha de escama, a matriz de confusão revelou uma acurácia acima de 90% e um índice taxa de não informação acima de 95%, demonstrando um bom desempenho geral e alta concordância entre previsões e observações. A análise por classe mostrou alta sensibilidade e especificidade, apenas quando foram categorizadas as classes aplicação do silício e controle, houve um baixíssimo desempenho na classificação das doses ou quando se separou as classes dentro das doses e das épocas de aplicação.

Tabela 4 – Métricas de desempenho do modelo de árvores de decisão para categorização de diferentes números de classes iniciais.

Métricas de Desempenho	2 Classes	5 Classes	21 Classes
Acurácia	0.9524	0.1429	0.0476
95% CI	0.7618 - 0.9988	0.0305 - 0.3634	0.0012 - 0.2382
Taxa de Não-Informação	0.9524	0.381	0.1429

4. 4 DISCUSSÃO

As aplicações de silicato de potássio beneficiaram as palmas-forrageiras, especialmente na concentração de 28 mL L⁻¹, que proporcionou maior produtividade de matéria seca (84,78 t ha⁻¹) e menor infestação por cochonilha da escama (55,4%).

O silício após absorção pela planta é depositado principalmente na fronteira da membrana celular e da parede celular (ou seja, o apoplasto), que é o local de interações entre receptores e efetores de pragas e patógenos. Pois, uma vez depositado no apoplasto das plantas ocorre a polimerização de silício nos espaços extracelulares das paredes nas células epidérmicas dos tecidos vegetais e vasos do xilema, formando uma camada dupla de cutícula-sílica (Kaur; Greger, 2019; Islam et al., 2020). Isso acarreta em endurecimento dos tecidos vegetais, ocasionando retardamento na penetração dos insetos nos tecidos do hospedeiro e, assim, aumentando a duração da exposição dos insetos a inimigos naturais (Alhousari; Greger, 2018). Portanto o silício acumulado no espaço apoplástico pode perturbar os estilos de alimentação dos insetos e os efetores liberados, uma vez que, os efetores ficam presos na matriz de silício e, portanto, os insetos são incapazes de reconhecer a planta como um hospedeiro adequado, reduzindo assim as infestações em diferentes espécies de plantas e diferentes insetos-pragas (Coskun et al., 2019; Singh et al., 2020). Além disso, sabe-se a adição de silício pode aumentar a defesa da planta através de mecanismos físicos, moleculares e/ou bioquímicos.

Neste estudo, observou-se que as palmas-forrageiras foram beneficiadas pelas aplicações de silicato de potássio, com destaque para a dose de 28 ml L⁻¹, refletindo-se principalmente em aumento de produtividade de matéria seca e menor infestação de cochonilha de escama. Alguns estudos comprovam esse mecanismo como é demonstrado por Kim et al. (2002), relataram que a penetração de *Pyricularia grisea* em folhas de arroz é dificultada e retardada devido a essa camada dupla. Da mesma forma, a pulverização de silicato de potássio (K₂SiO₃) a uma taxa de 17 mmol L⁻¹ de Si em mudas de videira resultou em uma redução significativa na taxa de penetração de *Uncinula necator* devido à formação de camada de Si na cutícula da folha. A polimerização de K₂SiO₃ em superfícies de folhas de melão, pepino e abóbora também foi estudada por Liang; Römheld (2005) e Menzies et al. (1992), que descobriram que a penetração de *Sphaerotheca fuliginea* foi reduzida devido a essa barreira física. Além do endurecimento dos tecidos vegetais, o silício também ocasiona a formação de fitólitos (deposição de SiO₂ como opalas biogênicas) que promovem o fortalecimento da parede celular. A abrasividade dos tecidos vegetais silicificados ocasiona desgaste das partes bucais dos insetos e reduz a palatabilidade e a digestibilidade, causando uma redução no crescimento e desenvolvimento dos herbívoros (Alhousari; Greger, 2018; Islam et al., 2020).

