



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

JOÃO VITOR SOARES MORAIS

**POPULAÇÃO DE *Aphis craccivora* (Hemiptera: Aphididae) EM GENÓTIPOS DE
FEIJÃO *Vigna unguiculata* (Fabaceae) E A APLICAÇÃO DE SILÍCIO NA
INTERAÇÃO INSETO-PLANTA**

Bom Jesus – PI

2025

JOÃO VITOR SOARES MORAIS

**POPULAÇÃO DE *Aphis craccivora* (Hemiptera: Aphididae) EM GENÓTIPOS DE
FEIJÃO *Vigna unguiculata* (Fabaceae) E A APLICAÇÃO DE SILÍCIO NA
INTERAÇÃO INSETO-PLANTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - PPGCA, Campus Professora Cinobelina Elvas - CPCE, da Universidade Federal do Piauí - UFPI, na área de concentração Produção Vegetal, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Barboza Silva

Bom Jesus – PI

2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Campus Professora Cinobelina Elvas
Serviço de Processos Técnicos

M828p Moraes, João Vitor Soares.
 População de *Aphis craccivora* (Hemiptera: Aphididae) em
 genótipos de feijão *Vigna unguiculata* (Fabaceae) e a aplicação de
 silício na interação inseto-planta / João Vitor Soares Moraes. – 2025.
 52 f. : il. color.

 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Campus
 Professora Cinobelina Elvas, Programa de Pós-Graduação em
 Ciências Agrárias - PPGCA, Bom Jesus, 2025.
 “Orientadora: Profa. Dra. Luciana Barboza Silva.”

 1. Interação inseto-planta. 2. Resistência induzida. 3. Adubação
 silicatada. 4. Afídeo. I. Silva, Luciana Barboza. II. Título.

CDD 595.781

Bibliotecário: Gésio dos Santos Barros - CRB3/1469

JOÃO VITOR SOARES MORAIS

**POPULAÇÃO DE *Aphis craccivora* (Hemiptera: Aphididae) EM GENÓTIPOS DE
FEIJÃO *Vigna unguiculata* (Fabaceae) E A APLICAÇÃO DE SILÍCIO NA
INTERAÇÃO INSETO-PLANTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - PPGCA, do Campus Professora Cinobelina Elvas - CPCE, da Universidade Federal do Piauí - UFPI, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Área de concentração: Produção Vegetal.

Linha de Pesquisa: Proteção de Plantas.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Barboza Silva.

Aprovada em: 28 de janeiro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Luciana Barboza Silva (UFPI)
Orientadora

Profa. Dra. Luciane Modenez Saldivar Xavier (IFB)
Examinadora Externa ao Programa

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira (IFGOIANO)
Examinador Externo ao Programa

Prof. Dr. Jenilton Gomes da Cunha (UNIVASF)
Examinador Externo ao Programa

Aos meus pais pelo esforço e dedicação para que eu pudesse estar no curso, a minha orientadora Prof^a. Dr^a. Luciana Barboza por todo o ensinamento, aos meus amigos do laboratório, as minhas amigas que me residiam comigo e aos amigos e companheiro que contribuíram para a realização deste trabalho.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A meus pais Francisca e Raimundo que me incentivaram e apoiaram durante toda a minha jornada acadêmica e meus avós maternos que sempre cuidaram de mim e demais familiares.

As minhas amigas que residiam comigo: Maria Helena, Paula Nascimento e Helane Severo pelos bons e maus momentos que passamos juntos ao longo do curso. Aos meus amigos e colegas do grupo de pesquisa EPMIP: Thayline Rodrigues, Sara dos Santos, Ana Clara Moura, Alisson Feitosa, Ismael Ribeiro, Rayllane Marques, Welder Ribeiro, Maria Carolina, Gilvana Ribeiro, Daniel Marques, João Pedro Vaz, Kauan da Silva, Maria da Conceição, Olávio Rufino e Fernanda Leite que acompanham minha trajetória ao longo do percurso do mestrado, compartilhando comigo inúmeros momentos de aprendizagem, alegria e apoio. Ao Lucas Martins, por todo o apoio e incentivo, pois sem ele não teria chegado aonde cheguei.

Aos meus amigos de infância e escola, aos que fiz no atletismo e aos que conheci ao longo da vida que me incentivam a estudar e que troco boas risadas.

Aos docentes do programa de Pós-graduação por todo o aprendizado que pude ter e desenvolver durante esta fase, foram essenciais para minha formação acadêmica, em especial a orientadora Prof^a. Dr^a. Luciana Barboza, que acreditou no meu potencial e confiou em mim para desenvolver esse trabalho.

A todos os colegas que auxiliaram durante a realização dos experimentos, aos funcionários da UFPI que sempre se dispuseram a nos ajudar, a direção do UFPI e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fornecimento de bolsa, o meu muito obrigado.

A todos os familiares, amigos e colegas que torceram pelas minhas vitórias e conquistas.

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp., Fabaceae) é uma cultura essencial para a alimentação e a economia das regiões Norte e Nordeste do Brasil. Contudo, sua produção é impactada por pragas como o pulgão-preto, *Aphis craccivora* Koch, 1854, (Hemiptera: Aphididae), que causam danos diretos pela sucção da seiva e indiretos pela transmissão de viroses. O uso de inseticidas é amplamente empregado no controle dessa praga, mas pode gerar impactos ambientais e resistência em populações do inseto. Nesse contexto, o silício (Si) surge como uma alternativa sustentável, promovendo resistência a estresses bióticos e abióticos por meio do fortalecimento das estruturas vegetais e da indução de defesas bioquímicas. Este estudo avaliou a influência da adubação com fontes de Si na preferência e suscetibilidade do feijão-caupi crioulo ao ataque de *A. craccivora*, investigando seu potencial como ferramenta no manejo integrado de pragas. A pesquisa foi realizada em casa de vegetação e laboratório, com experimentos organizados em três bioensaios. O primeiro avaliou a preferência de *A. craccivora* entre oito genótipos de feijão-caupi. O segundo analisou a influência da adubação com Si na preferência do inseto por dois genótipos (crioulo e BRS Novaera). O terceiro verificou a suscetibilidade do feijão-caupi crioulo adubado com e sem as fontes de silício sob herbivoria do pulgão-preto ao longo de 4 semanas. As fontes de Si utilizadas foram biocarvão de casca de arroz e silício comercial, além de um controle (sem Si). Os parâmetros avaliados incluíram população de pulgões, dano as mudas, níveis de clorofila e acúmulo de Si nas plantas. Os dados foram analisados por ANOVA e teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Os resultados mostraram que a aplicação de Si não reduziu significativamente as populações de *A. craccivora*. Embora o genótipo crioulo tenha acumulado mais Si, isso não resultou em maior resistência à praga. A análise de correlação indicou relação positiva entre número de adultos e ninfas, e uma correlação negativa entre acúmulo de Si e níveis de clorofila, sugerindo respostas fisiológicas ao estresse. O nível populacional do pulgão aumentou progressivamente ao longo do tempo, atingindo seu pico na terceira semana. O feijão-caupi crioulo demonstrou ser suscetível a herbivoria de *A. craccivora*, e o silício, nas condições avaliadas, não se mostrou eficaz como estratégia prática de mitigação dos danos causados pela herbivoria. Apesar de suas propriedades benéficas, o Si não induziu defesas efetivas no feijão-caupi, apontando para a necessidade de estudos adicionais para explorar melhor seu potencial no manejo de pragas.

Palavras-chave: Adubação silicatada, Afídeo, Interação inseto-planta, Resistência induzida.

ABSTRACT

Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp., Fabaceae) is an essential crop for the diet and economy of the North and Northeast regions of Brazil. However, its production is impacted by pests such as the black aphid, *Aphis craccivora* Koch, 1854 (Hemiptera: Aphididae), which causes direct damage by sap-sucking and indirect damage through virus transmission. The use of insecticides is widely employed to control this pest but can lead to environmental impacts and resistance in insect populations. In this context, silicon (Si) emerges as a sustainable alternative, promoting resistance to biotic and abiotic stresses by strengthening plant structures and inducing biochemical defenses. This study evaluated the influence of fertilization with Si sources on the preference and susceptibility of landrace cowpea to *A. craccivora* attack, investigating its potential as a tool for integrated pest management. The research was conducted in a climate-controlled greenhouse and laboratory, with experiments organized into three bioassays. The first assessed the preference of *A. craccivora* among eight cowpea genotypes. The second analyzed the influence of Si fertilization on the insect's preference for two genotypes (landrace and BRS Novaera). The third examined the susceptibility of landrace cowpea, fertilized with and without silicon sources, under black aphid herbivory over four weeks. The Si sources used were rice husk biochar and commercial silicon, along with a control treatment (without Si). The evaluated parameters included aphid population, seedling damage, chlorophyll levels, and Si accumulation in plants. Data were analyzed using ANOVA and Tukey's test ($p \leq 0.05$). The results showed that Si application did not significantly reduce *A. craccivora* populations. Although the landrace genotype accumulated more Si, this did not result in greater resistance to the pest. Correlation analysis indicated a positive relationship between the number of adults and nymphs and a negative correlation between Si accumulation and chlorophyll levels, suggesting physiological stress responses. The aphid population level progressively increased over time, peaking in the third week. Landrace cowpea proved to be susceptible to *A. craccivora* herbivory, and silicon, under the evaluated conditions, was not effective as a practical strategy for mitigating herbivory damage. Despite its beneficial properties, Si did not induce effective defenses in cowpea, highlighting the need for further studies to better explore its potential in pest management.

Keywords: Aphid, Induced resistance, Insect-plant interaction, Silicon fertilization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Registro de alta densidade de pulgão-preto na vargem e folha de feijão-caupi, em diferentes instares e durante alimentação.....	16
Figura 2 - Plantas de feijão-caupi afetadas por herbivoria do pulgão-preto.....	18
Figura 3 - Registro do tratamento de sementes com fungicida e plantas de feijão-caupi após infestação por pulgão-preto.....	27
Figura 4 - Germinação de sementes de feijão-caupi, mensuração de pigmentos fotossintéticos e preparo das amostras para mensuração dos teores de silício.....	29
Figura 5 - Germinação de sementes de feijão-caupi, transferência dos pulgões-pretos para as plantas de feijão-caupi crioulo e aparelho ClorofiLOG.....	30
Figura 6 - Preferência alimentar do pulgão-preto em variedades de feijão-caupi.....	32
Figura 7 - Número de adultos em 2 dias, número de ninfas em 4 dias, relação ninfa/adultos e acúmulo de silício em variedades de feijão-caupi cultivadas com diferentes fontes de Si e submetidas à herbivoria por pulgão-preto.....	33
Figura 8 - Teores de clorofila de variedades de feijão-caupi cultivadas com diferentes fontes de Si antes e após a infestação por pulgão-preto.....	34
Figura 9 - Número de adultos em 2 dias, número de ninfas em 4 dias, relação ninfa/adultos e acúmulo de silício em feijão-caupi cultivado com diferentes fontes de Si e submetido à herbivoria por pulgão-preto.....	35
Figura 10 - Teores de clorofila de variedade de feijão-caupi cultivadas com diferentes fontes de Si antes e após a infestação por pulgão-preto.....	36
Figura 11 - Teores iniciais de clorofila b nos estágios iniciais de variedades de feijão-caupi..	37
Figura 12 - Matriz de correlação de Pearson.....	38
Figura 13 - Teores de clorofila a, clorofila b, clorofila total, nível populacional e danos as mudas de feijão-caupi avaliadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após infestação por pulgão-preto.....	39
Figura 14 - Teores de clorofila a, clorofila b, clorofila total, nível populacional e danos as plantas de feijão-caupi cultivadas com diferentes fontes de silício e submetidas à herbivoria por pulgão-preto.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química e granulométrica do solo utilizado no experimento.....	25
Tabela 2 - Caracterização química da casca de arroz como fonte de silício utilizado no experimento.....	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1	O feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp).....	13
2.2	Fatores que afetam a produção do feijão-caupi.....	14
2.3	Aspectos biológicos do pulgão-preto (<i>Aphis craccivora</i> Koch, 1854).....	15
2.4	Interação inseto-planta.....	18
2.4.1	Tipo de resistências em plantas.....	19
2.5	Aspectos gerais sobre o silício no desenvolvimento de plantas.....	20
2.5.1	O silício na agricultura.....	21
2.6	A casca de arroz como fonte de silício.....	22
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1	Local do experimento.....	24
3.2	Material vegetal.....	24
3.3	Análise do solo.....	24
3.4	Produção e caracterização do biocarvão.....	25
3.5	Criação e manutenção da população de pulgão-preto.....	26
3.5.1	Padronização etária dos pulgões.....	26
3.6	Bioensaios 1: preferência entre cultivares de <i>V. unguiculata</i>	26
3.7	Bioensaio 2: preferência de <i>A. craccivora</i> a <i>V. unguiculata</i> em regime de adubação com silício.....	28
3.8	Bioensaio 3: suscetibilidade de <i>V. unguiculata</i> (crioula) adubada com Si a <i>A. craccivora</i> ao longo do tempo.....	29
3.9	Análise estatística.....	31
4	RESULTADOS.....	32
5	DISCUSSÃO.....	41
6	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp., Fabaceae) ocupa uma posição de destaque na cultura agrícola brasileira, sendo altamente valorizado por suas contribuições nutricionais e econômicas. O cultivo dessa leguminosa é majoritariamente realizado por pequenos agricultores das regiões Norte e Nordeste do Brasil, desempenhando um papel essencial na segurança alimentar e no sustento de comunidades rurais (Lima; Silva; Iwata, 2019). Em muitos casos, esses agricultores utilizam sementes criola, prática comum que contribui para a preservação da biodiversidade e mantém características adaptativas importantes dessas plantas (Puneeth *et al.*, 2024).

Apesar de sua importância, o cultivo do feijão-caupi enfrenta desafios consideráveis, incluindo pragas e doenças. Entre as principais pragas destaca-se o pulgão-preto (*Aphis craccivora* Koch, 1854, Hemiptera: Aphididae), um dos primeiros insetos a atacar as plantas em condições de campo, causando impactos significativos. Os danos provocados pelo afídeo podem ser diretos, como a sucção da seiva, ou indiretos, pela transmissão de patógenos (Silva *et al.*, 2019).

O controle do *A. craccivora* é dificultado pela sua alta capacidade reprodutiva em curtos períodos, o que exige medidas de manejo constantes. Embora o controle químico seja amplamente utilizado, ele pode causar contaminação ambiental, afetar organismos benéficos, como polinizadores, e favorecer a seleção de populações resistentes (Sayed *et al.*, 2020).

Nesse contexto, o manejo integrado de pragas (MIP) surge como uma abordagem que combina estratégias variadas para reduzir a dependência de inseticidas químicos. Entre essas estratégias, destaca-se o controle varietal, com o uso de genótipos resistentes, e o controle cultural, que envolve práticas agrícolas voltadas para a minimização da ocorrência de pragas, incluindo a indução de resistência.

