



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - FITOTECNIA**

**FELIPE SILVA OLIVEIRA**

**ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE COQUEIRO**  
**PROVOCADAS POR *RAOIELLA INDICA* HIRST E A ENDOTERAPIA COMO**  
**ALTERNATIVA PARA SEU CONTROLE**

**FORTALEZA**

**2023**

FELIPE SILVA OLIVEIRA

ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE COQUEIRO PROVOCADAS  
POR *RAOIELLA INDICA* HIRST E A ENDOTERAPIA COMO ALTERNATIVA  
PARA SEU CONTROLE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Fitotecnia. Área de concentração: Acarologia aplicada na agricultura

Orientador: Prof. Dr. José Wagner da Silva Melo

FORTALEZA

2023

FELIPE SILVA OLIVEIRA

ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE COQUEIRO PROVOCADAS  
POR *RAOIELLA INDICA* HIRST E A ENDOTERAPIA COMO ALTERNATIVA  
PARA SEU CONTROLE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Fitotecnia. Área de concentração: Acarologia aplicada na agricultura

Orientador: Prof. Dr. José Wagner da Silva Melo

Aprovada em: 02/06/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. José Wagner da Silva Melo (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr(a) Rosilene Oliveira Mesquita  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Manoel Guedes Correa Gondim Junior  
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

A Deus.

A minha mãe, Vania Maria e aos meus  
padrinhos Hercília e Junqueira.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Prof. Dr. José Wagner da Silva Melo, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Dr(a) Rosilene Mesquita e Dr. Manoel Guedes pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

A Professora Dr(a) Erica Calvet, pelas ótimas sugestões.

Aos colegas da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

## RESUMO

*Raoiella indica* é uma espécie exótica e invasora nas Américas. O conhecimento sobre aspectos básicos (ecológicos) e aplicados (manejo) para essa espécie ainda é escasso. Este estudo investiga as alterações fisiológicas do coqueiro em função do ataque de *R. indica* e a utilização da técnica de endoterapia, visando o controle desta praga. Plantas de coqueiro foram submetidas a três tratamentos distintos, testemunha (sem tratamento fitossanitário), endoterapia (injeção de abamectina dentro do estirpe das plantas) e pulverização (pulverização de abamectina direcionada aos folíolos). Folíolos das plantas foram avaliados quanto a infestação de *R. indica* (número de formas móveis/folíolo) em avaliações mensais. Adicionalmente, em dois momentos (um na estação chuvosa e outro na estação seca) os folíolos coletados em cada tratamento tiveram parâmetros fisiológicos aferidos. Os resultados do presente estudo demonstraram que: (i) a endoterapia com o acaricida abamectina foi eficiente na redução das populações de *R. indica*; (ii) o intervalo entre aplicações do acaricida abamectina via endoterapia pode chegar a 10 meses (300 dias); (iii) aplicações de abamectina, a cada 2 meses, via pulverizações da copa da planta podem contribuir para redução das populações de *R. indica*; (iv) as principais alterações fisiológicas em plantas de coqueiro mediadas pelo ataque de *R. indica* são observadas sobre a taxa fotossintética líquida, condutância estomática e transpiração; e (v) as alterações fisiológicas variam de acordo com as estações (chuvosa e seca).

**Palavras-chaves:** *Cocos nucifera*; abamectina; ácaro-vermelho-das-palmeiras; injeção de acaricidas; modulação fisiológica.

## ABSTRACT

*Raoiella indica* is an exotic and invasive species in the Americas. Knowledge about basic (ecological) and applied (management) aspects of this species is still scarce. This study investigates the physiological changes in coconut palms as a function of *R. indica* infestation and the use of endotherapy techniques to control this pest. Coconut palms were subjected to three distinct treatments: control (no phytosanitary treatment), endotherapy (injection of abamectin into the plant trunk), and spraying (spraying of abamectin directed at the leaflets). Leaflets of the plants were evaluated for *R. indica* infestation (number of mobile forms/leaflet) in monthly assessments. Additionally, at two time points (one in the rainy season and the other in the dry season), the physiological parameters of the leaflets collected in each treatment were measured. The results of this study demonstrated that: (i) endotherapy with the acaricide abamectin was effective in reducing *R. indica* populations; (ii) the interval between applications of the acaricide abamectin via endotherapy can reach 10 months (300 days); (iii) applications of abamectin, every 2 months, via spraying the plant canopy can contribute to reducing *R. indica* populations; (iv) the main physiological changes in coconut plants mediated by *R. indica* attack are observed in the net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration; and (v) the physiological changes vary according to the seasons (rainy and dry).

**Keywords:** coconut palm; abamectin; red palm mite; acaricide injection; physiological modulation.

## SÚMARIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	8
<b>CAPÍTULO I</b> .....	15
RESUMO .....	15
1.1 INTRODUÇÃO.....	16
1.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
1.2.1 Infestação de <i>R. indica</i> em plantas de coqueiro.....	18
1.2.2 Alterações fisiológicas em plantas de coqueiro provocadas por <i>R. indica</i> .....	19
1.2.3 Análise dos dados .....	19
1.3 RESULTADOS .....	20
1.3.1 Infestação de <i>R. indica</i> em plantas de coqueiro.....	20
1.3.2 Alterações fisiológicas.....	23
1.4 DISCUSSÃO.....	27
REFERÊNCIAS .....	30
ANEXO A - MATERIAL SUPLEMENTAR .....	33

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma palmeira perene, monoica, da família Arecaceae (Niral et al. 2019) que possui provável centro de origem o sudeste asiático em ilhas que se localizam entre os oceanos Índico e Pacífico (Adkins et al. 2022). É uma planta essencialmente tropical, com condição climática favorável para o seu cultivo entre as latitudes 20° N e 20° S (Da silva et al. 2009). O coqueiro encontra-se amplamente distribuído em mais de 200 países, atribui-se sua ampla distribuição tanto pela capacidade dispersiva quanto pela adaptação aos variados ambientes (Adkins et al. 2022). O homem é considerado seu principal agente de dispersão, tendo contribuído para a disseminação do coqueiro na América e para toda a região tropical. Além disso, devido a capacidade dos frutos flutuarem e permanecerem viáveis em água salgada por um longo período de tempo, a corrente marinha também contribuiu como agente secundário de dispersão desse fruto para outras regiões (Benassi, 2013).