Semelhantemente à cochonilha de escama, o acúmulo de silício nas plantas diminuiu o desempenho de outros herbívoros, como besouros das folhas, abelhas, gorgulhos, brocas do caule e percevejos verdadeiros (Barnes; Giliomee, 1992; Schaber et al., 1993; King et al., 1998;

Roitberg et al., 2005; Kvedaras et al., 2009). Plantas suplementadas com Si mostram a formação de microestruturas silicificadas que apresentam padrões diferentes e são distribuídas em diferentes tecidos vegetais (Cooke; Leishman, 2011; Hartley, Ekbom, Ågren, 2015; Kumar et al., 2017). A atuação da defesa mecânica nas plantas contra danos causados por insetos é reforçada em outros estudos mais recentes (Dorairaj; Ismail, 2017; Yang et al., 2017; Alhousari; Greger, 2018).

Nossos resultados confirmam alguns estudos que obtiveram aumento de rendimento com aplicações de diferentes formas de silício em diferentes espécies, tais como, em macieiras (Wang et al., 2016; Soppelsa et al., 2018; Świerczyński et al., 2022), figueira (Hussien; Kassem, 2021), abóbora (Salim et al., 2021), pessegueiro (Abidi et al., 2023), sorgo (Abdeen; Mancy, 2018) e milho (Gomaa et al., 2021). No entanto, é importante ressaltar que o efeito do silicato de potássio na produtividade das plantas pode variar de acordo com as condições abióticas e as diferentes suscetibilidades de cada espécie ao fornecimento deste elemento na forma pulverizada na parte aérea (Świerczyński et al., 2022). Informações sobre como esse elemento atua de modo a proporcionar aumento da produtividade das plantas ainda são incertas. Especula-se que ganhos em produtividade estão associados a alterações sutis da atividade metabólica tais como, na fotossíntese e respiração, bem como da otimização do aporte, utilização e absorção de nutrientes pelas plantas, resultando em aumentos de massa, seja em condições normais ou em condições de estresse biótico ou abiótico (Gomaa et al., 2021; Świerczyński et al., 2022).

O aumento da biomassa seca ocasionado pelo silicato de potássio pode ser atribuído a vários motivos, uma vez que o silício atua em vários pontos da planta, um deles pode estar relacionado à assimilação aprimorada de nitrogênio, uma vez que as plantas que receberam aplicações de silicato de potássio na maior dosagem de 28 ml L⁻¹ possam ter acumulado maior quantidade desse nutriente, proporcionando um efeito sinérgico, acarretando no acúmulo de biomassa nas palmas e consequentemente aumentando a produtividade tanto verde como seca (Garg, Dhar, Jinger, 2020).

4. 5 CONCLUSÕES

A época de aplicação do silicato de potássio não altera o crescimento da planta e a infestação do inseto.

A concentração de silicato de potássio de 28 ml L⁻¹ proporciona maiores produtividade de matéria seca (t/ha) bem como os menores índices de infestação do inseto.

Existem evidências que a aplicação de silicato de potássio induz resistência a cochonilha da escama com menor nível de infestação nos cladódios.