O silício (Si), embora não seja considerado um elemento essencial para as plantas, desempenha funções benéficas, como a indução de resistência a estresses bióticos e abióticos. Esse elemento fortalece estruturas físicas, como paredes celulares, e estimula defesas bioquímicas, contribuindo para a proteção contra pragas e doenças. O Si é amplamente encontrado na natureza em fontes inorgânicas, mas também pode ser obtido de fontes orgânicas, como a casca de arroz, um subproduto agrícola abundante que oferece possibilidades acessíveis para uso na agricultura.

A suplementação de Si por meio da casca de arroz pode impactar positivamente o desempenho de sementes crioula de feijão-caupi, promovendo maior resistência a estresses ambientais, doenças e pragas, além de melhorar o crescimento e a produção de grãos (Kovács; Kutasy; Csajbók, 2022). O biocarvão, material produzido a partir da pirólise da biomassa vegetal, produzido a partir da casca de arroz como fonte de silício emerge, portanto, como uma solução promissora para superar os desafios de produção enfrentados por agricultores dessa cultura, especialmente no manejo de pragas.

Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da adubação com biocarvão de casca de arroz como fonte de silício na interação entre o feijão-caupi crioulo (*Vigna unguiculata*) e o pulgão-preto (*Aphis craccivora*), considerando a preferência do inseto por diferentes genótipos e o impacto do silício na redução da infestação pelo fortalecimento das plantas. O estudo busca, assim, propor alternativas sustentáveis para o manejo integrado de pragas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

O feijão-caupi está classificado no grupo dicotiledônea pertencente à família Fabaceae no gênero *Vigna* (Freire Filho *et al.*, 2011). O *V. unguiculata* apresenta grande variabilidade genética dentro da espécie e entre as espécies silvestres mais próximas geneticamente, é conhecido popularmente como feijão-frade, feijão-fradinho, feijão-miúdo, feijão-caupi, feijão-de-corda ou feijão-macáçar sua domesticação foi resultado de extensas pesquisas ao longo dos anos (Freire Filho *et al.*, 2011; Narayana; Angamuthu, 2020).

Podendo ser encontrado nas regiões tropicais e subtropicais, o gênero *Vigna* possui ampla distribuição mundial, mas tendo o oeste da África Central como o centro de origem e diversidade para a espécie *V. unguiculata*. Sua introdução no Brasil ocorreu por volta do século XVI pelos portugueses pelo estado da Bahia. E a partir de então passou a ser difundido pela região do Nordeste e demais regiões (Freire Filho *et al.*, 2011; Motta, 2022).

Segundo Snak (2025), atualmente no Brasil há uma grande variedade de feijões encontrados no país, destaca-se o gênero *Vigna* que compreende cerca de 14 espécies dessa leguminosa. O feijão do gênero *Vigna* da espécie *unguiculata* é uma cultura de fácil adaptação em solos com pouca água e baixa fertilidade e em regiões áridas e semiáridas (Coelho *et al.*, 2013; Motta, 2022).

O feijão-caupi nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, é uma das principais alternativas sociais e econômicas de abastecimento alimentar e geração de renda. Por ser uma excelente fonte de proteínas, aminoácidos, vitaminas, minerais e carboidratos, o grão acabou por se tornar um alimento básico para a população mais pobre, satisfazendo as necessidades alimentares desta camada e desempenhando assim um papel social face às dificuldades enfrentadas pela população (Teixeira; May; Santana, 2005; Silva; Rocha; Menezes Júnior, 2016).

O mercado para esta cultura oferece preços competitivos, criando oportunidades favoráveis de crescimento e tornando-a uma opção viável tanto para os pequenos agricultores como para os grandes agricultores (Sousa, 2020). A produção de feijão-caupi nas regiões Nordeste e Norte é responsável por 75 % da produção no território nacional, no entanto é realizada por comerciantes e agricultores familiares que ainda fazem uso de práticas tradicionais e muitas vezes cultivam sementes crioulas, sendo assim está alinhado ao consumo da população

dessas regiões (Chemim, 2022). Nas regiões central e oeste do Brasil, o feijão-caupi é plantado em larga escala desde 2006, por grandes e médios empresários engajados na agricultura de alta tecnologia (Freire Filho *et al.*, 2011; Silva; Rocha; Menezes Júnior, 2016).

Sendo assim, o mercado global de produção de grãos de feijão fez com que a Índia com 13.006.503 ha seja o maior produtor do mundo, e o Myanmar com 3.349.107 ha alcançado o segundo lugar, logo após vem o Brasil com 2.686.870 ha ocupando o terceiro lugar, tornando-se os maiores consumidores desse grão (Fao, 2020; Faostat, 2021).

No Brasil, a média da produção de grãos em 2022 tanto por pequenos, médios e grandes agricultores, foi de 702 kg ha em área 1.282,100 ha plantada (CONAB, 2022; Chemim, 2022). Atualmente, os estados brasileiros que tiveram maior produção de feijão-caupi foram a Bahia com 113.500 toneladas, Ceará 103.500 t, Tocantins 96.700 t, Mato Grosso 75.700 t, Pernambuco 32.100 t, Maranhão 26.900 t e Paraíba 19.300 t na safra de 2021/2022 (CONAB, 2022).

2.2 Fatores que afetam a produção do feijão-caupi

Boa parte da produção de feijão-caupi concentra-se nas áreas semiáridas do Nordeste brasileiro, onde predomina a irregularidade das chuvas e altas temperaturas. Embora alguns autores considerem o feijão-caupi adaptado à seca, a escassez ou o excesso de água pode comprometer diretamente o desenvolvimento das plantas e afetar o processo de fixação biológica do nitrogênio, reduzindo, assim, a produção (Freire Filho *et al.*, 2011).

A deficiência hídrica, contudo, não afeta apenas o feijão-caupi, mas exerce influência em praticamente todos os aspectos do desenvolvimento vegetal, afetando diversas culturas. Seus danos variam de acordo com a duração, intensidade, frequência, época de ocorrência e o tipo de cultivar utilizada (DaMatta, 2007).

Além disso, outros fatores podem comprometer a produção final, como características específicas das cultivares, ciclos longos para colheita de grãos secos, suscetibilidade a viroses e o uso de sementes não melhoradas (Santos; Santos; Rodrigues, 2007).

Entre os fatores mais prejudiciais à produção de feijão-caupi está o ataque de pragas. Dentre as principais pragas que afetam essa cultura estão: o pulgão-preto (*Aphis craccivora* Koch, 1854, Hemiptera: Aphididae), a cigarrinha-verde (*Empoasca kraemeri* Ross & Moore, 1957, Hemiptera: Cicadellidae), o percevejo *Nezara viridula* (Linnaeus, 1758, Hemiptera:

Pentatomidae), o manhoso (*Chalcodermus bimaculatus* Boheman, 1839, Coleoptera: Curculionidae), *Crinocerus sanctus* (Fabricius, 1794, Coleoptera: Curculionidae) e além do gorgulho *Callosobruchus maculatus* (Fabricius, 1775, Coleoptera: Chrysomelidae), que ataca grãos armazenados (Silva, 2017).

O pulgão-preto é considerado uma praga-chave dessa cultura, causando danos diretos por meio da sucção da seiva e indiretos pela transmissão de viroses. Devido ao seu elevado potencial reprodutivo, *A. craccivora* é uma praga de difícil controle, agravada por sua capacidade de reprodução assexuada, o que facilita a seleção para resistência a inseticidas (Muñiz; Peña-Martínez, 1992). Essa resistência é transmitida para as gerações subsequentes, aumentando a dificuldade de controle.

No Brasil, atualmente existem seis produtos registrados para o controle de *A. craccivora* em feijão-caupi, todos com o mesmo princípio ativo, o imidacloprido (AGROFIT, 2025). O uso exclusivo desse composto torna o manejo químico limitado, favorecendo a seleção de populações resistentes e reduzindo a eficiência do controle. Além disso, a dependência de inseticidas pode trazer impactos negativos ao meio ambiente e à biodiversidade.

2.3 Aspectos biológicos do pulgão-preto (*Aphis craccivora* Koch, 1854).

Os pulgões são pequenos insetos que medem, em média, 2 mm de comprimento, pertencentes à ordem Hemiptera e à família Aphididae. Existem cerca de 5.109 espécies reconhecidas mundialmente (Gibson, 2023). Assim como outros hemípteros, os pulgões possuem um bico articulado, formado por peças bucais especializadas para perfuração e sugação, com uma alimentação baseada exclusivamente em plantas. Esses insetos se alimentam de produtos fotoassimilados que circulam no floema, sendo conhecidos como "sugadores" ou "fluidófagos". Sua presença é notável devido à formação de densas populações (Figura 1), constituídas por indivíduos em diferentes fases de desenvolvimento, e à produção de "honeydew", uma substância açucarada excretada durante a alimentação (Peña-Martínez *et al.*, 2017).



Figura 1 - Registro de alta densidade de pulgão-preto na vargem (a) e na folha (b) de feijão-caupi. Pulgão-preto em diferentes instares (c) e ninfa de pulgão-preto (d) se alimentado. Em d, o círculo vermelho destaca a inserção do bico articulado no tecido vegetal.

Os pulgões possuem corpo ovalado (Figura 1c), sinfúnculos (apêndices laterais no abdômen), codícula (apêndice central), antenas com cinco ou seis segmentos, tarsos onde o primeiro segmento é mais curto que o segundo, e uma cauda utilizada para expelir o *honeydew* (Blackman; Eastop, 2007). Apresentam comportamento polífago e são capazes de se reproduzir tanto sexuada quanto assexuadamente, com ciclos de vida complexos (Williams; Dixon, 2007). No Brasil, as condições climáticas favorecem sua reprodução por partenogênese telítoca, na qual fêmeas produzem ninfas fêmeas. As ninfas passam por quatro instares e atingem a fase adulta em cerca de 3 a 5 dias, vivendo por aproximadamente 15 dias e produzindo descendentes diariamente (Muñiz; Peña-Martínez, 1992).

Fatores ambientais influenciam a distribuição e a ocorrência de pulgões. O desenvolvimento de asas pode ser estimulado por baixas temperaturas, aumentando a fecundidade e favorecendo a dispersão dos indivíduos alados (Bale; Ponder; Pritchard, 2007). Um estudo de Kuo (1999) indicou que altas densidades populacionais também favorecem a produção de descendentes alados. Outros fatores, como o fotoperíodo e a qualidade nutricional da planta hospedeira, também afetam esse processo (Deem *et al.*, 2024).

O feijão-caupi é uma das leguminosas mais atacadas por *A. craccivora*, sendo uma das primeiras pragas a se estabelecer após a instalação da cultura. Ninfas e adultos atacam brotos terminais e pecíolos das folhas, alimentando-se da seiva e provocando deformações e atrasos no desenvolvimento das plantas (Figura 2). Em infestações severas, o ataque pode levar à morte de plantas jovens ou causar distorções foliares devido às toxinas secretadas, nanismo, atrasos na floração e redução da produção de frutos (Silva, 2016).

Os pulgões também causam danos indiretos ao disseminar cerca de 30 vírus (Quiros; Emmen, 2006), incluindo o *Cowpea aphid-borne mosaic virus* (CABMV), importante em leguminosas como o feijão-caupi; o *Groundnut rosette virus* (GRV), grave em culturas como o amendoim; e o *Cucumber mosaic virus* (CMV), que afeta várias culturas hortícolas. A contaminação pode ocorrer por meio de picadas de insetos infectados. Além disso, o *honeydew* excretado pelos pulgões favorece o desenvolvimento de fumagina, que forma uma camada na superfície foliar (Figura 2d), dificultando a fotossíntese (Silva; Carneiro; Quinderé, 2005; Silva, 2016).

A importância dos pulgões como pragas agrícolas e vetores de fitopatógenos é intensificada pelo manejo inadequado dos agroecossistemas, como o uso extensivo de monoculturas e defensivos químicos, que favorecem o desenvolvimento de resistência, a morte de inimigos naturais e impactos negativos ao ambiente e à saúde humana (Peña-Martínez *et al.*, 2017).

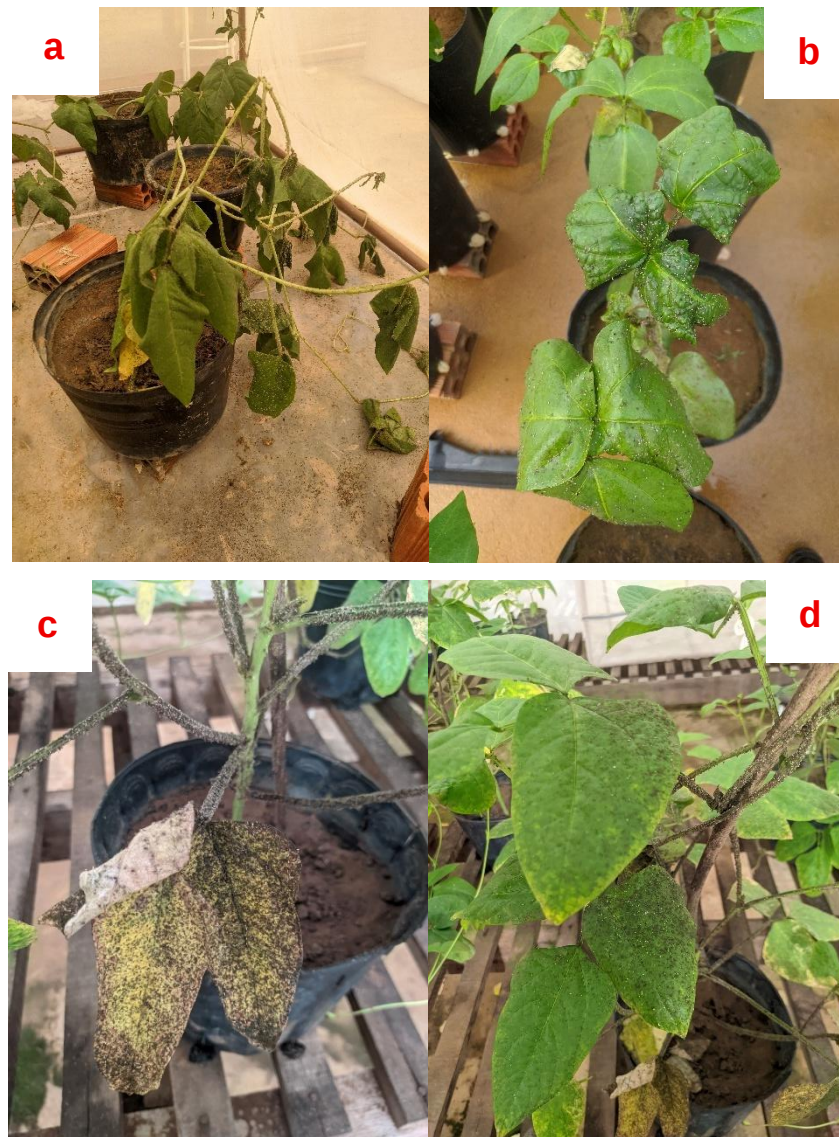


Figura 2 - Plantas de feijão-caupi enfraquecidas devido a herbivoria do pulgão-preto (a). Folha de feijão-caupi encarquilhada e com presença de honeydew (b); e presença de fumagina em planta de feijão-caupi (c, d).