No cenário mundial, o Brasil é o quinto maior produtor com produtividade de 13.114 kg/ha (FAOSTAT, 2021). A alta produção brasileira se deve ao melhoramento genético de variedades híbridas, expansão da área cultivada e maior tecnificação da cultura (Martins, 2014). No cenário regional, o Nordeste apresenta a maior produção nacional (Brainer, 2021). Esta produção é maior desde a sua introdução no Brasil, sendo resultado das condições edafoclimáticas favoráveis nessas regiões. As variedades Gigante do Brasil, a Anão Verde e algumas variedades híbridas, como o anão de Jiqui, são as mais utilizadas no Brasil, enquanto o Anão amarelo e o Anão vermelho não tem tanta aceitabilidade dos consumidores de água de coco em função da coloração (Brainer, 2021).

A incidência de insetos e ácaros pragas é um problema fitossanitário que causa enormes prejuízos ao produtor de coco no Brasil (Ferreira et al., 1998). Dentre os ácaros que afetam a cultura do coqueiro, destaca-se *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae), vulgarmente conhecido como o ácaro da necrose do coqueiro (Ferreira, 2008) e o ácaro introduzido no Brasil, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) que causa danos nas folhas do coqueiro. (Morais et al, 2011)

*Raoiella indica* foi descrita em 1924 a partir de ácaros coletados na Índia em coqueiro (Hirst, 1924) e em 2004 foi registrada pela primeira vez nas Américas, na ilha de Martinica (Etienne & Flechtmann, 2004). A sua dispersão para outros países ocorreu

rapidamente em um relativo curto período de tempo atingindo EUA (Flórida), México, Colômbia e Venezuela em um período de 5 a 6 anos (Navia et al., 2010; Carrillo et al., 2011). No Brasil, o ácaro-vermelho-das-palmeiras foi encontrado pela primeira vez em 2009, em coqueiros, no Município de Boa Vista, RR (Navia et al., 2010), e posteriormente, em Manaus, AM (Rodrigues; Antony, 2011) e o primeiro registro da região Nordeste sai em 2016, no estado do Ceará (Melo et al., 2018).

Além de sua rápida disseminação, *R. indica* tem ampliado sua gama de hospedeiros, tendo atualmente mais de 150 espécies hospedeiras (Castro et al. 2023) pertencentes as famílias: Arecaceae, Cannaceae, Cicadaceae, Heliconiaceae, Musaceae, Strelitziaceae, Zingiberaceae e Pandanaceae (Carrillo et al. 2012, Gondim Jr. et al. 2012). Dentre as espécies da família Aceraceae, a carnaúba (*Copernicia prunifera* Miller H. E. Moore) foi recentemente considerada como mais uma hospedeira do *R. indica* (Sousa et al., 2021).

*Raoiella indica* possui os seguintes estágios de desenvolvimento: ovo, larva, protoninfa, deutoninfa e adulto, tendo todas as fases uma cor avermelhada, facilitando a detecção. Os ovos de *R. indica* são elípticos com superfície lisa, medem entre 90 e 100 µm de comprimento. Uma das extremidades dos ovos é mais larga. As larvas apresentam 3 pares de pernas e iniciam a alimentação logo após a eclosão. As protoninfas apresentam coloração um pouco mais intensa, 4 pares de pernas e medem entre 180 e 200 µm de comprimento. Deutoninfas medem entre 240 e 250 µm de comprimento e são ovais. As fêmeas adultas apresentam a região posterior do opistossoma ovalada e medem entre 250 e 320 µm de comprimento e 190 a 220 µm de largura, enquanto os machos são menores, medindo entre 220 e 230 µm de comprimento e 140 a 150 µm de largura (Nageshachandra; Channabasavanna, 1984). Reproduz-se de forma sexuada e assexuada, sendo que ovos fecundados originam fêmeas, enquanto os não fecundados dão origem a machos (Teodoro, 2016).

Fidelis et al. (2019) estudando os parâmetros biológicos do *R. indica* em diferentes temperaturas observou um período de desenvolvimento de ovo a adulto variando de 13 a 35 dias, sobrevivência de 1 a 81 dias e a fecundidade alcançou até 47 ovos/fêmea. Ao comparar o tempo de desenvolvimento em coqueiro e bananeira não foi observado diferença, contudo observou-se que no coqueiro o período de oviposição e a longevidade foram maiores do que na bananeira (González-Reus & Ramos 2010).