REFERÊNCIAS

- ABDEEN, S. A.; MANCY, A. G. A. Ameliorelação SS/ATn of water stress effect on sorghum plant growth and water use efficiency by application of potassium silicate and salicylic acid. **Egyptian Journal of Agricultural Sciences**, v. 69, n. 1, p. 43-52, 2018.
- ABIDI, Walid *et al.* Foliar Fertilization of Potassium Silicon Improved Postharvest Fruit Quality of Peach and Nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] Cultivars. **Agriculture**, v. 13, n. 1, p. 195, 2023.
- ALBUQUERQUE JUNIOR, Paulo de Souza *et al.* Effectiveness of Agave genotype extracts applied alone or mixed with mineral oil against the cactus scale mealybug *Diaspis echinocacti* (Hemiptera: Diaspididae). **Bragantia**, v. 82, p. e20230024, 2023.
- ALHOUSARI, Fadi; GREGER, Maria. Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 33, 2018.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Jaboticabal, FCAV/UNESP. 396p, 2015.
- BARNES, B. N.; GILIOMEE, J. H. Fruit-feeding behaviour of banded fruit weevil, *Phlyctinus callosus* (Schönherr)(Col., Curculionidae), in apple orchards. **Journal of Applied Entomology**, v. 113, n. 1-5, p. 407-415, 1992.
- BAYAR, Nadia; FRIJI, Marwa; KAMMOUN, Radhouane. Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. **Food Chemistry**, v. 241, p. 127-134, 2018.
- BUCK, Guilherme Bossi *et al.* Potassium silicate as foliar spray and rice blast control. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 2, p. 231-237, 2008.
- COOKE, Julia; LEISHMAN, Michelle R. Silicon concentration and leaf longevity: is silicon a player in the leaf dry mass spectrum?. **Functional Ecology**, v. 25, n. 6, p. 1181-1188, 2011.
- COSKUN, Devrim *et al.* The controversies of silicon's role in plant biology. **New Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 67-85, 2019.

CRUZ, Maria Fernanda Antunes da et al. Inducers of resistance and silicon on the activity of defense enzymes in the soybean-*Phakopsora pachyrhizi* interaction. **Bragantia**, v. 72, p. 162-172, 2013.

DE O SOUSA, Valéria F. et al. Growth and gas changes of melon seedlings submitted to water salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 23, n. 2, 2019.

DORAIRAJ, Deivaseeno; ISMAIL, Mohd Razi. Distribution of silicified microstructures, regulation of cinnamyl alcohol dehydrogenase and lodging resistance in silicon and paclobutrazol mediated *Oryza sativa*. **Frontiers in physiology**, v. 8, p. 491, 2017.

EL AALAOUI, Mohamed; SBAGHI, Mohamed. Efficacy of some biorational insecticides against the cactus scale pest *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833)(Hemiptera: Diaspididae) in Morocco. **African & Mediterranean Agricultural Journal**, v. 139, p.21-36, 2023a.

EL AALAOUI, Mohamed; SBAGHI, Mohamed. Potential of parasitoids to control *Diaspis echinocacti* (Bouché) (Hemiptera: Diaspididae) on *Opuntia* spp. cactus pear. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 33, n. 1, p. 57, 2023b.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa/SPI, 1999. 412 p.

FIGUEIREDO, W. R. S. **Resistência de palma-forrageira “in vitro” e “ex vitro” à cochonilha de escama *Diaspis echinocacti* (Hemiptera; Diaspididae) (Bouché, 1833).** 2018. 49 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, 2018.

GARCÍA-CORTÁZAR, V.; NOBEL, P. S. Prediction and measurement of high annual productivity for *Opuntia ficus indica*. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 56, p. 261-272, 1991.

GARG, Kamal; DHAR, Shiva; JINGER, Dinesh. Silicon nutrition in rice (*Oryza sativa* L.)—A review. **Ann Agric Res**, v. 41, p. 221-229, 2020.

GOMAA, M. A. et al. Increase maize productivity and water use efficiency through application of potassium silicate under water stress. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 224, 2021.

GONÇALVES, Glaucia Barretto et al. Óleo de dendê: alternativa para o manejo agroecológico da cochonilha de escamas da palma forrageira *Diaspis echinocacti* (Hemiptera: Diaspididae). **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.

HANDLEY, Richard; EKBOM, Barbara; ÅGREN, Jon. Variation in trichome density and resistance against a specialist insect herbivore in natural populations of *Arabidopsis thaliana*. **Ecological Entomology**, v. 30, n. 3, p. 284-292, 2005.

HUSSEIN, Mohamed Ahmed; KASSEM, Mostafa Saber. Influence of spraying kaolin, silicon and calcium on productivity and quality of Sultani Fig. **Egyptian Journal of Horticulture**, v. 48, n. 1, p. 9-18, 2021.