2.4 Interação inseto-planta

Como forma de controlar *A. craccivora*, destacam-se o controle químico e o uso de plantas resistentes, que também podem limitar a propagação de vírus transmitidos pelo afídeo. Contudo, poucos produtos químicos estão registrados para o manejo de *A. craccivora* na cultura do feijão-caupi (AGROFIT, 2025). O uso inadequado de defensivos químicos pode causar uma

série de problemas, como desequilíbrios ambientais, contaminação de alimentos e desenvolvimento de resistência em populações de insetos.

Bata; Singh; Landeinde (1987) avaliaram três variedades resistentes a *A. craccivora*. Após a obtenção das populações F1, F2 e F3, verificaram que a resistência era controlada por um único gene dominante, ao qual atribuíram o símbolo *Rac* (resistência a *Aphis craccivora*). Já Pathak (1988), ao estudar quatro variedades, observou que a resistência encontrada nas plantas era conferida por dois genes não-alélicos e independentes, identificados como *Rac1* e *Rac2*. Essas descobertas foram fundamentais para os programas de melhoramento genético, promovendo o desenvolvimento de cultivares resistentes ao pulgão e ampliando as alternativas para o manejo dessa praga.

Os mecanismos de defesa que as plantas expressam contra o ataque de insetos podem ser classificados como diretos e indiretos. O primeiro tipo de defesa afeta diretamente o ciclo de vida do inseto, enquanto o segundo atua indiretamente, favorecendo o controle do herbívoro por meio da atração de inimigos naturais, estimulada pela emissão de compostos voláteis (Gallo *et al.*, 2002).

2.4.1 Tipo de resistências em plantas

As plantas podem expressar três principais mecanismos de resistência a insetos: antibiose, antixenose (ou não-preferência) e tolerância.

A antibiose ocorre quando a planta exerce efeitos adversos sobre a biologia do artrópode, influenciando parâmetros como oviposição, fertilidade, tempo de desenvolvimento, mortalidade na fase imatura, redução do tamanho ou peso dos indivíduos e diminuição da fecundidade (Gallo *et al.*, 2002).

A antixenose, por sua vez, está relacionada à não-preferência dos artrópodes por plantas resistentes. Esse mecanismo resulta de fatores morfológicos ou químicos na planta que afetam negativamente o comportamento dos insetos, levando à aceitação retardada ou até a rejeição total da planta como hospedeira para alimentação, oviposição ou abrigo (Boiça Júnior *et al.*, 2015).

A tolerância é caracterizada por um conjunto de características genéticas que permitem à planta resistir ou se recuperar de danos causados por pragas. Diferentemente da antibiose e da antixenose, a tolerância não impacta diretamente o crescimento ou a sobrevivência das pragas,

mas reduz os prejuízos causados às plantas em comparação a variedades não-tolerantes (Boiça Júnior *et al.*, 2015).

2.5 Aspectos gerais sobre o silício no desenvolvimento de plantas

Sendo o segundo elemento mais abundante da Terra, o silício (Si) é superado apenas pelo oxigênio. Ele compõe principalmente areias, quartzo, caulinita, micas, feldspatos e outros argilominerais silicatados, sendo encontrado na forma de mineral inerte. O silício também pode ser proveniente da decomposição de resíduos vegetais, da transformação de compostos minerais no solo e da aplicação de fertilizantes silicatados (Meena *et al.*, 2013).

O entendimento dos mecanismos de ação do Si nas plantas é complexo. Embora esse elemento não atenda aos critérios de essencialidade direta ou indireta, ele está presente nos solos e é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) (Ranjan *et al.*, 2021).

A absorção do Si ocorre pelo sistema radicular, sendo transportado pelas rotas simplástica e apoplástica, por difusão ativa ou através de canais de água (fluxo de massa). A forma como as plantas realizam essa absorção varia entre as espécies. Após ser absorvido, o silício é transportado pelo xilema e distribuído nos tecidos da planta, acumulando-se nas paredes celulares sob a forma de sílica amorfa hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (Basu; Kumar, 2021).

A deposição inicial de Si ocorre no retículo endoplasmático, nas paredes celulares e nos espaços intercelulares, formando sílica amorfa hidratada. O acúmulo de Si tende a ser maior nos tecidos mais velhos da planta, como caules e folhas, particularmente nas paredes celulares da epiderme (Dechen; Nachtigall, 2007; Coskun *et al.*, 2018).

As plantas variam em sua capacidade de absorver silício e podem ser classificadas em três categorias: acumuladoras (entre 100 a 150 g kg⁻¹ de Si), intermediárias (10 a 50 g kg⁻¹ de Si) e não acumuladoras (abaixo de 5 g kg⁻¹ de Si). Em geral, as monocotiledôneas acumulam mais silício do que as dicotiledôneas (Castro, Crusciol 2013; Coskun *et al.*, 2018).

Entre as plantas acumuladoras estão o arroz, cana-de-açúcar, trigo e milho. Culturas intermediárias incluem soja, feijão e abóbora, enquanto as não acumuladoras incluem girassol, uva e tomate (Ma; Takahashi, 2002; Hoffmann *et al.*, 2020). Diversos estudos apontam o uso de produtos que fornecem Si para as culturas agrônômicas, como escórias de siderurgia,

silicatos de cálcio, magnésio e potássio, além da casca de arroz (Della; Kuhn; Hotza, 2001; Freitas *et al.*, 2011).

2.5.1 O silício na agricultura

O uso do silício (Si) associado a condições de seca tem demonstrado promover mecanismos de tolerância nas plantas, atribuídos ao acúmulo de enzimas na parte aérea (Leite *et al.*, 2023). Isso resulta na redução do potencial hídrico celular, fechamento dos estômatos e ativação de processos reguladores de perda de água, configurando-se como um importante mecanismo regulador de mudanças fisiológicas nas plantas (Neri *et al.*, 2009).

Além de contribuir para o equilíbrio hídrico, o Si participa de mecanismos estruturais que fortalecem os tecidos vegetais. Ele aumenta a rigidez estrutural dos caules, a resistência mecânica das folhas e sua posição ereta, reduzindo o auto-sombreamento e o acamamento. Esses efeitos promovem uma maior área fotossintética, maior absorção de CO₂, aumento no teor de clorofila e retardam a senescência. O Si também proporciona respostas mais eficientes a fatores abióticos, como estresse salino, geadas e secas prolongadas, e aumenta a resistência a insetos por meio da formação de barreiras físicas. Além disso, protege contra estresses bióticos ao reduzir a incidência de patógenos (Gao *et al.*, 2006; Lima *et al.*, 2011; Neves *et al.*, 2012)

Estudos evidenciam os benefícios do Si em culturas agrícolas. Lima *et al.* (2011), ao aplicarem Si em milho e feijão-de-corda sob estresse salino, observaram que as cultivares apresentaram maior eficiência no aproveitamento da água, com redução na transpiração. Neves *et al.* (2012), também demonstraram a eficiência do Si no manejo da deficiência hídrica, constatando aumentos nos teores de prolina, aminoácidos e proteínas solúveis em plantas de milho expostas ao estresse hídrico.

Quanto à produtividade, pesquisas destacam resultados promissores com o uso de silicatos em diversas culturas. Prado *et al.* (2001) relataram melhorias na produtividade da cana-de-açúcar, enquanto Rocha, Prado e Almeida (2011) observaram benefícios no sorgo. Crusciol *et al.* (2013) evidenciaram que a aplicação foliar de Si em feijoeiro aumentou o número de vagens por planta e, consequentemente, a produtividade, devido à melhoria do status fotossintético. Por outro lado, Teixeira *et al.* (2008), observaram que a adubação silicatada foliar não influenciou significativamente o rendimento de grãos ou componentes como número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de cem grãos.

Além de seus benefícios agrônômicos, o uso do Si contribui para a sustentabilidade ambiental. Ele reduz a necessidade de fungicidas e inseticidas, preserva inimigos naturais de pragas, melhora o aproveitamento da água e ajuda a mitigar impactos ambientais, como a emissão de CO₂, contribuindo para a preservação da camada de ozônio (Vilela, 2009).

2.6 A casca de arroz como fonte de silício

A concentração de sílica presente na casca de arroz carbonizada (CAC), também conhecida como biocarvão, varia entre 72% e 95% (Fonseca; Bergmann, 2007). A composição química da CAC é influenciada por múltiplos fatores, como o tipo de arroz cultivado, as condições específicas do solo e os teores e tipos de fertilizantes aplicados durante o cultivo (Angel *et al.*, 2009; Nascimento *et al.*, 2015).

Pesquisas têm demonstrado os benefícios do uso do biocarvão como fonte de silício em diferentes culturas agrícolas. Oliveira (2013) avaliou o impacto do silício oriundo do biocarvão no rendimento e na qualidade fisiológica de sementes de soja. Os resultados indicaram efeitos positivos no crescimento fisiológico, aumento da produtividade e maior peso de mil sementes. Lemes (2018), por sua vez, analisou o uso do biocarvão como fonte de silício no solo em plantas de arroz submetidas a estresse salino. O estudo revelou melhorias significativas na qualidade fisiológica das sementes e aumento no peso de sementes por planta.

Stracke *et al.* (2020) demonstraram que a aplicação de cinza de casca de arroz contribuiu para a correção da acidez do solo, elevação do pH e maior disponibilidade de silício, cálcio e magnésio no solo. Esses efeitos resultaram em maior desenvolvimento e produtividade da cultura da soja. Da mesma forma, Castellanos *et al.* (2016) investigaram os efeitos da aplicação de biocarvão como fonte de silício em doses de 1.000, 2.000 e 3.000 kg ha⁻¹ em trigo. Foi constatado que doses de até 2.000 kg ha⁻¹ proporcionaram aumentos significativos no número de espigas e no peso de mil sementes, evidenciando melhorias na qualidade das sementes.

Em outro estudo, Donegá *et al.* (2011) avaliaram a interação entre a adição de casca de arroz carbonizada e as propriedades químicas de um latossolo vermelho arenoso no cultivo de milho. Os resultados mostraram que doses crescentes de CAC aplicadas ao solo aumentaram o pH e os teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo. Além disso, foi observado maior

desenvolvimento da cultura, incluindo aumento no colmo, altura, diâmetro e massa fresca e seca do milho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

Os bioensaios foram realizados em uma casa de vegetação climatizada e no Laboratório de Proteção de Plantas da Universidade Federal do Piauí – Campus Professora Cinobelina Elvas (UFPI-CPCE), localizado no município de Bom Jesus, Piauí, Brasil (latitude 9°05'04.4"S; longitude 44°19'37.5"W; altitude de 270 m). O clima da região é classificado como tropical com estação seca no inverno (Aw), de acordo com o sistema de Köppen (Holanda; Medeiros, 2019).

3.2 Material vegetal

O feijão-caupi crioulo utilizado no experimento foi adquirido de um agricultor familiar da região de Redenção do Gurguéia, Piauí (latitude 9°29'10"S; longitude 44°35'15"W). As plantas utilizadas na criação do pulgão-preto (*Aphis craccivora*) pertenciam à variedade comercial Canetinha.

Para o ensaio de preferência entre genótipos, foram utilizados oito genótipos de feijão-caupi: seis fornecidos pela Embrapa Meio-Norte (BRS Aracê, TVu, BRS Tumucumaque, BRS Guariba, BRS Gurguéia e BRS Novaera), um adquirido de um produtor rural (crioulo) e um proveniente de mercearia local (Canetinha).

3.3 Análise do solo

O solo utilizado nos experimentos foi coletado na área experimental da Universidade Federal do Piauí (UFPI) e classificado como Latossolo Amarelo distrófico (Santos *et al.*, 2018). A caracterização química e granulométrica do solo foi realizada conforme a metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017). A concentração de silício foi determinada pelo método

colorimétrico com molibdato, seguindo a metodologia de Vieira e Silva (2009). Os resultados obtidos na caracterização do solo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química e granulométrica do solo utilizado no experimento.

pH		H+Al	Al	Ca	Mg	K	SB	T	Si	
(H ₂ O)		----- cmol _c dm ⁻³ -----					-----mg kg ⁻¹ -----			
5,0		3,35	0,40	1,08	0,17	0,05	1,30	4,65	6,42	
P	Cu	Mn	Fe	Zn	m	V	M.O	Argila	Silte	Areia
----- mg dm ⁻³ -----				-----%-----		-----g kg ⁻¹ -----				
6,2	0,04	18,49	137	0,04	23,5	28	10,19	219	24	757

Note: H+AL: acidez potencial; Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; SB: soma de bases; T: CTC pH 7; Si: Silício; P: fósforo; Cu: cobre; Mn: manganês; Fe: ferro; Zn: zinco; m: saturação por alumínio; V: saturação de bases; e MO: matéria orgânica.

3.4 Produção e caracterização do biocarvão

A casca de arroz utilizada foi coletada em uma usina de processamento localizada no município de Bom Jesus, Piauí. Para o processo de carbonização, foi confeccionado um queimador a partir de um recipiente de zinco em formato retangular, com paredes laterais e fundo fechado, deixando a parte superior aberta para facilitar a dissipação da fumaça e o manuseio do material.

Durante a carbonização, o material foi homogeneizado continuamente com bastões de madeira até atingir uma coloração preta uniforme. Após esse processo, o biocarvão foi umedecido para cessar a queima e, em seguida, seco sob radiação solar. O material seco foi devidamente armazenado para evitar a absorção de umidade.

A composição química do biocarvão foi determinada seguindo a metodologia descrita por Miyazawa *et al.* (2009). Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização química da casca de arroz como fonte de silício utilizado no experimento.

Ca	Mg	P	K	Si	Cu	Mn	Fe	Zn
-----m-g kg ⁻¹ -----		-----g kg ⁻¹ -----			-----Mg kg ⁻¹ -----			
0,1	0,1	0,54	0,5	13,54	1,85	241	125	16,35

Note: Ca: cálcio; Mg: magnésio; P: fósforo; K: potássio; Si: Silício; Cu: cobre; Mn: manganês; Fe: ferro e Zn: zinco.

3.5 Criação e manutenção da população de pulgão-preto

Os pulgões-preto utilizados nos experimentos foram coletados em cultivos de feijão-caupi na zona rural de Bom Jesus, Piauí. A criação foi mantida em uma estufa com teto revestido por sombrite e lona transparente, com as laterais fechadas por tela antiafídeo (50 mesh).

Foram utilizados vasos de 10 litros contendo uma mistura de solo e esterco bovino na proporção de 2:1, nos quais plantas de feijão da variedade Canetinha serviram como hospedeiras. Para manter a colônia, novas plantas no estágio V3 eram introduzidas a cada 15 dias.