Infestações de *R. indica* acontece na face abaxial das folhas de coqueiro (Etienne & Fletchmann, 2006), geralmente com múltiplas colônias por folíolo que podem variar

de 300 a mais de 4.000 ovos por colônia, e milhões de ácaros por árvore (Beard et al. 2012). *Raoiella indica* possui um estilete relativamente curto (aprox. 170  $\mu\text{m}$ ) (Ochoa et al. 2011) quando comparado com um inseto que pode chegar a aproximadamente 800  $\mu\text{m}$ , por exemplo (Pointeau et al. 2012). Portanto, o tamanho do seu estilete não possibilita que se alimente de tecidos mais profundos (Ochoa et al. 2011), aproveitando a abertura estomática para consumir o conteúdo celular (Ochoa et al. 2011), entretanto, esta alimentação provoca mudanças significativas de cor em ambas as superfícies das folhas do hospedeiro, de verde para roxo nas Myrtaceae e verde para amarelo nas Arecaceae (Ochoa et al. 2011). Não é sabido ainda se ácaros do gênero *Raoiella* matam as células-guarda durante o processo de alimentação. Contudo, sabe-se que quando as células-guarda não mais funcionam os estômatos ficam permanentemente abertos para a atmosfera, e planta não apenas perde sua capacidade de regular as trocas gasosas e a perda de água, mas também seu tecido interno fica diretamente exposto ao ataque de fungos e patógenos (Ochoa et al. 2011).

Nas últimas décadas o controle de pragas tem-se adaptado para o manejo integrado de pragas (MIP). Uma das importantes premissas é a utilização racional das ferramentas de controle afim de reduzir o impacto ambiental causado pelas aplicações de pesticidas. O caso *R. indica* é particularmente preocupante, pois, 14 anos após sua introdução no Brasil, se dispõem apenas de um grupo químico para o controle, Vertimec (abamectina). A abamectina faz parte do grupo das avermectinas, possui ação translaminar, agindo por contato e ingestão e atuando como moduladores alóstericos de canais de cloro mediados por glutamato, interferindo no sistema nervoso e na musculatura do alvo biológico (IRAC 2023). A abamectina é um produto com baixa seletividade tendo um amplo espectro de ação (Putter et al., 1981). O fato do cocoicultor dispor apenas de um produto permitido pela legislação brasileira para controle de *R. indica*, e este ser de baixa seletividade, aumenta muito a chance de desenvolvimento de resistência pelas populações de ácaros e efeitos adversos nos organismos não-alvo. Recentemente foi registrado um agente biológico para controle de *R. indica*, a espécie *Neoseiulus barkeri* Hughes (Barkmax®) (Agrofit, 2023). A utilização de mais de uma ferramenta de controle é importante para o manejo de resistência e reduz os impactos de pesticidas, porém, a compatibilidade entre controle químico e biológico ainda é um grande desafio.

Na cultura do coqueiro normalmente utiliza-se a pulverização como forma de aplicação dos pesticidas, contudo nos últimos anos produtores e cientistas tem avaliado o uso da endoterapia como uma alternativa. A endoterapia consiste na injeção ou infusão

do agrotóxico no estipe da palmeira, através do qual será translocado pelos tecidos vasculares, conseguindo atingir partes mais altas do dossel (Moura, 2021). Na endoterapia por (a) injeção, o estipe é perfurado com o auxílio de uma furadeira num ângulo de aproximadamente 45°, e neste orifício é aplicada a dosagem de agrotóxico com uma seringa de polietileno; (b) na infusão, o próprio equipamento é encarregado de perfurar o estipe e introduzir os agrotóxicos. Outra diferença destas aplicações é que na infusão só é retirado o equipamento quando se tem a garantia de que todo o agrotóxico foi aplicado/adsorvido. Já na injeção, a própria planta é encarregada de absorver os agrotóxicos aplicados dentro do orifício (Ferreira,2016; Montecchio, 2013).

Há alguns fatores que podem influenciar na translocação do agrotóxico injetado, como fatores biológicos, químicos, ecológicos e tecnológicos. Nos fatores biológicos podem ser citados: a espécie de árvore, tipo de xilema e anatomia da árvore. Nos fatores químicos a solubilidade do produto, dose utilizada e o tempo de degradação podem ser fatores que afetem a translocação. Dentre os fatores ecológicos que tem grande influência destacam-se o potencial hídrico da planta, umidade relativa do ar e a temperatura que influenciam no translocamento de solutos na planta. Já o método utilizado (injeção ou infusão), os tipos de aparelhos usados na aplicação do agrotóxico são fatores tecnológicos que podem interferir na translocação do produto (Acimovic, 2014)

Ferreira (2016) avaliou o translocamento de inseticidas e fungicidas na estirpe do coqueiro através de cromatografia, retirando amostras em pontos acima de onde foi realizado a endoterapia. Os resultados confirmaram a translocação pois nas amostras que foram coletados do estipe acima do ponto de aplicação em intervalos de 2 a 45 dias foram detectados e quantificados. Também foi avaliado o albume sólido e líquido (água de coco), não sendo encontrado nenhum resíduo dos pesticidas aplicados. Portanto, a técnica mostra-se segura e nesse período pode-se garantir a qualidade dos frutos.

Contudo ainda não se sabe os impactos ecológicos deste método necessitando de mais estudos sobre sua eficiência no controle de pragas. Com isso a presente proposta foi elaborada com o objetivo de investigar o uso da endoterapia como alternativa de controle do ácaro *R. indica*, sua eficiência em relação a pulverização e seu efeito sobre o nível de infestação da população do *R. indica* e alterações fisiológicas no hospedeiro.

## REFERÊNCIAS

ACIMOVIĆ, S. G. et al. Spatial and temporal distribution of trunk-injected imidacloprid in apple tree canopies. **Pest Management Science**, v. 70, n. 11, p. 1751–1760, 2014.