ISLAM, Waqar et al. Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 168, p. 104641, 2020.

KAUR, Harmanjit; GREGER, Maria. A review on Si uptake and transport system. **Plants**, v. 8, n. 4, p. 81, 2019.

KEDARNATH, K. T. et al. In vitro evaluation of silicon sources against late blight (*Phytophthora infestans*) of tomato. **Int J Sci Nat**, v. 7, n. 4, p. 881-884, 2016.

KIM, Sang Gyu et al. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. **Phytopathology**, v. 92, n. 10, p. 1095-1103, 2002.

KING, B. H.; CROWE, M. L.; BLACKMORE, M. D. Effects of leaf age on oviposition and on offspring fitness in the imported willow leaf beetle *Plagioderia versicolora* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Journal of Insect Behavior**, v. 11, p. 23-36, 1998.

KUMAR, Santosh et al. Mechanism of silica deposition in sorghum silica cells. **New Phytologist**, v. 213, n. 2, p. 791-798, 2017.

KVEDARAS, Olivia L. et al. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 11, n. 3, p. 301-306, 2009.

LACERDA, Cynthia Araujo; DE CASTRO COITINHO, Rodrigo Leandro Braga; DOS SANTOS, Venézio Felipe. Avaliação de produtos alternativos no controle da cochonilha de escama em palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 28, n. 1, 2023.

- LIANG, Y. C. et al. Effects of foliar-and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. **Plant Pathology**, v. 54, n. 5, p. 678-685, 2005.
- LIANG, Yongchao; SI, Jin; RÖMHELD, Volker. Silicon uptake and transport is an active process in *Cucumis sativus*. **New phytologist**, v. 167, n. 3, p. 797-804, 2005.
- LIRA, Emannuella et al. Changes in reserve mobilization caused by salinity could interfere in the initial growth of *Jatropha curcas*. **Sustainability**, v. 13, n. 13, p. 7446, 2021.
- LOPES, Rosineide S. et al. Efficacy of *Libidibia ferrea* var. *ferrea* and *Agave sisalana* extracts against *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Coccoidea). **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 4, p. 255-267, 2018.
- LOPES, Ueder Pedro et al. Effect of foliar application of potassium silicate on the progress of coffee leaf rust. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, p. 547-551, 2013.
- MA, Jian Feng. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil science and plant nutrition**, v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004.
- MARENGO, Jose A. et al. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 C. **Natural Hazards**, v. 103, p. 2589-2611, 2020.
- MARTINS, Minella A. et al. Improving drought management in the Brazilian semiarid through crop forecasting. **Agricultural Systems**, v. 160, p. 21-30, 2018.
- MENEZES, R. S. C.; SIMÕES D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. **A palma do Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. 258p.
- MENZIES, Jim et al. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 117, n. 6, p. 902-905, 1992.
- MORAIS, J. E. F. D.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D. C. D. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 939-947, 2014.
- Nagaratna, W., Kalleshwaraswamy, C.M., Dhananjaya, B.C. et al. Effect of Silicon and Plant Growth Regulators on the Biology and Fitness of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, a

Recently Invaded Pest of Maize in India. **Silicon** 14, 783–793 (2022).
<https://doi.org/10.1007/s12633-020-00901-8>

PILON, Cristiane et al. Foliar or soil applications of silicon alleviate water-deficit stress of potato plants. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 6, p. 2325-2334, 2014.

PINHEIRO, K. M.; SILVA, T. G. F. D.; CARVALHO, H. F. D. S.; SANTOS, J. E. O.;

PRĂVĂLIE, Remus et al. Recent changes in global drylands: Evidences from two major aridity databases. **Catena**, v. 178, p. 209-231, 2019.

RAMDANI, Chaimae et al. Field and laboratory evaluations of different botanical insecticides for the control of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) on cactus pear in Morocco. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 41, p. 1623-1632, 2021.

REZENDE, D. C. et al. Effect of root and foliar applications of silicon on brown spot development in rice. **Australasian plant pathology**, v. 38, n. 1, p. 67-73, 2009.