A identificação da espécie foi realizada com base na chave taxonômica de Muñiz e Peña-Martínez (1992) e confirmada por um especialista.

3.5.1 Padronização etária dos pulgões

A metodologia para uniformização da colônia foi adaptada de Ferreira (2015). Para isso, foram semeadas 15 sementes da cultivar hospedeira em vasos de 10 litros. Após a germinação, realizou-se o desbaste, deixando apenas uma planta por vaso.

Quinze dias após o plantio, as plantas foram infestadas com 10 pulgões por planta. Os pulgões utilizados na infestação eram fêmeas adultas, ápteras, com formato arredondado e coloração preta brilhante. Após 24 horas da infestação, os adultos foram removidos, deixando apenas as ninfas nas plantas.

Seis dias após esse procedimento, as ninfas alcançaram o estágio adulto, garantindo uma colônia de idade uniforme e pronta para uso nos ensaios. Esse procedimento foi aplicado em todos os experimentos envolvendo os insetos.

3.6 Bioensaios 1: preferência entre cultivares de *V. unguiculata*

O ensaio foi conduzido com oito genótipos de *V. unguiculata*, sendo seis delas cedidas pela Embrapa Meio-Norte, em Teresina – PI (BRS Aracê, TVu, BRS Tumucumaque, BRS

Guariba, BRS Gurguéia e BRS Novaera) um adquirido com produtores rural (crioulo) e outro adquirido em mercearia (canetinha). Para efeito de comparação foram utilizados quatro genótipos com resistência conhecida: BRS Tumucumaque, BRS Gurguéia e BRS Novaera (suscetível), BRS Guariba (resistente), conforme descrito por Silva *et al.* (2018).

Antes da semeadura, as sementes foram tratadas com o fungicida Vitavax®-THIRAM 200 SC, conforme o manual do fabricante (Figura 3a). Os genótipos foram semeados em copos descartáveis de poliestireno de 500 mL, previamente perfurados no fundo com três orifícios para permitir a drenagem e aeração. Cada copo recebeu 700 g de solo, sendo distribuídos sobre a bancada e alinhados em grupos de oito, com identificação dos recipientes. Após a semeadura de duas sementes por copo, as plantas foram irrigadas diariamente para evitar estresse hídrico.

Após sete dias a semeadura, realizou-se o desbaste mantendo apenas uma planta por copo. Cada planta de um genótipo foi considerada uma parcela experimental, compondo um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em arranjo 8x7 (oito tratamentos e sete repetições). A irrigação era monitorada duas vezes ao dia para evitar qualquer estresse hídrico.

Aos dezesseis dias após a semeadura com as plantas em estágio V3, foram infestadas com cinco pulgões fêmeas, adultas, ápteras e de coloração preta brilhante, provenientes da colônia previamente padronizado. Os pulgões foram coletados com a ajuda de um pincel de cerdas finas, macio e umedecido, a fim de evitar algum tipo de lesão ao inseto. No experimento, os pulgões puderam se locomoverem entre os genótipos avaliados, o que caracteriza um experimento com chance de escolha.

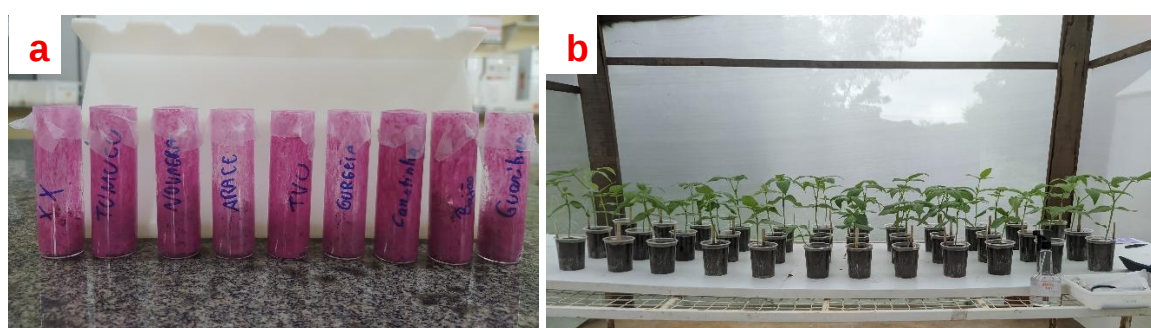


Figura 3 - Registro do tratamento de sementes de diferentes genótipos de feijão-caupi com fungicida (a), e de plantas aos 19 dias após a infestação por pulgão-preto (b).

Passados dois dias após infestação (DAI), foram contabilizados e retirados os adultos vivos presentes nas plantas e após quatro DAI foram mensurados o número de ninfas vivas em cada genótipo (Figura 3b). A partir desses dados, calculou-se a relação entre o número de ninfas e o número inicial de adultos (Relação ninfas/NIA), conforme metodologia descrita por Silva

(2011). As variáveis avaliadas no ensaio foram: Número de adultos; Número de ninfas; Relação ninfas/NIA.

3.7 Bioensaio 2: preferência de *A. craccivora* a *V. unguiculata* em regime de adubação com silício

O ensaio foi conduzido em vasos plásticos contendo 2,5 kg de solo, com calagem e adubação realizadas conforme as recomendações de Sousa e Lobato (2004), ajustadas para a menor quantidade de solo. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2x3, correspondendo a dois genótipos de *Vigna unguiculata* (feijão-caupi crioulo e BRS Novaera), três tratamentos (duas fontes de silício e controle) e dez repetições. O BRS Novaera foi escolhido por apresentar melhores resultados quanto a absorção de Si nos estudos de Leite *et al.*, (2023).

As fontes de silício utilizadas foram o biocarvão (18,5 g por vaso); Óxido de silício comercial (0,537 g por vaso). Ambas as fontes foram balanceadas para fornecer 0,1 g de Si por kg de solo (adaptado de Leite *et al.*, 2023). Antes da semeadura, as sementes foram tratadas conforme o bioensaio 1.

As fontes de silício foram incorporadas ao solo no momento do envasamento, seguindo as quantidades previamente determinadas. A semeadura foi realizada com a introdução de cinco sementes por vaso (Figura 4a). Sete dias após a semeadura, foi realizado o desbaste, mantendo apenas a planta mais vigorosa em cada vaso, considerada a unidade experimental. Durante todo o experimento, as unidades experimentais foram irrigadas manualmente duas vezes ao dia, pela manhã e à tarde.

Aos dezesseis dias após a semeadura com as plantas em estágio V3, foram infestadas com cinco pulgões fêmeas, adultas, ápteras e de coloração preta brilhante, provenientes da colônia previamente padronizado. Os pulgões foram coletados com a ajuda de um pincel de cerdas finas, macio e umedecido, a fim de evitar algum tipo de lesão ao inseto. No experimento, os pulgões puderam se locomoverem entre os genótipos avaliados, o que caracteriza um experimento com chance de escolha. Passados dois dias após infestação, foram contabilizados e retirados os adultos vivos presentes nas plantas e após quatro DAI foram mensurados o número de ninfas vivas em cada unidade experimental.

Adicionalmente, o teor de clorofila das plantas foi mensurado antes e após a infestação, utilizando o aparelho ClorofiLOG CFL 1030, Falker (Figura 4b). Após a retirada das ninfas, a primeira folha trifoliada de cada planta foi coletada para análise do teor de silício conforme a metodologia descrita por Miyazawa *et al.* (2009) (Figura 4c). Ademais, a parte aérea das plantas foram coletadas para mensuração da massa fresca e massa seca obtida após processo de secagem em estufa com circulação de ar forçada após 72 h.

As variáveis avaliadas neste ensaio foram: número de adultos, número de ninfas, relação ninfas/número inicial de adultos infestados, clorofila e acúmulo de silício conforme metodologia descrita por Silva (2011).



Figura 4 - Germinação de sementes de feijão-caupi após 4 dias a semeadura (a). Mensuração de pigmentos fotossintéticos em plantas de feijão-caupi, antes da infestação por pulgão-preto (b), e preparo das amostras para mensuração dos teores de silício (c).

3.8 Bioensaio 3: suscetibilidade de *V. unguiculata* (crioula) adubada com Si a *A. craccivora* ao longo do tempo

O ensaio foi conduzido em vasos plásticos preenchidos com 10 kg de solo, com calagem e adubação realizadas conforme as recomendações de Sousa e Lobato (2004). Foram estabelecidas 36 parcelas experimentais, organizadas em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos (duas fontes de silício e um controle) e doze repetições.

As fontes de silício utilizadas foram o biocarvão: 74 g por vaso; Óxido de silício comercial: 2,151 g por vaso. Ambas as fontes foram ajustadas para fornecer 0,1 g de silício por kg de solo (adaptado de Leite *et al.*, 2023).

Antes da semeadura, as sementes foram tratadas conforme o bioensaio 1. As fontes de silício foram incorporadas ao solo no momento do envasamento, seguindo as quantidades previamente determinadas. A semeadura foi realizada com a introdução de cinco sementes por vaso (Figura 5a). Sete dias após a semeadura, foi realizado o desbaste, mantendo apenas a planta mais vigorosa em cada vaso, considerada a unidade experimental. Durante todo o experimento, as unidades experimentais foram irrigadas manualmente duas vezes ao dia, pela manhã e à tarde.

Dez dias após a semeadura, as plantas foram infestadas com dez pulgões fêmeas adultas, ápteras e de coloração preta brilhante, provenientes de uma colônia previamente padronizada. No experimento, os pulgões puderam se locomover entre os genótipos avaliados, caracterizando um ensaio com chance de escolha. Os insetos foram transferidos para as plantas com o auxílio de um pincel de cerdas finas, macio e umedecido, para evitar lesões (Figura 5b).

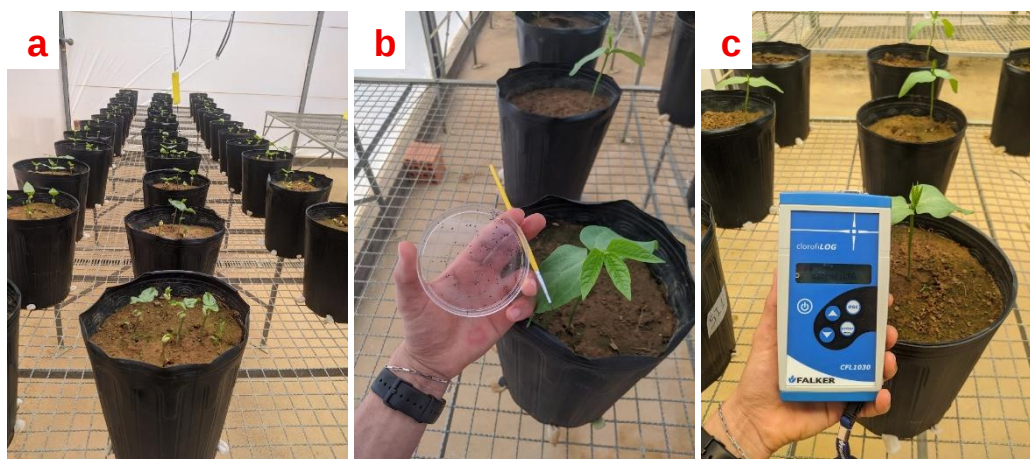


Figura 5 - Germinação de sementes de feijão-caupi após 4 dias a semeadura (a). Transferência dos pulgões-preto para as plantas de feijão-caupi crioulo (b) e aparelho ClorofiLOG (c).

As avaliações foram realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a infestação (DAI), abrangendo os seguintes parâmetros:

1. Clorofila: Determinada com o aparelho ClorofiLOG CFL 1030, Falker (Figura 5c).
2. População de pulgões (POP): observação da quantidade de insetos presentes em cada planta;
3. Danos às mudas (DM): Avaliação visual baseada na extensão dos danos observados nas plantas.

Os parâmetros POP e DM foram avaliados conforme a metodologia de Jackai e Singh (1988), onde os níveis populacionais foram avaliados através de uma escala de classificação

visual de 1 a 9, na qual 1 indica poucos ou nenhum pulgão (0 a 4 pulgões); 3: poucas colônias isoladas (5 a 20 pulgões); 5: várias pequenas colônias (21 a 100 pulgões); 7: grandes colônias isoladas (101 a 500 pulgões); 9: grandes colônias contínuas (mais de 500 pulgões por planta). Para a gravidade dos danos, foi utilizado uma classificação de 1 a 5, na qual 1-2 indicam um bom nível de resistência; 3: Resistência moderada; 4: Suscetibilidade moderada; 5: Alta suscetibilidade.

3.9 Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados individualmente para cada ensaio, utilizando os softwares RStudio (versão 12.1, 2023). Para avaliar os efeitos do silício nas cultivares no bioensaio 2, foi realizada uma análise de variância de dois fatores (ANOVA) aplicada aos parâmetros biológicos do inseto e à clorofila, utilizando o teste F com nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

Quando necessário, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Os gráficos foram gerados com o SigmaPlot (versão 15.0, Systat Software, 2022) e a análise de correlação de Pearson foi conduzida no RStudio.

4 RESULTADOS

Com base na figura 6, os resultados do bioensaio 1 indicam que as variedades de *V. unguiculata* avaliadas no estudo apresentaram diferenças significativas na quantidade de *A. craccivora* para o número ninfas vivas, tendo a menor infestação observada para a variedade canetinha e BRS Tumucumaque e a maior para a variedade crioula. Quanto aos adultos, estatisticamente todas as variedades apresentaram níveis semelhantes de infestação.