ADKINS, S.; FOALE, M.; HARRIES, H. Growth and production of coconut. In: **Encyclopedia of Life Support Systems**. Oxford: Eolss Publishers, 2011. Disponível em: <http://www.eolss.net>. Acesso em: 20 jan. 2023.

AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2023. Disponível em: [http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons).

BAPTISTELLA, C. S. L.; COELHO, P. J. Cocoicultura no estado de São Paulo, 2015 a 2020. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 11, p. 1–6, nov. 2021. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br>. Acesso em: 23 jan. 2023.

BEARD, J. J. et al. External mouthpart morphology in the Tenuipalpidae (Tetranychoidae): *Raoiella*, a case study. **Experimental and Applied Acarology**, v. 57, p. 227–255, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9540-2>.

BENASSI, A. C.; FANTON, C. J.; SANTANA, E. N. **O cultivo do coqueiro-anão-verde: tecnologias de produção**. Vitória: Incaper, 2013. 120 p.

BRAINER, M. S. C. P. **Coco: produção e mercado**. Caderno Setorial ETENE, ano 6, n. 206, dez. 2021.

CARRILLO, D.; NAVIA, D.; FERRAGUT, F.; PEÑA, J. E. First report of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in Colombia. **Florida Entomologist**, v. 94, p. 370–371, 2011.

CARRILLO, D. et al. A review of the natural enemies of the red palm mite, *Raoiella indica*. **Experimental and Applied Acarology**, v. 57, p. 347–360, 2012.

CASTRO, E. B. et al. **Tenuipalpidae Database**. 2023. Disponível em: <http://www.tenuipalpidae.ibilce.unesp.br>.

DA SILVA, A. A. G. et al. Zoneamento edafo-climático para a cultura do coqueiro (*Cocos nucifera* L.) no estado de Sergipe. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 16., 2009, Belo Horizonte. Anais... Viçosa: UFRV; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009.

FAOSTAT. **Crops and livestock products database**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat>. Acesso em: 18 out. 2021.

FERREIRA, J. M. S. Manejo integrado de pragas do coqueiro. **Ciência Agrícola**, v. 8, p. 21–29, 2008.

FERREIRA, J. M. S. et al. Pragas do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. (ed.). **A cultura do coqueiro no Brasil**. 2. ed. rev. ampl. Brasília: SPI; Aracaju: Embrapa CPATC, 1998. p. 189–267.

FERREIRA, J. A. **Desenvolvimento de métodos analíticos para a determinação de agrotóxicos em estipe de coqueiros (*Cocos nucifera* L.), água-de-coco e albúmen sólido por UHPLC-MS/MS e avaliação da translocação por endoterapia**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

FIDELIS, E. G. et al. Life table parameters of the red palm mite *Raoiella indica* at various temperatures and for sexual and asexual reproduction. **Experimental and Applied Acarology**, v. 78, n. 4, p. 535–546, 2019.

FLECHTMANN, C. H. W.; ETIENNE, J. The red palm mite, *Raoiella indica* Hirst, a threat to palms in the Americas. **Systematic and Applied Acarology**, v. 9, p. 109–110, 2004.

GONDIM JR., M. G. C. et al. Can the red palm mite threaten the Amazon vegetation? **Systematics and Biodiversity**, v. 10, p. 527–535, 2012.

GONZÁLEZ-REUS, M.; RAMOS, M. Plantas hospedantes de *Raoiella indica* en el municipio Santiago de Cuba. **Revista de Protección Vegetal**, v. 25, n. 1, p. 5–6, 2010.

IRAC. **Classificação do modo de ação dos inseticidas**. 2023. Disponível em: <https://www.illac-br.org/modo-de-acao>. Acesso em: 25 jan. 2023.

MELO, J. W. S. et al. The invasive red palm mite, *Raoiella indica* Hirst, in Brazil: range extension and arrival into the most threatened area, the Northeast Region. **International Journal of Acarology**, v. 44, n. 4–5, p. 146–149, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/01647954.2018.1474945>.

KANE, E. C.; OCHOA, R. **Detection and identification of the red palm mite *Raoiella indica***. Beltsville: USDA, 2006.

MARTINS, C. R.; JESUS JÚNIOR, L. A. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama 2014**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014.

MONTECCHIO, L. A Venturi effect can help cure our trees. **Journal of Visualized Experiments**, n. 80, e51199, 2013.

MORAIS, E. G. F.; NAVIA, D.; GONDIM JR., M. G. C. **Dez perguntas e respostas sobre o ácaro-vermelho-das-palmeiras *Raoiella indica***. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2011.

MOURA, J. I. L. **Endoterapia**. Ilhéus: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2021.

NAGESHACHANDRA, B. K.; CHANNABASAVANNA, G. P. Development and ecology of *Raoiella indica* on coconut. In: GRIFFITHS, D. A.; BOWMAN, C. E. (ed.). **Acarology VI**. West Sussex: Ellis Horwood, 1984.

NAVIA, D. et al. Current status and distribution of *Raoiella indica* in Brazil. In: **INTERNATIONAL CONGRESS OF ACAROLGY**, 13., 2010, Recife. Abstract book... p. 173.

NIRAL, V.; JERARD, B. Botany, origin and genetic resources of coconut. In: NAMPOOTHIRI, K. U. K. et al. (ed.). **The coconut palm (Cocos nucifera L.): research and development perspectives**. Singapore: Springer, 2019. p. 57–111.

OCHOA, R. et al. Herbivore exploits chink in armour of host. **American Entomologist**, v. 57, p. 26–29, 2011.

POINTEAU, S. et al. Exceptional plant penetration and feeding upon cortical parenchyma cells by the woolly poplar aphid. **Journal of Insect Physiology**, v. 58, p. 857–866, 2012.