RODRIGUES, F. A. et al. Foliar application of potassium silicate reduces the intensity of soybean rust. *Australasian Plant Pathology*, v. 38, n. 4, p. 366-372, 2009.

ROITBERG, Bernard D. et al. The cost of being an omnivore: mandible wear from plant feeding in a true bug. **Naturwissenschaften**, v. 92, p. 431-434, 2005.

SALIM, B. B. M. *et al.* Impact of silicon foliar application in enhancing antioxidants, growth, flowering and yield of squash plants under deficit irrigation condition. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 66, n. 2, p. 176-183, 2021.

SATTAR, Abdul et al. Physiological and biochemical attributes of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings are influenced by foliar application of silicon and selenium under water deficit. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 41, p. 1-11, 2019.

SINGH, Archana et al. Silicon: its ameliorative effect on plant defense against herbivory. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 21, p. 6730-6743, 2020.

SOPPELSA, Sebastian *et al.* Use of biostimulants for organic apple production: Effects on tree growth, yield, and fruit quality at harvest and during storage. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 1342, 2018.

STOUT, M. J.; RIGGIO, M. R.; YANG, Y. Direct induced resistance in *Oryza sativa* to *Spodoptera frugiperda*. **Environmental entomology**, v. 38, n. 4, p. 1174-1181, 2009.

SUDENE. Pacto Nordeste: ações estratégicas para um salto do desenvolvimento regional. Recife: SUDENE, 1996. 77 p.

ŚWIERCZYŃSKI, Sławomir; ZYDLIK, Zofia; KLEIBER, Tomasz. The Influence of Foliar Nutrition of Apple Trees with Silicon on Growth and Yield as Well as Mineral Content in Leaves and Fruits. **Agronomy**, v. 12, n. 7, p. 1680, 2022.

VERMA, Krishan K. *et al.* Silicon supply improves leaf gas exchange, antioxidant defense system and growth in *Saccharum officinarum* responsive to water limitation. **Plants**, v. 9, n. 8, p. 1032, 2020.

WANG, Yong *et al.* Chlorophyll fluorescence in leaves of *Ficus tikoua* under arsenic stress. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 97, p. 576-581, 2016.

YANG, Lang *et al.* Silicon amendment is involved in the induction of plant defense responses to a phloem feeder. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 4232, 2017.

ZAMOJSKA, Joanna *et al.* The influence of foliar application of silicon on insect damage and disease occurrence in field trials. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 27, p. 3300-3305, 2018.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstram a eficácia do controle químico e nutricional no manejo de *Diaspis echinocacti* em *Opuntia stricta* Haw.

Todos os inseticidas testados apresentaram maior taxa de mortalidade nas concentrações mais elevadas, com destaque para o produto à base de Acetamiprido e Fenpropatrina, que se mostrou o mais eficiente no controle da praga.

O inseticida Espinetoram, embora ligeiramente menos eficaz em taxa de mortalidade, apresentou o menor tempo letal mediano, sendo uma alternativa viável para intervenções rápidas. A Azadiractina também demonstrou toxicidade contra o inseto, com ação mais prolongada, representando uma opção promissora para sistemas de cultivo orgânico. Por outro lado, o Teflubenzurom foi o inseticida com ação mais lenta entre os avaliados.

Complementarmente, a aplicação de silicato de potássio na concentração de 28 mL L⁻¹ promoveu benefícios agronômicos importantes, como o aumento no número e na biomassa de cladódios, no índice de área do cladódio e na produtividade total da planta. Além disso, o silicato induziu resistência à cochonilha-de-escama, resultando em níveis significativamente menores de infestação.

Esses achados indicam que o uso integrado de estratégias químicas e nutricionais pode ser uma abordagem eficaz no manejo de *D. echinocacti*, contribuindo tanto para o controle da praga quanto para o aumento da produtividade da palma forrageira em sistemas de produção do Semiárido.