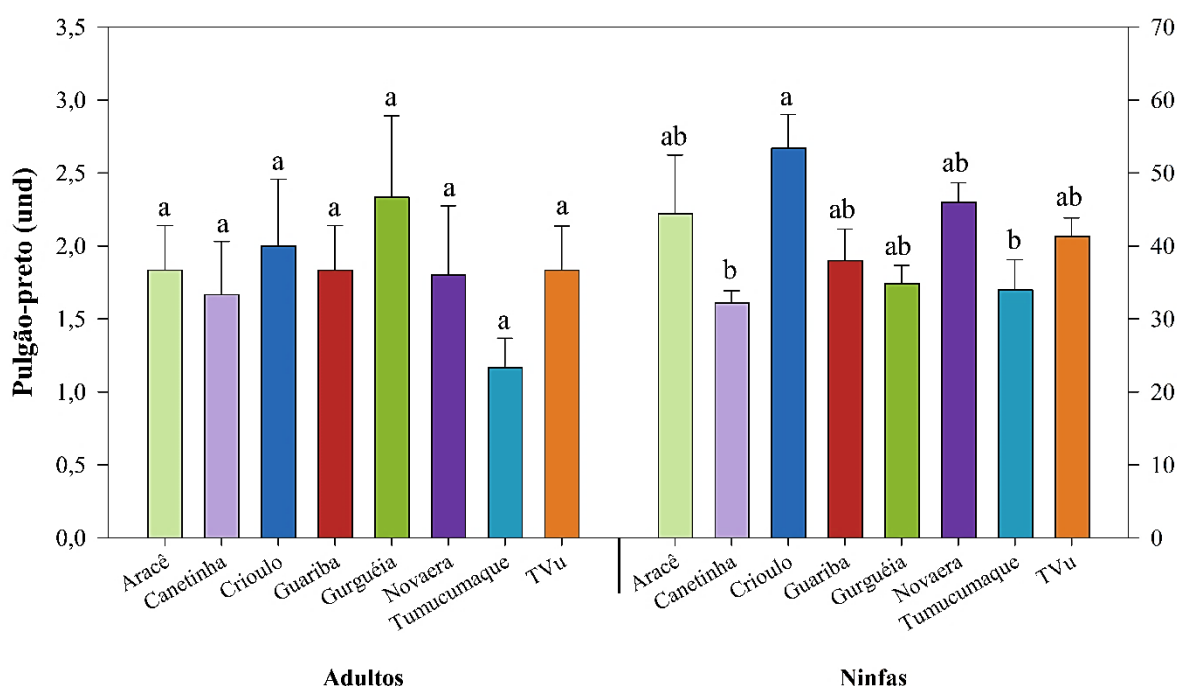


Figura 6 - Preferência alimentar do pulgão-preto (*A. craccivora*) em variedades de feijão-caupi (*V. unguiculata*). Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas entre as linhagens não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As barras representam a média e o erro padrão da média.

No bioensaio 2, realizado para avaliar a preferência alimentar de *A. craccivora* em *V. unguiculata* sob regime de adubação com silício, os resultados indicaram que a aplicação de fontes de silício não apresentou efeito significativo na redução de adultos e/ou ninfas de pulgão-preto em ambas as variedades de feijão-caupi avaliadas (Figura 7). Apesar disso, a variedade crioula apresentou um maior acúmulo de silício em comparação à variedade BRS Novaera.

Em relação aos níveis de clorofila, tanto no início quanto no final do experimento, as concentrações permaneceram semelhantes entre as duas variedades de feijão-caupi, sem variações significativas atribuídas aos tratamentos com silício (Figura 8). Esses resultados

sugerem que, nas condições avaliadas, a adubação silicatada não influenciou os parâmetros fisiológicos das plantas nem a preferência alimentar do pulgão-preto.

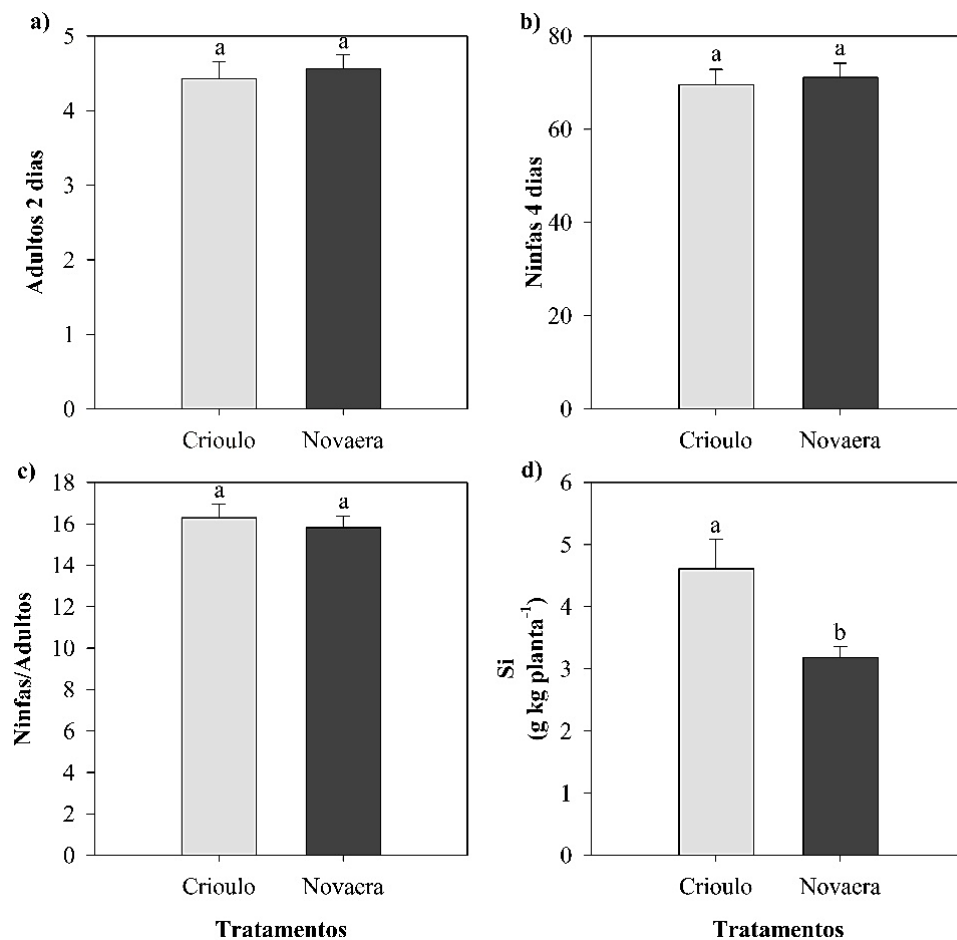


Figura 7 - Número de adultos em 2 dias (a), número de ninfas em 4 dias (b), relação ninfa/adultos (c) e acúmulo de silício (d) em duas variedades de feijão-caupi cultivadas com diferentes fontes de Si e submetidas à herbivoria por pulgão-preto. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas entre as avaliações não diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$). As barras representam a média e o erro padrão da média.

Os tratamentos com biocarvão e silício comercial não apresentaram efeito significativo na redução do número de adultos e ninfas de pulgão-preto (*A. craccivora*), no acúmulo de silício e nos parâmetros fisiológicos das plantas, como clorofila total, clorofila a e clorofila b (Figuras 9 e 10). Esses resultados indicam que, nas condições avaliadas, a adubação com diferentes fontes de silício não influenciou diretamente a interação entre os dois genótipos de feijão-caupi e o pulgão-preto, nem promoveu benefícios fisiológicos mensuráveis nas plantas.

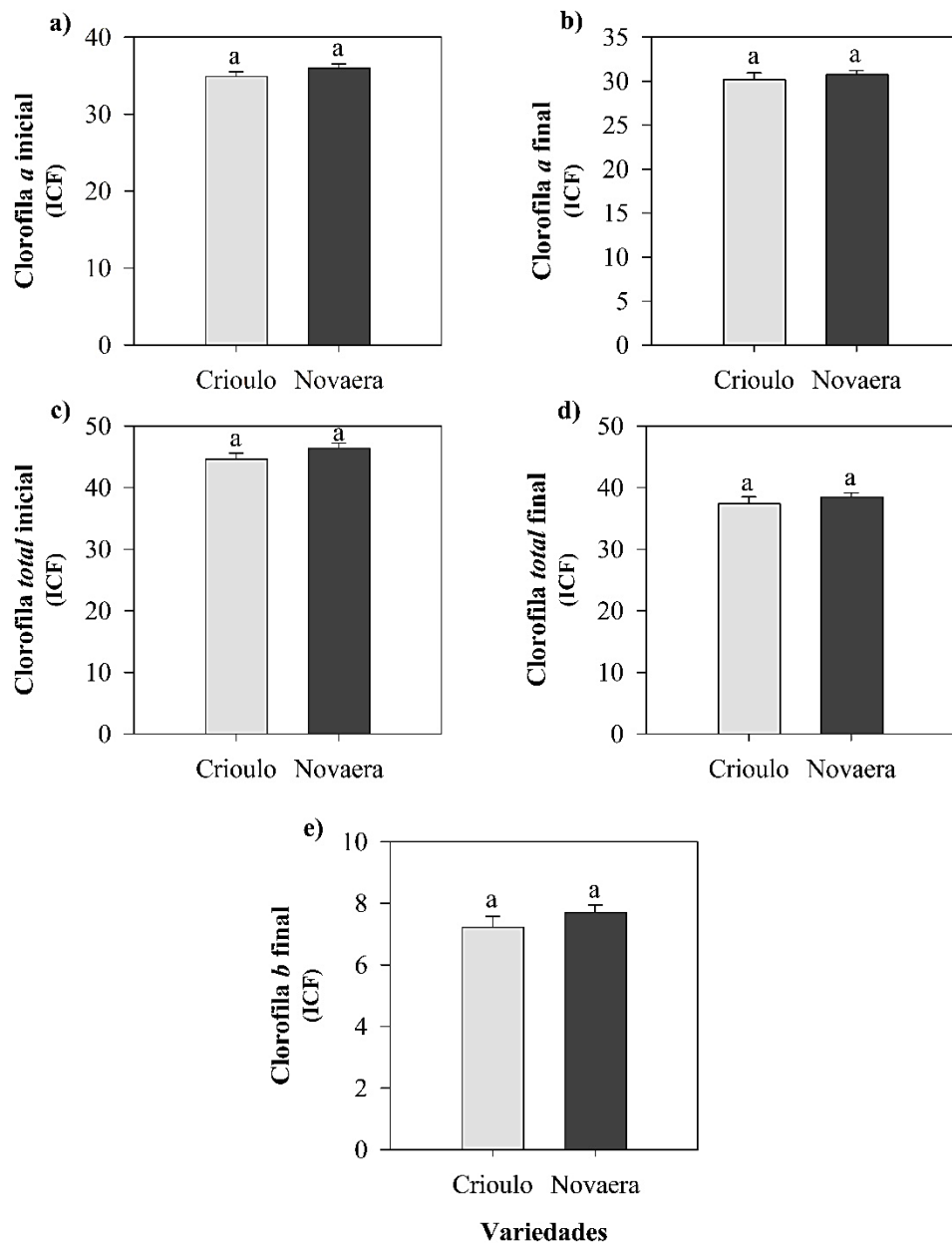


Figura 8 - Teores de clorofila *a* inicial (a), clorofila *a* final (b), clorofila total inicial (c), clorofila total final (d) e clorofila *b* final (e) de duas variedades de feijão-caupi cultivadas com diferentes fontes de Si antes e após a infestação por pulgão-preto. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas entre as avaliações não diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$). As barras representam a média e o erro padrão da média.

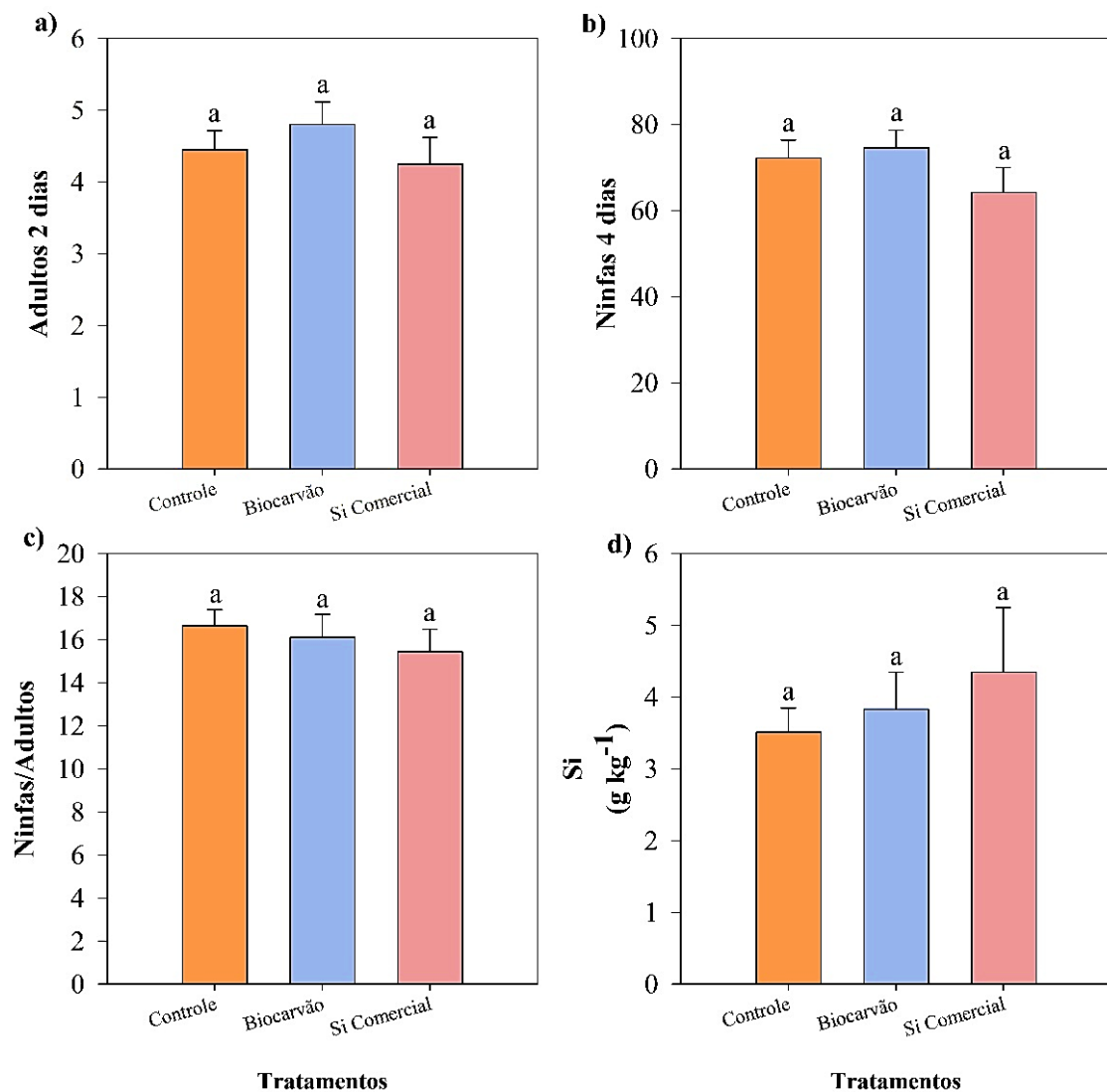


Figura 9 - Número de adultos em 2 dias (a), número de ninfas em 4 dias (b), relação ninfa/adultos (c) e acúmulo de silício (d) em feijão-caupi cultivado sob omissão (controle) e adição de Si (biocarvão e Si comercial) submetido à herbivoria por pulgão-preto. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas entre as avaliações não diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$). As barras representam a média e o erro padrão da média.