PUTTER, I. et al. Avermectins: novel insecticides, acaricides and nematocides from a soil microorganism. **Experientia**, v. 37, p. 963–964, 1981.

RODRIGUES, J. C. V.; ANTONY, L. M. First report of *Raoiella indica* in Amazonas state, Brazil. **Florida Entomologist**, v. 94, p. 1073–1074, 2011.

SOUSA NETO, E. P. et al. Carnaúba (*Copernicia prunifera*) uma nova hospedeira de *Raoiella indica*. **Entomological Communications**, v. 3, ec03045, 2021. DOI: <https://doi.org/10.37486/2675-1305.ec03045>.

TEODORO, A. V. et al. **Ácaro-vermelho-das-palmeiras *Raoiella indica*: nova praga do coqueiro no Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016.

## CAPÍTULO I

Alterações fisiológicas em plantas de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) provocadas por *Raoiella indica* Hirst e a endoterapia como alternativa para seu controle.

### RESUMO

A introdução de uma espécie invasora em um determinado habitat pode ameaçar a biodiversidade daquele ambiente, sendo necessários estudos para investigar seus efeitos. O ácaro *Raoiella indica*, por exemplo, vem ampliando sua gama de hospedeiros e se disseminado rapidamente pelo Brasil, causando prejuízos para os cocoicultores. Os produtores possuem poucas opções de produtos registrados a serem aplicados para conter essa disseminação, sendo o agente biológico *Neoseiulus barkeri* Hughes (Barkmax®) e o produto químico Vertimec (abamectina). Devido à escassez de opções, cocoicultores vem buscando técnicas de aumentar a eficiência de aplicação. Uma dessas técnicas é a endoterapia, que consiste na aplicação do produto químico na estirpe do coqueiro. Este estudo investigar não só a utilização da técnica de endoterapia visando o controle de *R. indica* em plantas de coqueiro, como também as potenciais alterações fisiológicas da planta hospedeira em função do ataque da praga. Este estudo consistiu na análise de plantas em uma área experimental sob 3 tratamentos (Testemunha, endoterapia e pulverização) em que buscou-se analisar os efeitos da infestação de *R. indica* sob a fisiologia da planta e a eficiência da endoterapia no controle do ácaro em relação a pulverização. Os resultados do presente estudo demonstraram que: (i) a endoterapia com o acaricida abamectina foi eficiente na redução das populações de *R. indica*; (ii) o intervalo entre aplicações do acaricida abamectina via endoterapia pode chegar a 10 meses (300 dias); (iii) aplicações de abamectina, a cada 2 meses, via pulverizações da copa da planta contribuem para redução das populações de *R. indica*; (iv) as principais alterações fisiológicas em plantas de coqueiro mediadas pelo ataque de *R. indica* são observadas sobre a taxa fotossintética líquida, condutância estomática e transpiração; e (v) as alterações fisiológicas podem variar de acordo com as estações (chuvosa e seca).

## 1.1 INTRODUÇÃO

O controle de pragas de parte aérea na cultura do coqueiro tem sido feito majoritariamente através do emprego de pesticidas via pulverizações convencionais (Melo et al. 2012, Warwick et al. 2018). No entanto, essa é uma prática de difícil execução não só por requerer equipamentos adequados à altura das plantas (Wang e Liu, 2007; Menon e Pandalai, 1958; Doccola e Wildo, 2012), mas também devido a arquitetura da copa da planta com folhas e cachos emitidos em espiral (a cada 120°) e sobrepostas (Sobral 1998). Tais limitações associadas as fortes correntes de ventos contribuem tanto para uma cobertura ineficiente da planta quanto para uma maior contaminação, quer seja humana ou ambiental (Moura & Acimovic 2021). Uma alternativa de controle que proporciona não só uma melhor cobertura como também um menor impacto ambiental é a endoterapia. A endoterapia consiste na introdução do pesticida no estipe da planta, que posteriormente é translocado via sistema vascular da planta alcançando as diferentes partes da copa da planta, incluindo aquelas que dificilmente seriam cobertas através das pulverizações convencionais (Moura & Acimovic 2021). Em razão do baixo impacto dessa prática (risco mínimo ao aplicador e inexistência de deriva durante a aplicação), a endoterapia tornou-se uma prática bastante usual em vários países da América, Ásia, Europa e Oceania (Ferreira et al. 2023).

A endoterapia tem sido o foco de alguns estudos recentes na cultura do coqueiro, no entanto, poucos esforços têm sido empregados para se conhecer o potencial dessa técnica no controle de artrópodes-pragas (Moura et al. 2020, Ferreira et al. 2022). Dentre os inúmeros artrópodes-pragas associados a cultura do coqueiro, ácaros tem sido mencionados como pragas-chaves da cultura e destacam-se pelo potencial de perdas que podem ocasionar, chegando a infestar até 100% das plantas em áreas produtivas e ocasionando redução na produção de até 80% (Roda et al. 2012, Navia et al. 2013). A espécie *Raoiella indica* Hirst (Tenuipalpidae), tem atraído a atenção de pesquisadores devido a sua rápida expansão territorial na América (CABI 2023), e ao aumento expressivo no número de hospedeiros (Castro et al. 2023). Em plantas de coqueiro, as colônias de *R. indica* desenvolvem-se na superfície inferior dos folíolos (Melo et al. 2018). Altas infestações de *R. indica* causam amarelecimento severo das folhas, as quais posteriormente evoluem para necrose dos tecidos (Flechtmann & Etienne 2004; Welbourn 2009; Peña et al. 2006). Plantas jovens de coqueiro podem ter seu

desenvolvimento comprometido ou morrer tanto em viveiros quanto nos campos (Sarkar & Somchoudhury 1988; Sathiamma 1996). Quando as infestações ocorrem em plantas que estão sob stress (hídrico ou nutricional), as plantas são mais seriamente afetadas (Moutia 1958; Jeppson et al. 1975).