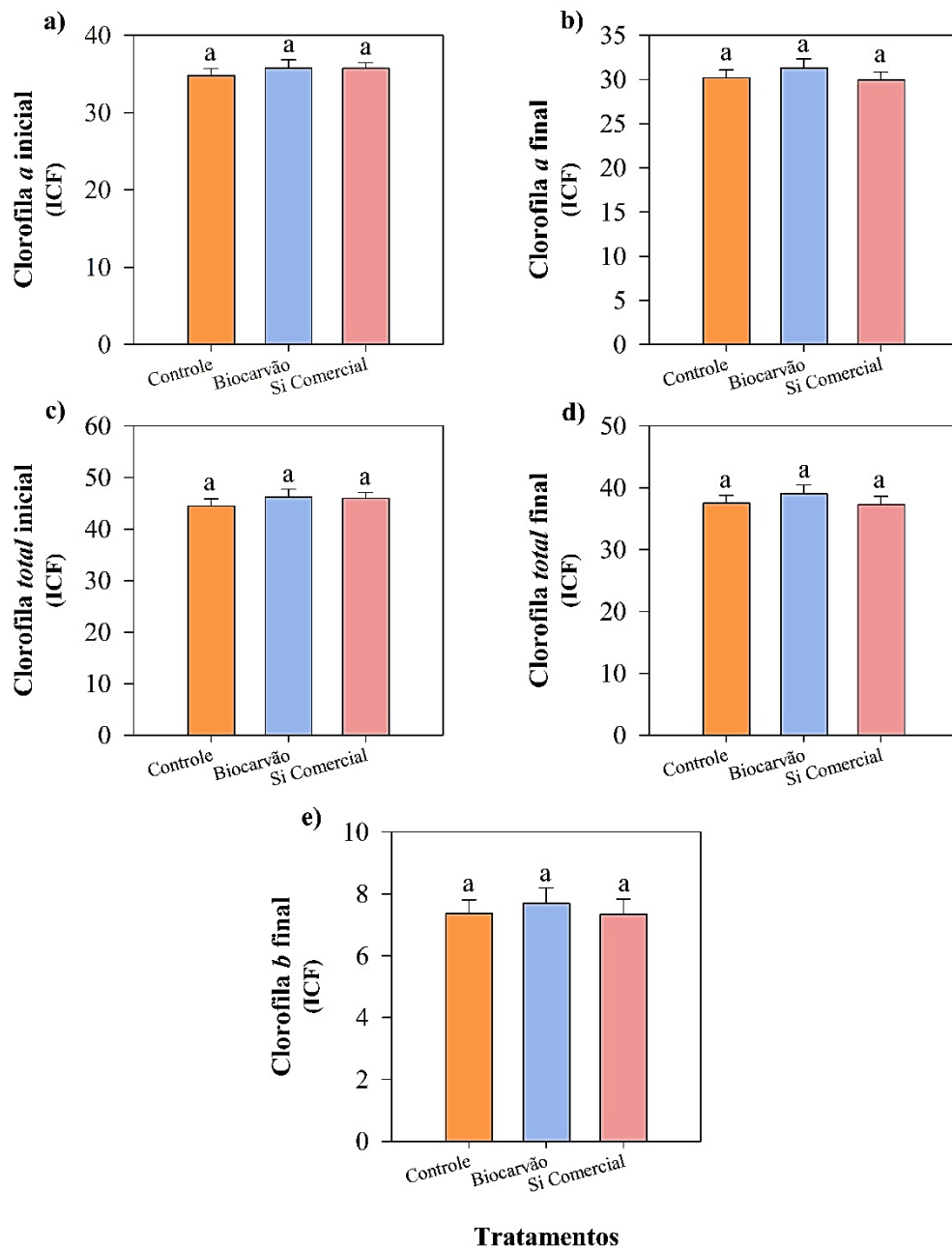


Figura 10 - Teores de clorofila a inicial (a), clorofila a final (b), clorofila total inicial (c), clorofila total final (d) e clorofila b final (e) em duas variedades de feijão-caupi cultivado sob omissão (controle) e adição de Si (biocarvão e Si comercial) antes e após a infestação por pulgão-preto. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas entre as avaliações não diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$). As barras representam a média e o erro padrão da média.

Embora a interação entre a aplicação das fontes de Si e as duas variedades de *V. unguiculata* tenha resultado em um efeito significativo ($p \leq 0,01$) nos níveis iniciais de clorofila *b* (Figura 11), os tratamentos não alteraram significativamente os valores iniciais em nenhuma das variedades testadas.

Em relação aos níveis de clorofila *b* entre as variedades, a BRS Novaera apresentou valores superiores no tratamento controle. No entanto, a variedade crioula mostrou um incremento nos níveis de clorofila *b* quando submetida aos tratamentos com Si (biocarvão e silício comercial), equiparando-se à BRS Novaera.

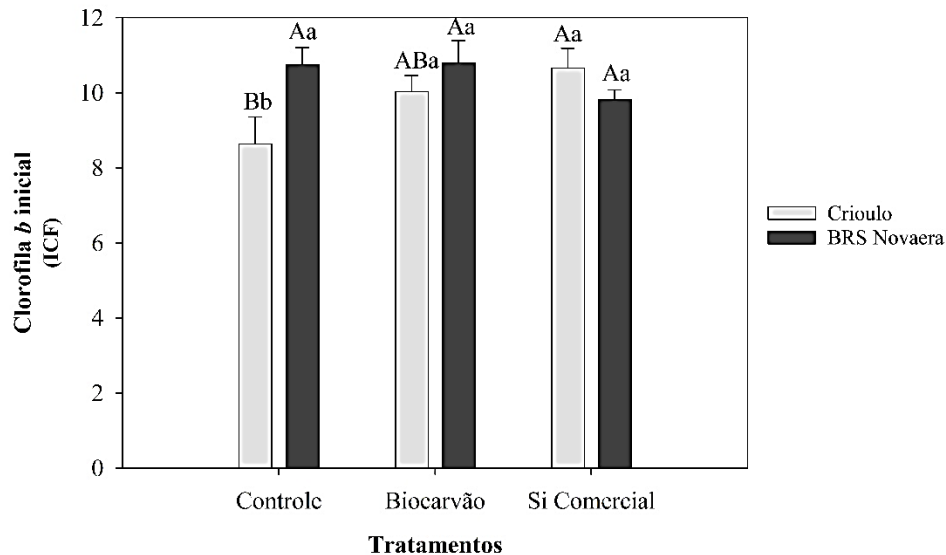


Figura 11 - Teores iniciais de clorofila *b* em plantas de feijão-caupi das variedades Crioulo e BRS Novaera submetidas a diferentes tratamentos com silício. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas entre os tratamentos e minúsculas entre as variedades não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As barras representam a média e o erro padrão da média.

Na análise de correlação de Pearson (Figura 12), observou-se uma forte relação positiva entre o número de adultos e o número de ninfas, indicando que o aumento da população de adultos está diretamente associado ao aumento de ninfas. Por outro lado, verificou-se uma relação negativa entre o número de adultos e a relação ninfas/adultos (N.A.), sugerindo uma leve influência inversa entre esses parâmetros.

As correlações entre os níveis de clorofila (*a*, *b* e total) foram muito fortes no início do experimento, especialmente entre clorofila *a* inicial, clorofila *b* inicial e clorofila total inicial, bem como no final do experimento entre clorofila *a*, *b* e total final.

No entanto, o acúmulo de silício apresentou uma correlação moderadamente negativa com os níveis finais de clorofila *a*, *b* e total, indicando que o aumento do acúmulo de Si pode estar associado a uma redução nos níveis de clorofila. Em relação ao acúmulo de Si versus o número de adultos e ninfas, não foi significativo, sugerindo que o acúmulo de silício nas plantas não teve impacto direto na densidade populacional de pulgões.

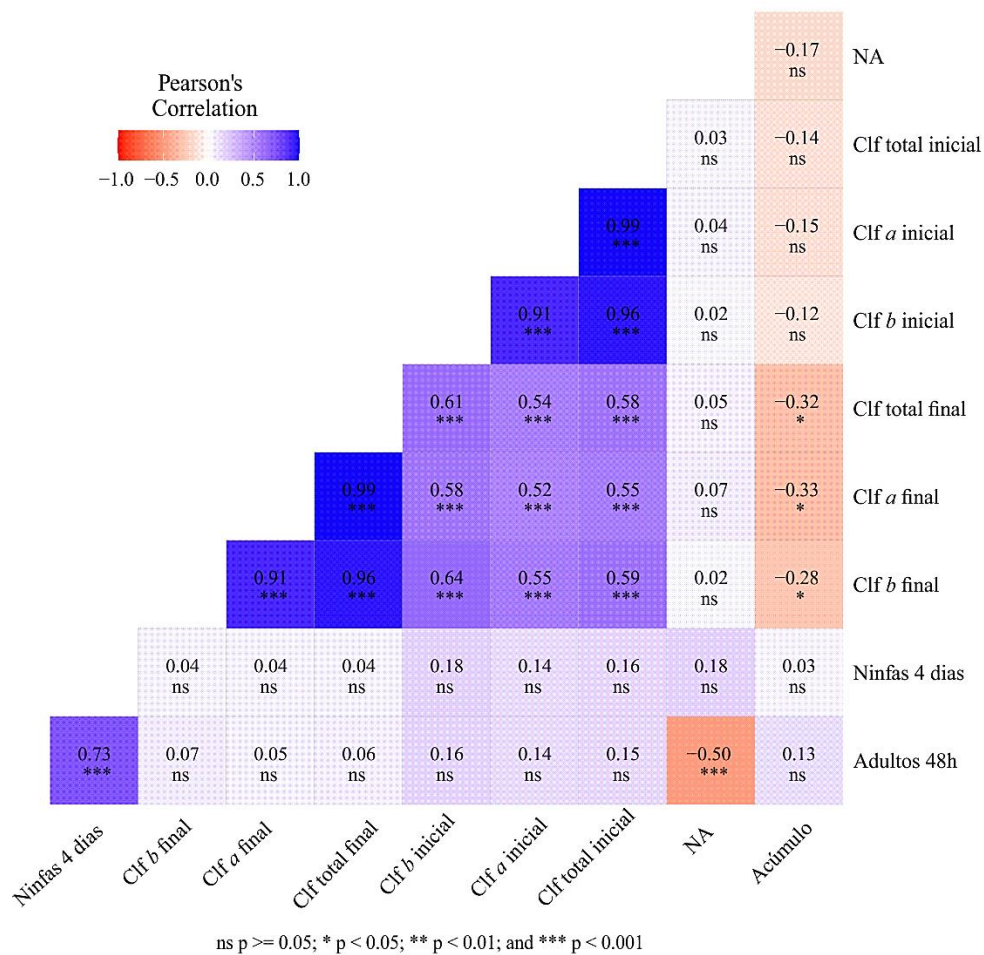


Figura 12 - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis: número de adultos em 48 h, número de ninfas em 4 dias, relação ninfa/adultos (NA), clorofila a inicial, clorofila b inicial, clorofila total inicial, clorofila a final, clorofila b final, clorofila total final e acúmulo de silício. Valores mais próximos de 1 indicam uma correlação positiva forte, enquanto valores mais próximos de -1 indicam uma correlação negativa forte.

Nos resultados observados no bioensaio 3 de suscetibilidade da cultivar de *V. unguiculata* (crioula) submetida a diferentes fontes de silício ao longo do tempo, verificou-se uma interação independente em relação ao fator avaliação.

Os valores de clorofila *a* e total apresentaram uma redução significativa na quarta avaliação (Figura 13). A clorofila *b*, por sua vez, atingiu um pico na terceira avaliação antes de também diminuir na quarta. O nível populacional dos pulgões aumentou progressivamente ao longo do tempo, alcançando seu máximo na terceira avaliação. O nível de dano também aumentou de forma progressiva entre as avaliações, com diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre os períodos analisados.

O aumento nos níveis de clorofilas na terceira semana coincidiu com o pico populacional de pulgões e o aumento dos danos às plantas. No entanto, os tratamentos com biocarvão e silício comercial não demonstraram efeitos significativos sobre os parâmetros analisados (Figura 14).

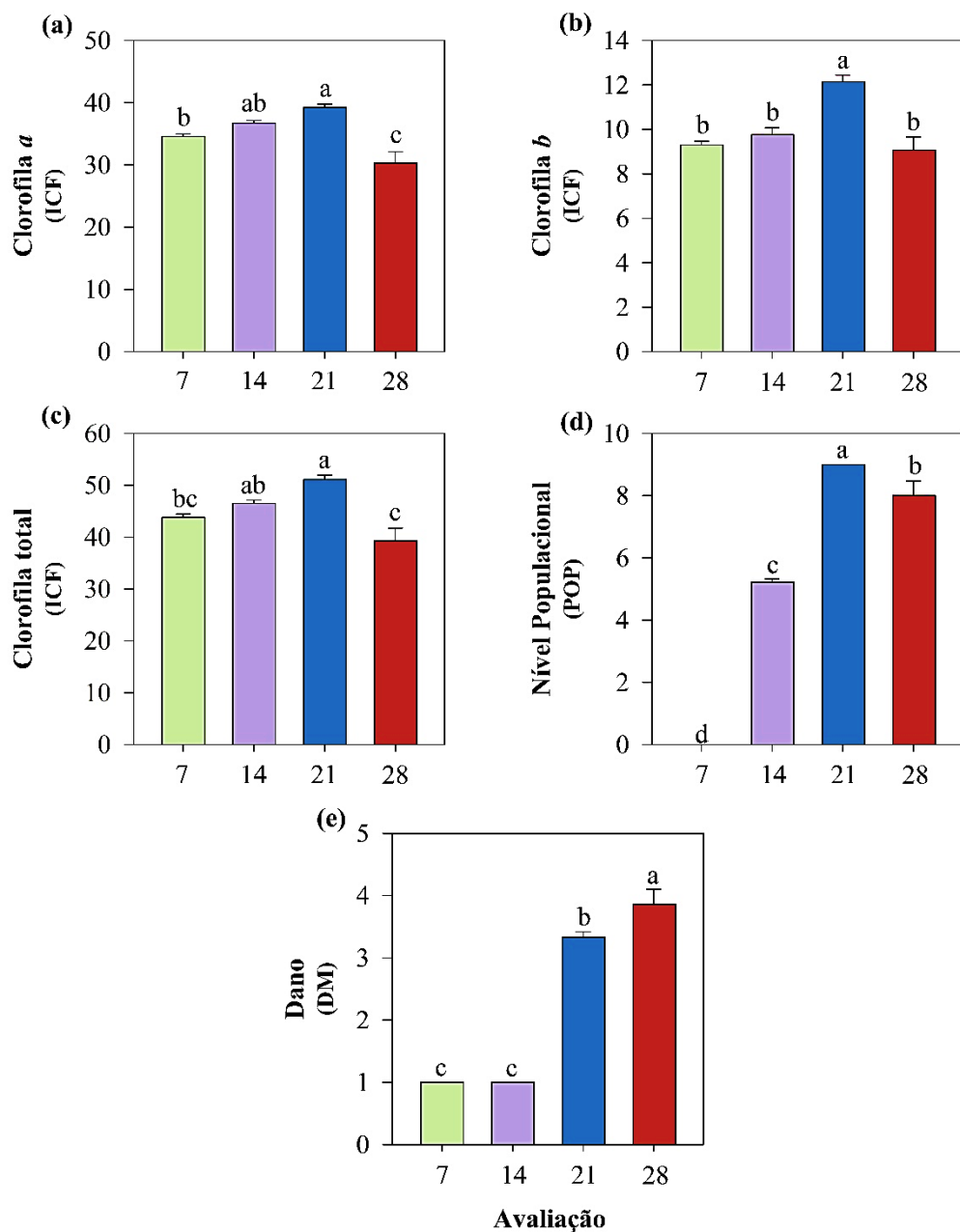


Figura 13 - Teores de clorofila a (a), clorofila b (b), clorofila total (c), nível populacional (d) e danos as mudas (e) de feijão-caupi cultivadas com diferentes fontes de silício e submetidas à herbivoria por pulgão-preto avaliadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após infestação. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas entre as avaliações não diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$). As barras representam a média e o erro padrão da média.