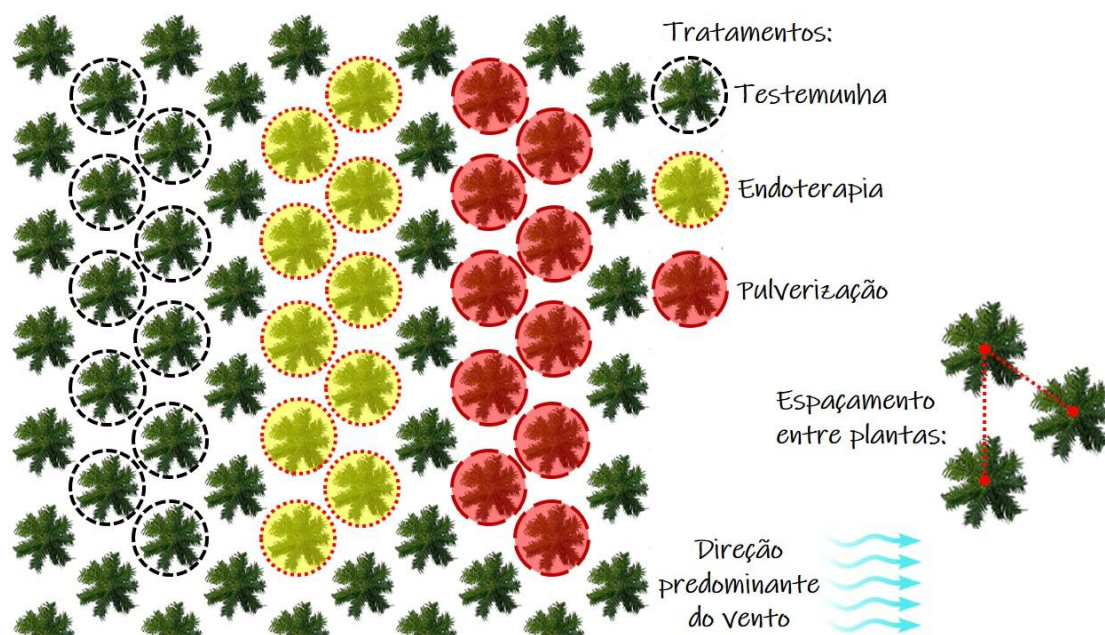
O presente estudo tem como objetivo investigar a eficiência da endoterapia visando o controle de *R. indica* em plantas de coqueiro, como também as potenciais alterações fisiológicas da planta de coqueiro mediadas pelo ataque de *R. indica*. No estudo de eficiência da endoterapia será utilizado o acaricida abamectina, única molécula registrada para a praga e cultura no Brasil (Agrofit 2023), sendo esta empregada através de pulverizações convencionais (seguindo recomendações do fabricante) e também injetado no estipe (endoterapia). Para o estudo das alterações fisiológicas mediadas pelo ataque de *R. indica* serão avaliados parâmetros fisiológicos convencionais (taxa fotossintética líquida, condutância estomática, concentração interna de CO<sub>2</sub>, rendimento quântico efetivo do fotossistema II, dissipação fotoquímica e não fotoquímica, taxa relativa de transportes de elétrons, transpiração e razão entre CO<sub>2</sub> interno/CO<sub>2</sub> ambiente) para ensaios envolvendo stress em plantas (Lichtenthaler 1998, Suzuki et al. 2014), aferido em plantas onde as colônias de *R. indica* se desenvolveram sem qualquer intervenção fitossanitária e em plantas onde suas populações foram controladas utilizando-se pulverizações convencionais ou endoterapia.

## 1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em campo (cultivo comercial de coqueiro) e laboratório. O cultivo comercial escolhido para estudo fica situado em uma fazenda no município de Paracuru (3.4583°S, 39.1048°W), CE, Brasil. Segundo a classificação proposta por Köppen, o clima da região é do tipo Aw (clima tropical com inverno seco), com temperatura e pluviosidade média anual de 26,7°C e 1073 mm, respectivamente (Kottek et al. 2006). O cultivo escolhido apresentava homogeneidade de plantas (plantas da variedade anão verde com 2 anos de idade), além da incidência de *R. indica* sobre as mesmas. Durante o período experimental todas as plantas receberam os mesmos tratamentos culturais (irrigação, adubação e colheita de frutos).

Para instalação do experimento foi demarcada uma área de aproximadamente 0,26 ha, contendo 60 plantas (densidade de plantas 232 plantas/hectare). Destas, apenas 30 plantas foram avaliadas no experimento, as demais serviram como barreiras isolando os tratamentos. Os seguintes tratamentos foram estabelecidos: (i) plantas testemunhas, livres

de quaisquer tratamentos fitossanitários durante o período experimental; (ii) plantas submetidas ao acaricida abamectina (Abamex, 18 g i.a. L-1, concentrado emulsionável, Nufarm, Maracanaú, Ceará, Brasil) via endoterapia; e (iii) plantas pulverizadas com acaricida abamectina. Para cada tratamento foram avaliadas 10 plantas, sendo cada planta considerada como uma repetição (Figura 1). Plantas tratadas com o acaricida via endoterapia tiveram seu estirpe perfurado com o auxílio de uma furadeira a 30 cm do solo e com uma angulação de 45°. No orifício gerado foi injetado 15 mL do acaricida (quantidade utilizada por cococultores da região), com o auxílio de uma seringa. Após a aplicação o orifício foi fechado com um pedaço de madeira verde. A pulverização das plantas com o acaricida foi realizada conforme recomendações do fabricante, a dose utilizada foi 0.75 mL do produto/L de água (volume de calda por hectare 400L), sendo a aplicação realizada com o auxílio de um tanque tratorizado e direcionando a aplicação para toda a área foliar do coqueiro, com intervalo entre aplicações de 15 dias (Agrofit 2023).