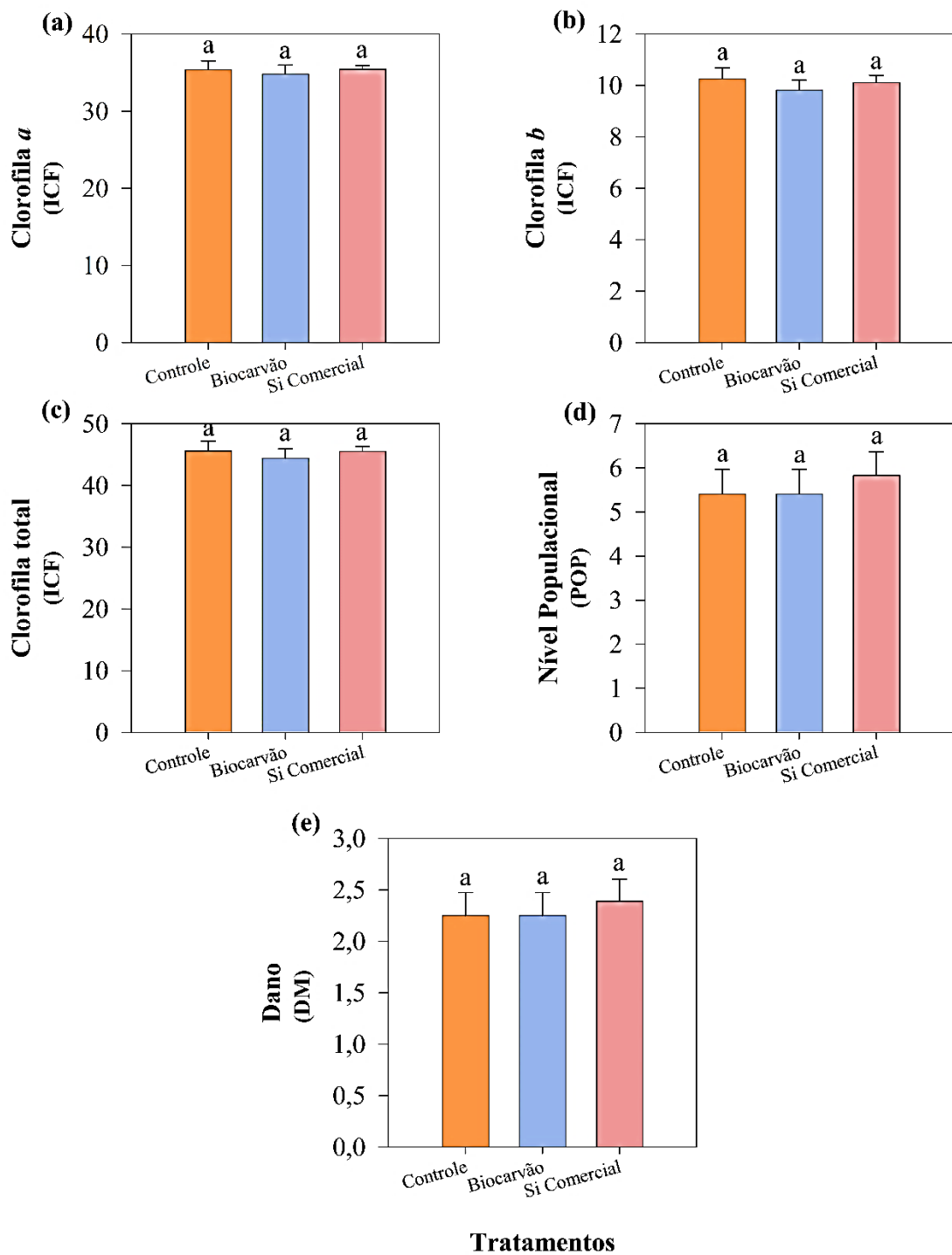


Figura 14 - Teores de clorofila a (a), clorofila b (b), clorofila total (c), nível populacional (d) e danos as mudas (e) de feijão-caupi cultivadas sob omissão (controle) e adição de Si (biocarvão e Si comercial) submetidas à herbivoria por pulgão-preto. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas entre as avaliações não diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$). As barras representam a média e o erro padrão da média.

5 DISCUSSÃO

O estudo avaliou os efeitos do silício no manejo de *A. craccivora* em *V. unguiculata*, com foco em mecanismos de resistência (antixenose/antibiose) e impactos na fisiologia das plantas. Embora os tratamentos com silício (biocarvão e silício comercial) não tenham promovido diferenças significativas na redução das populações de pulgão-preto ou em eficiente manutenção dos níveis de clorofila, esses resultados podem ser explicados por uma série de fatores biológicos, ambientais e genéticos.

A resistência de plantas a insetos envolve mecanismos diretos (antibiose e antixenose) e indiretos (atração de inimigos naturais), regulados por interações entre os genes da planta e o comportamento dos insetos. No bioensaio 1, a uniformidade estatística de adultos infere que as linhagens avaliadas não afetaram a atratividade ou a adequação para o desenvolvimento do adulto de *A. craccivora* em termos populacionais. Enquanto a variação da quantidade de ninfas, é um indicativo para antibiose (Bischoff *et al.*, 2023). Observou-se uma resposta da planta sobre a biologia do inseto nos genótipos BRS Tumucumaque e canetinha, no qual apresentaram menor número de descendentes e desenvolvimento. A ausência ou o baixo efeito significativo do tipo antixenose ou antibiose, mesmo na variedade BRS Guariba, descrita como resistente (Moraes; Bleicher, 2007; Silva *et al.*, 2018), pode estar relacionada à existência de biótipos de *A. craccivora*.

Estudos como os de Van Emden e Harrington (2017) destacam que biótipos de afídeos podem superar mecanismos de resistência em plantas devido a adaptações genéticas. Além disso, relatos sobre biótipos de *A. craccivora* no continente africano (Ofuya, 1997) reforçam a hipótese de que o biótipo utilizado neste estudo pode ser diferente daqueles contra os quais as variedades brasileiras apresentam resistência.

A interação planta-inseto também é influenciada por fatores ambientais. Silva; Bleicher (2010) relataram que genótipos previamente descritos como resistentes podem mostrar suscetibilidade sob diferentes condições ambientais. Além disso, a expressão de genes de resistência pode ser inibida por interações epistáticas, comprometendo a defesa da planta (Jander, 2018).

O silício é amplamente reconhecido por sua capacidade de melhorar a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos. Ele se acumula nas paredes celulares na forma de sílica amorfa, formando barreiras físicas contra insetos herbívoros e microrganismos (Epstein, 2009). Além disso, o silício pode induzir resistência sistêmica, estimulando a produção de compostos

fenólicos, lignina e enzimas antioxidantes (Ranjan *et al.*, 2021). No entanto, no presente estudo realizado no bioensaio 2, o maior acúmulo de silício na variedade Crioula não resultou em benefícios detectáveis no controle populacional do pulgão-preto ou na manutenção dos níveis de clorofila.

Embora estudos como o de Yan *et al.* (2024) tenham demonstrado que o silício pode reduzir a infestação de insetos, os resultados variam com base na espécie da planta, do inseto, a forma de aplicação do silício e nas condições experimentais. Por exemplo, Portela *et al.* (2019) observaram menor número de ninfas de pulgão-preto em feijão-fava tratado com silício foliar e solo simultaneamente, atribuindo o efeito à resistência por antibiose. Contudo, Ranjan *et al.* (2021) destacaram que a eficácia do silício depende da interação com vias de sinalização hormonal, que regulam a expressão de genes de defesa.

A herbivoria ativa vias hormonais complexas, como as mediadas pelo ácido jasmônico (JA) e ácido salicílico (SA). O JA está associado à defesa contra insetos mastigadores, enquanto o SA é ativado contra insetos sugadores (Erb; Reymond, 2019). No entanto, essas vias apresentam antagonismo, onde a ativação de uma pode suprimir a outra, limitando a eficácia das respostas defensivas (Thaler; Humphrey; Whiteman, 2012; Johnson; Rowe; Hall, 2020). Essa interação pode explicar a ausência de efeitos significativos do silício neste estudo, pois a ativação do SA pelos pulgões pode ter inibido respostas dependentes de JA, como o acúmulo de metabólitos secundários defensivos.

Além disso, estudos recentes demonstraram que o silício pode influenciar essas vias hormonais. Por exemplo, Johnson *et al.* (2021) relataram que estímulos capazes de ativar a via do JA promovem maior acúmulo de silício em *Brachypodium distachyon*. No entanto, a ativação predominante do SA por insetos sugadores, como os pulgões, pode reduzir o acúmulo de silício e limitar sua eficácia na indução de resistência.

No bioensaio 3 de suscetibilidade ao longo do tempo, a redução nos níveis de clorofila total na quarta semana do experimento pode ser atribuída ao aumento do dano causado pelo pulgão-preto, comprometendo a capacidade fotossintética da planta. Estudos como o de Chaves (2015) sugerem que o estresse biótico pode inicialmente estimular mecanismos compensatórios, como o aumento da clorofila, mas, em casos de dano severo, esses mecanismos falham.

As correlações negativas entre o acúmulo de silício e os níveis finais de clorofila sugerem que o silício pode estar associado a respostas fisiológicas da planta ao estresse, como a redistribuição de recursos energéticos para defesa em detrimento da fotossíntese (Coskun *et al.*, 2018). No entanto, as correlações sem significância entre o acúmulo de silício e o número

de insetos indicam que o silício, nas condições deste experimento, não influenciou diretamente a população de pulgões.

Os tratamentos com biocarvão e silício comercial não apresentaram efeitos significativos em nenhuma das variáveis analisadas, sugerindo que, nas condições avaliadas, o silício não ofereceu vantagens adicionais para o manejo de *A. craccivora*. No entanto, é importante considerar que o tempo de exposição, as doses aplicadas ou forma de aplicação podem ter influenciado os resultados.

Estudos futuros devem incluir análises bioquímicas e moleculares para investigar a interação entre o silício e as vias de sinalização hormonal, bem como sua influência na produção de metabólitos secundários. Ensaio em condições de campo também são necessários para avaliar a eficácia do silício em diferentes cenários ambientais e contra diversos biótipos de *A. craccivora*. Além disso, pesquisas sobre o impacto do silício na atratividade de inimigos naturais, como predadores e parasitoides, podem fornecer insights sobre o uso do silício em programas de manejo integrado de pragas.

6 CONCLUSÃO

O *Vigna unguiculata* crioulo demonstrou ser suscetível ao ataque de *A. craccivora*, sem evidências de resistência por mecanismos de antixenose ou antibiose.

A aplicação de fontes de silício, como biocarvão e silício comercial, não induziu defesas significativas contra o *A. craccivora* em nenhuma das variedades avaliadas.

Apesar de apresentar respostas fisiológicas ao estresse causado pela infestação de pulgões, como o aumento inicial nos níveis de clorofila, o *V. unguiculata* crioulo não foi capaz de manter a homeostase diante da progressão dos danos causados pela herbivoria.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT – Sistema de Agrotóxicos Fitossanitário. **Consulta de praga/doença. Dados da praga**. 2025. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 02 abr. 2024.
- ANGEL, J. D. M.; VÁSQUEZ, T. G. P.; JUNKES, J. A.; HOTZA, D. Caracterização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado. **Química nova**, v. 32, p. 1110-1114, 2009.
- BALE, J. S.; PONDER, K. L.; PRITCHARD, J. Coping with stress. In: EMDEN, H. F. V.; HARRINGTON, R. (eds). **Aphids as crop pests**. Wallingford: CABI International, 2007. p. 287-309.
- BASU, S.; KUMAR, G. Exploring the significant contribution of silicon in regulation of cellular redox homeostasis for conferring stress tolerance in plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 166, p. 393-404. 2021.
- BATA, H. D.; SINGH S. R.; LANDEINDE, T. A. O. Inheritance of resistance to aphids in cowpea. **Crop science**, v. 27, n. 2, p. 892-894, 1987.
- BISCHOFF, A. M.; ARAUJO, E. S.; BENATTO, A.; ZIMMERMANN, R. C.; OLIVEIRA, M. C. H.; ROSA, J. M.; BERNARDI, D.; ZAWADNEAK, M. A. C. Evidence of antibiosis resistance of four strawberry cultivars against *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae). **Crop Protection**, v. 168, p. 106213, 2023.
- BLACKMAN, R. L.; EASTOP, V. F. Taxonomic Issues. In: VAN EMDEN, H. F.; HARRINGTON, R. (eds). **Aphis as crop pests**. Wallingford: CAB International, 2007. 762 p.
- BOIÇA JÚNIOR, A. L.; COSTA, E. N.; SOUZA, B. H. S.; RIBEIRO, Z. A.; CARBONELL, S. A. M. Antixenosis and tolerance to *Diabrotica speciosa* (Coleoptera: Chrysomelidae) in common bean cultivars. **Florida Entomologist**, p. 464-472, 2015.
- CASTELLANOS, C. I. S.; ROSA, M. P.; DEUNER, C.; BOHN, A.; BARROS, A. C. S. A.; MENEGHELLO, G. E. Aplicação ao solo de cinza de casca de arroz como fonte de silício: efeito na qualidade de sementes de trigo produzidas sob estresse salino. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 95-104, 2016.
- CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, 195-196, 234-242, 2013.
- CHAVES, V. V. **Trocas gasosas e fluorescência da clorofila “a” em genótipos de cana-de-açúcar infestados por cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata***. 2015. 33 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.

CHEMIM, F. **Cenário brasileiro do Feijão-caupi**. Instituto Brasileiro de Feijão e Pulses – IBRAFE. Disponível em: https://ibrafe.org/artigo/cenario-brasileiro-do-feijao-caupi?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 02 abr. 2025.

COELHO, J.; BARROS, M. F. C.; BEZERRA NETO, E.; CORREA, M. M. Comportamento hídrico e crescimento do feijão *Vigna* cultivado em solos salinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 379-385, 2013.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, safra 2022/23. Brasília, 1º primeiro levantamento, 2022.

COSKUN, D., DESHMUKH, R., SONAH, H., MENZIES, J. G., REYNOLDS, O., MA, J. F., KRONZUCKER H. J.; BÉLANGER, R. R. The controversies of silicon's role in plant biology. **New Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 67-85. 2019.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P., G. S.A. CASTRO.; COSTA C. H. M.; NETO J. F. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 404-410, 2013.

DAMATTA, F. M. Ecophysiology of tropical tree crops: an introduction. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 239-244, 2007.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91-133.

DEEM, K. D. GREGORY, L. E.; LIU, X.; ZIABARI, O. S.; BRISSON, J. A. Evolution and molecular mechanisms of wing plasticity in aphids. **Current Opinion in Insect Science**, v. 61, p. 101142, 2024.

DELLA V. P.; KUHN, I.; HOTZA, D. Caracterização da cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratário de sílica. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 778-782, 2001.

DONEGÁ, M. A. VOLK, L. B. S.; NOLLA, A.; GAVIOLLI, T. O. Atributos químicos do solo e crescimento inicial de plantas de milho em latossolo arenoso com adição de cinza de casca de arroz. **Revista de Agricultura** v. 86, n. 3, p. 192 - 199, 2011.

EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of applied Biology**, v. 155, n. 2, p. 155-160, 2009.

ERB, M.; REYMOND, P. Molecular interactions between plants and insect herbivores. **Annual review of plant biology**, v. 70, n. 1, p. 527-557, 2019.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. Countries e area harvested. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 02 abr. 2025.

FAOSTAT. **Crops and livestock products**. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 02 abr. 2025.

FERREIRA, A. D. C. L. **Preferência de *Aphis craccivora*, koch por variedades locais de feijão-de-corda oriundas de Pentecoste, Ceará.** 2015, 47 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Fortaleza, 2015.

FONSECA, M. R. G.; BERGMANN, C. P. Isolantes térmicos feitos com cinzas de casca de arroz: Produção e correlação entre propriedades e microestrutura. **Construção e materiais de construção**, v. 21, n. 12, p. 2059-2065, 2007.

FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; ROCHA, M.M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; NOGUEIRA, M.S.R.; RODRIGUES, E.V. **Feijão-caupi no Brasil:** produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84 p.

FREITAS, L. B.; COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Rev. Ceres.** 58, 262-267, 2011.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola.** Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

GAO, X.; ZOU, C.; WANG, L.; ZHANG, F. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. **Journal of Plant Nutrition.** v.29, n.1, p.1637–1647, 2006.

GIBSON, A. 2023. "**Aphididae**" (On-line), **Animal Diversity Web.** Disponível em: <https://animaldiversity.org/accounts/Aphididae/>. Acesso em: 02 abr. 2025.

HOFFMANN, J.; BERNI, R.; HAUSMAN, J. F.; GUERRIERO, G. A review on the beneficial role of silicon against salinity in non-accumulator crops: tomato as a model. **Biomolecules**, v. 10, n. 9, p. 1284, 2020.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M. Classificação climática pelo método de Köppen e Thornthwaite em Bom Jesus do Piauí, Brasil. **Revista Pantaneira**, v. 16., p. 57-68, 2019.

JACKAI, L. E. N.; SINGH, S. R. **Screening techniques for host plant resistance to cowpea insect pests.** 1988. Disponível em: <https://biblio.iita.org/documents/U88ArtJackaiScreeningNothomNodev.pdf-c3c0b879438fec8d62d56908894651f5.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2025.

JANDER, G. Revisiting plant-insect interactions. **Annual Review of Plant Biology**, v. 69, p. 147-171, 2018.

JOHNSON, S. N.; HARTLEY, S. E.; RYALLS, J. M. W.; FREW, A.; HALL, C. R. Targeted plant defense: silicon conserves hormonal defense signaling impacting chewing but not fluid-feeding herbivores. **Ecology**, v. 102, n. 3, 2021.

JOHNSON, S. N.; ROWE, R. C.; HALL, C. R. Aphid feeding induces phytohormonal cross-talk without affecting silicon defense against subsequent chewing herbivores. **Plants**, v. 9, n. 8, p. 1009, 2020.

KOVÁCS, S.; KUTASY, E.; CSAJBÓK, J. The multiple role of silicon nutrition in alleviating environmental stresses in sustainable crop production. **Plants**, v. 11, n. 9, p. 1223, 2022.

KUO, M. H. Effects of temperature, photoperiod and crowding treatment on alate formation in the turnip aphid, *Lipaphis erysimi* (Kalt.). **Plant Protection Bulletin**, v. 41, p. 255-264, 1999.

LEITE, W. S.; MIRANDA, R. S.; ROCHA, M. M.; DUTRA, A. F.; SANTOS, A. S.; SILVA, A. C.; BRITO, F. M.; SOUSA, R. S.; ARAÚJO, A. S. F.; NASCIMENTO, C. W. A.; ALCÂNTARA NETO, F. Silicon alleviates drought damage by increasing antioxidant and photosynthetic performance in cowpea. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 209, n. 6, p. 772-787, 2023.

LEMES, E. S.; MENDONÇA, A. O.; BRUNES, A.; DIAS, L.; OLIVEIRA, S.; TUNES, L.; ALBURQUERQUE, A. Aplicação de silício no solo: efeito na expressão enzimática de sementes oriundas de plantas de arroz sob estresse salino. **colloquium agrariae**, v. 14, n.1, p. 129-136, 2018.

LIMA, A. F.; SILVA, E. G. A.; IWATA, B. F. Agriculturas e agricultura familiar no Brasil: uma revisão de literatura. **Retratos de Assentamentos**, v. 22, n. 1, p. 50-68, 2019.

LIMA, M. A.; CASTRO, V. F.; VIDAL, J. B.; ENEAS, F. J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2. 2011.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan**. 1 ed. Amsterdam: Elsevier Science. 2002. 274 p,

MEENA, V. D.; DOTANIYA, M. L.; COUMAR, V.; RAJENDIRAN, S.; AJAY; KUNDU,.; RAO, A. S. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. **Proceedings of the national academy of sciences, India section b: Biological sciences**, v. 84, p. 505-518, 2014.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELO, W. J. Análise de tecido vegetal. In: Silva, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2009. p. 191-233.

MORAES, J. G. L.; BLEICHER, E. Preferência do pulgão-preto, *Aphis craccivora* Koch, a diferentes genótipos de feijão-de-corda, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, p. 1554-1557, 2007.

MOTTA, N. L. **Ecofisiologia e produtividade de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) sob diferentes turnos de rega**. 2022. 109 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2022.

MUÑIZ, R. B.; PEÑA-MARTÍNEZ, R. Afidos transmisores de virus fitopatogenos. In: URIAS, C.; RODRÍGUEZ, R., ALEJANDRE, T. **Contribucion a la ecologia y control de afidos en mexico**, México: Centro de Fitopatologia, 1992. 153 p.

NARAYANA, M.; ANGAMUTHU, M. Cowpea. In: PRATAP, A.; GUPTA, S. (eds). **The beans and the peas: From orphan to mainstream crops**. Woodhead Publishing, 2020.

- NASCIMENTO, G. C.; DOMINGUINI, L.; MELLO, J. M. M.; MAGRO, J. D.; RIELLA, H. G.; FIORI, M. A. Caracterização físico-química da cinza de casca de arroz oriunda do processo termelétrico do sul de Santa Catarina-Brasil. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, p. 634-640, 2015.
- NERI, D. K. P. GOMES, F. G.; MORAES, J. C.; GÓES, G. B. MARROCOS, S. T. P. Influência do silício na suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) ao inseticida lufenuron e no desenvolvimento de plantas de milho. **Ciência Rural**, vol. 39, n. 6, p. 1633-1638, 2009.
- NEVES, M. G.; SILVA, J. M.; SILVA, J. L. S.; SOUZA, L. C.; SIQUEIRA, J. A. M.; OLIVEIRA, L. M.; BARBOSA, R. R. N.; CONCEIÇÃO, A. G. C.; OLIVEIRA NETO, C. F. Teores de Prolina, Aminoácidos e Proteínas Solúveis Totais em Resposta a Deficiência Hídrica e Concentrações de Silício em Plantas de Milho. In: XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2012. Águas de Lindóia. **Resumos [...]**. Águas de Lindóia, 2012. p 339-345.
- OFUYA, T. I. Control of the cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae), in cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Integrated Pest Management Reviews**, n. 2, p. 199-207. 1997.
- OLIVEIRA, S. **Silício oriundo da cinza de casca de arroz carbonizada como promotor do rendimento e da qualidade fisiológica de sementes de soja**. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, 2013.
- PATHAK, R. S. Genetics of resistance to aphid in cowpea. **Crop science**. v. 28, n. 3, p. 474-476, 1988.
- PEÑA-MARTINEZ, R.; MUÑOZ-VIVEROS, A. L.; MARÍN-JARILLO, A.; BUJANOS-MUÑIZ, R.; TAMAYO-MEJÍA, F.; LUEVANO-BORROEL, J.; SÁNCHEZ-SEGURA, L.; IBARRA-RENDÓN, J. **Guía ilustrada para la identificación de los pulgones (Hemiptera: Aphididae) de cereales en México**. Celaya, Mexico: Fundación, Guanajuato Produce. 2017.
- PORTELA, G. L. F. SILVA, P. R. R.; GIRÃO FILHO, J. E.; PÁDUA, L. E. M.; MELO JÚNIOR, L. C. Silício como indutor de resistência no controle do pulgão preto *Aphis craccivora* Koch, 1854 em fava *Phaseolus lunatus*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 86, p. e0512018, 2019.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória siderúrgica no Brasil – Estudos na cultura da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 2001. 68 p.
- PUNEETH, G. M.; GOWTHAMI, R., KATRAL, A.; LAXMISHA, K. M.; VASUDEVA, R.; SINGH, G. P.; ARCHAK, S. On-farm crop diversity, conservation, importance and value: a case study of landraces from Western Ghats of Karnataka, India. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 10712, 2024.
- QUIROS, D. I.; EMMEN, D. A. Diversidad biológica de los áfidos (Hemiptera: Aphididae) de Panamá. **Tecnociencia**, v. 8, n. 2, p. 63-75, 2006.
- RANJAN, A.; SINHA, R.; BALA, M.; PAREEK, A.; SINGLA-PAREEK, S. L.; SINGH, A. K. Silicon-mediated abiotic and biotic stress mitigation in plants: Underlying mechanisms and

potential for stress resilient agriculture. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 163, p. 15-25, 2021.

ROCHA, L. C. M.; PRADO, R. M.; ALMEIDA, T. B. F. Efeito residual da escória de siderurgia como fonte de silício para a cultura do sorgo. **Revista da FZVA**, v. 18, n. 2, p. 101-115, 2011.

SANTOS, C. A. F.; SANTOS, I. C. N.; RODRIGUES, M. A. **Melhoramento genético do feijão-caupi na Embrapa Semi-Árido**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVAIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2018. 356 p.

SAYED, S. M.; ALOTAIBI, S. A.; GABER, N.; ELARRNAOUTY, S. S. Evaluation of five medicinal plant extracts on *Aphis craccivora* (Hemiptera: Aphididae) and its predator, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) under laboratory conditions. **Insects**, v. 11, n. 6, p. 398, 2020.

SILVA, J. F. **Resistência genética de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. À *Aphis craccivora* e amostragem**. 2011, 122 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Fortaleza, 2011.

SILVA, J. F.; BLEICHER, E. Resistência de genótipos de feijão-de-corda ao pulgão-preto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 1089-1094, 2010.

SILVA, K. J. D.; ROCHA, M. M.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N. Socioeconomia. In: BASTOS, E. A. **A Cultura do feijão-caupi no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte; Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Divisão de Análise de Risco de Pragas, 2016. 70 p.

SILVA, L. C. **Linhagens avançadas e cultivares de feijão-caupi resistentes ao pulgão-preto**. 2017, 82 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Fortaleza, 2017.

SILVA, L. C.; NERE, D. R.; FERREIRA, A. D. C. L.; BLEICHER, E. Resistance in advanced cowpea lines to *Aphis craccivora* Koch, 1854 (Hemiptera: Aphididae). **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 13, p. 185-195, 2019.

SILVA, L.C.; NERE, D. R.; BLEICHER, E.; BARBOSA, A. V. C.; TAVARES, J. M. Demographic parameters of black aphid in cowpea cultivars. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 16, n. 1, p. 69-76, 2018.
<http://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/3782/3659>

SILVA, P. H. S. Pragas da Cultura do Feijão-caupi. In: BASTOS, E. A. **A Cultura do feijão-caupi no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte; Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Divisão de Análise de Risco de Pragas, 2016. 70 p.

SILVA, P. H. S.; CARNEIRO, J. S.; QUINDERÉ, M. A. W. Pragas. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.) **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 369-402, 2005.

SNACK, C. D. S. A. **Vigna in Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB29905> . Acesso em: 17 jan. 2025.

SOUSA D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 416 p.

SOUSA, W. K. **Caracterização morfológica e molecular de acessos de feijão-caupi**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrônomicas e Florestais, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2020.

STRACKE, M. P.; GIRARDELLO, V. C.; ZWIRTES, E.; NAGEL, J. C.; TUSSET, B. T. K.; GARCIA, G. B.; SANTOS, A. V. Cinza de casca de arroz como reservatório molecular de água para a produção de soja. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 949-962, 2020.

TEIXEIRA, I. R.; SILVA, R. P.; SILVA, A. G.; KORNDÖRFER, P. H. Fontes de silício em cultivares de feijão nas safras das águas e da seca. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 4, p. 562-568, 2008.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. ISBN: 978-85-7035-771-7 **Revista e ampliada**, 3, pp. 573. 2017.

TEIXEIRA, S. M.; MAY, P. H.; SANTANA, A. C. Produção e importância econômica do caupi no Brasil. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa informação, 2005. p. 101-136.

THALER, J. S.; HUMPHREY, P. T.; WHITEMAN, N. K. Evolution of jasmonate and salicylate signal crosstalk. **Trends in plant science**, v. 17, n. 5, p. 260-270, 2012.

VAN EMDEN, H. F.; HARRINGTON, R. **Aphids as crop pests**. 2 ed. CAB International. 2017.

VIEIRA, W.; SILVA, F. C. Análises de fertilizantes minerais, organominerais e corretivos. In **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa/CNPTIA. 2009. p. 191-233.

VILELA, H. **As fontes de silício (Silicatos)**. 2009. Disponível em: http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_fontes_silicio_brasil.htm. Acesso em: 03 abr. 2025.

WILLIAMS, I. S.; DIXON, A. F. G. Life cycles and polymorphism. In: EMDEN, H.F. van; HARRINGTON, R. (eds). **Aphids as crop pests**, Wallingford: CAB International, 2007. p. 69-85.

YAN, G.; HUANG, Q.; ZHAO, S.; XU, Y.; HE, Y.; NIKOLIC, M.; NIKOLIC, N.; LIANG, Y. Zhu, Z. Silicon nanoparticles in sustainable agriculture: synthesis, absorption, and plant stress alleviation. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1393458, 2024.