**Figura 1.** Setup experimental demonstrando os tratamentos estabelecidos e suas disposições em campo.

### 1.2.1 Infestação de *R. indica* em plantas de coqueiro

O monitoramento da infestação de *R. indica* foi realizado através da contagem das formas móveis do ácaro em folíolos das plantas submetidas aos diferentes tratamentos. A primeira avaliação ocorreu imediatamente antes da instalação dos tratamentos (dia 0), a segunda avaliação ocorreu 60 dias após a instalação dos tratamentos, as demais avaliações

foram realizadas mensalmente até que a infestação média inicial (dia 0) no tratamento com plantas submetidas a endoterapia fossem reestabelecida (determinando-se assim o intervalo mínimo entre aplicações da endoterapia). Todas as plantas de cada tratamento foram avaliadas, de cada uma delas foram retirados três folíolos da folha nº 14 do coqueiro (considerando-se como 0 a folha prestes a abrir; Sobral 1998). Os folíolos foram armazenadas em sacos plásticos, depositados em isopor e levados ao Laboratório de Acarologia da Universidade Federal do Ceará. No laboratório as amostras foram armazenadas em refrigerador (regulado a 10 °C) até a inspeção, que ocorreu em até 5 dias após a coleta. A inspeção dos folíolos foi realizada em estereomicroscópio (Zeiss Stemi 305), e com o auxílio de um contador analógico foi realizada a quantificação de todas as formas móveis de *R. indica*. Em cada avaliação pelo menos 100 indivíduos adultos de *R. indica* foram coletados aleatoriamente e montados em um conjunto de lâminas e lamínulas, com Hoyer como meio de montagem, com posterior confirmação da espécie.

### **1.2.2 Alterações fisiológicas em plantas de coqueiro provocadas por *R. indica***

Para caracterização das alterações fisiológicas (trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*) as avaliações foram conduzidas sempre no mesmo horário das 08:00 às 11:00 h da manhã, pois após este horário os estômatos tendem a se fechar devido as altas temperaturas e com isso diminuindo a taxa fotossintética. As avaliações foram realizadas em dois momentos, sendo uma na estação chuvosa e a outra na estação seca. Em cada uma das avaliações, os folíolos coletados para monitoramento da infestação de *R. indica* antes de serem armazenados em sacos plásticos foram submetidos a um analisador de gases por infravermelho (IRGA, Li-Cor - Li6400 XT - com concentração de CO<sub>2</sub> na câmara a 400 mol<sup>-1</sup> mol e 1200 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Dessa forma foram avaliados três folíolos de cada planta (repetição) em cada tratamento. Os seguintes parâmetros foram estimados: taxa fotossintética líquida (*A*, μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*, mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*, μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>), rendimento quântico efetivo do FSII (fotossistema II), dissipação fotoquímica (qP) e não fotoquímica (qN), taxa relativa de transportes de elétrons (ETR, μMols elétrons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), transpiração (Tr, mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e razão entre CO<sub>2</sub> interno/CO<sub>2</sub> ambiente.

### **1.2.3 Análise dos dados**

Como as densidades de ácaros mostraram um padrão altamente não linear ao longo do tempo, os números médios de ácaros por folíolo foram transformados em log

(x+1). Os dados foram analisados utilizando um modelo linear de efeitos mistos (LME) com tempo, tratamento e interação como fatores fixos. A réplica (planta) foi usada como fator aleatório para correção de medidas repetidas. Análises adicionais foram conduzidas para obter informações sobre as datas específicas em que os tratamentos mostraram diferenças significativas usando modelos lineares generalizados seguidos de comparações pareadas (ajustadas com Tukey,  $\alpha=0,05$ ). Os parâmetros fisiológicos (taxa fotossintética líquida ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ), rendimento quântico efetivo do FSII (fotossistema II), dissipação fotoquímica ( $q_P$ ) e não fotoquímica ( $q_N$ ), taxa relativa de transportes de elétrons (ETR,  $\mu\text{Mols elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração (Tr,  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e razão entre  $\text{CO}_2$  interno/ $\text{CO}_2$  ambiente) foram submetidos a Two-Way MANOVA, tendo estação (chuvosa e seca) e tratamento (plantas tratadas com abametina via pulverização ou endoterapia, e plantas não tratadas), como variáveis explicativas. Quando as MANOVAs foram significativas, cada uma das variáveis dependentes foi analisada separadamente através de Two-Way ANOVA, sendo os modelos simplificados através de um procedimento de exclusão gradual de interações e fatores não significativos, e por fim foram realizados contrastes entre os tratamentos (Crawley, 2013). Todas as análises foram realizadas através do Software R (R version 4.2.1 2022-06-23 ucrt).

### 1.3 RESULTADOS

#### 1.3.1 Infestação de *R. indica* em plantas de coqueiro

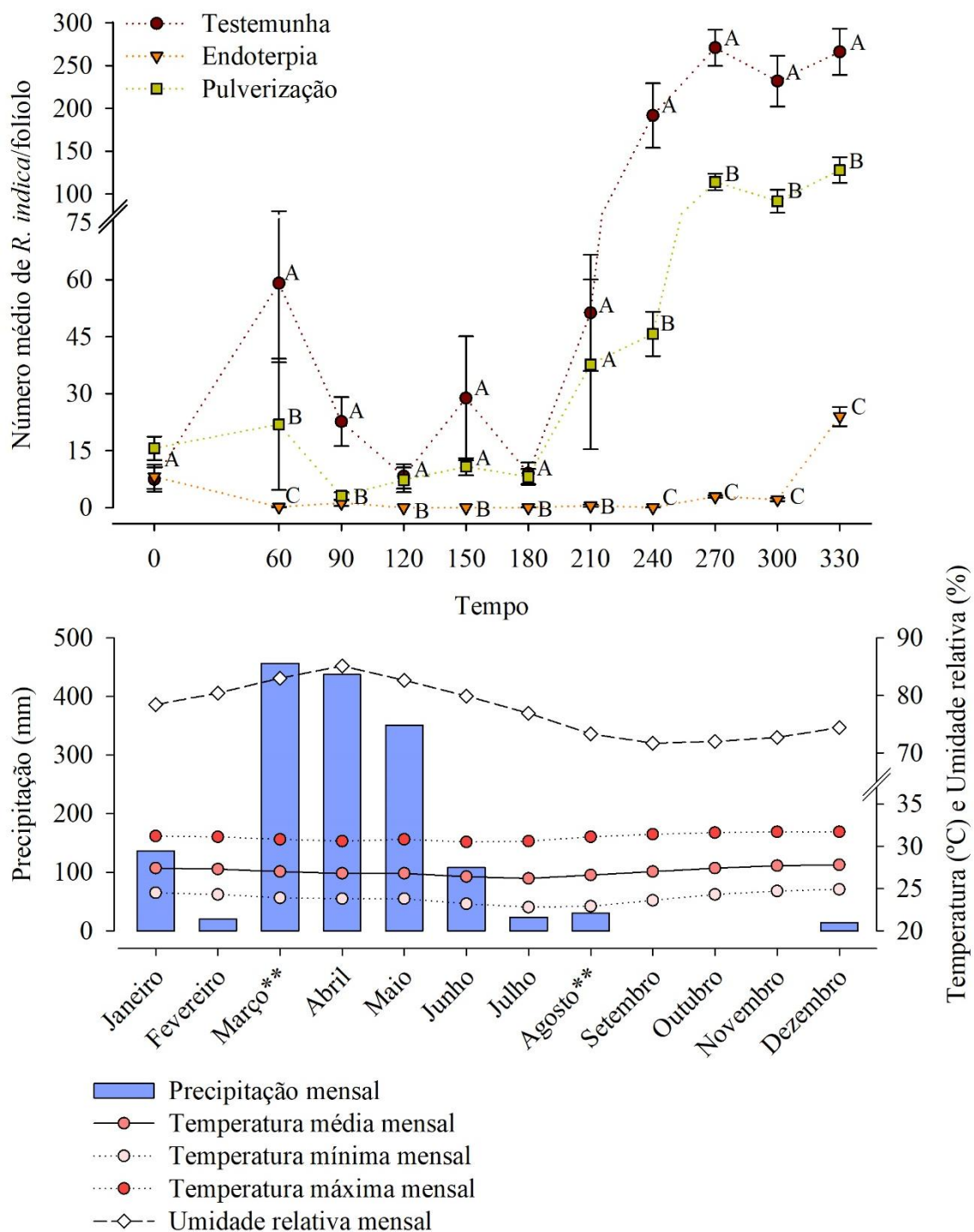
O número médio de formas móveis de *R. indica*/folíolo foi afetado diferentemente pelos tratamentos ao longo do tempo (LME, interação tratamento x tempo:  $g.l=2, 297$ ;  $F=16.0285$ ;  $P < .0001$ ; Figura 2). Na avaliação prévia a instalação dos tratamentos (tempo 0) não foi observada diferença no número médio de formas móveis de *R. indica*/folíolo, demonstrando que os tratamentos encontravam-se igualmente infestados por *R. indica*.

As cinco avaliações seguintes (tempo 60 a 180 dias após a instalação dos tratamentos, meses de março a julho) compreenderam o período chuvoso da área experimental com precipitação média mensal acumulada variando entre 456 e 24 mm (observadas em março e julho, respectivamente). Durante esse período foi observado que nas plantas tratadas com abamectina via pulverização ou não tratadas (testemunha) o número médio de formas móveis de *R. indica*/folíolo manteve-se relativamente baixo (não superior a 60 formas móveis /folíolo). Para o período chuvoso, diferenças entre plantas tratadas com abamectina via pulverização ou não tratadas (testemunha) foram

observadas apenas para as duas primeiras avaliações (tempo de 60 e 90 dias após a instalação dos tratamentos), com números médios de formas móveis de *R. indica*/folíolo superiores para plantas não tratadas (testemunha).

As demais avaliações (tempo 210 a 330 dias após a instalação dos tratamentos, meses de agosto a dezembro) compreenderam o período seco da área experimental com precipitação média mensal acumulada variando entre 30 a 0 mm (período mais seco observado para os meses de setembro, outubro e novembro). Durante esse período nas plantas tratadas com abamectina via pulverização ou não tratadas (testemunha) houve um aumento no número médio de formas móveis de *R. indica*/folíolo, alcançando médias superiores a 100 formas móveis de *R. indica*/folíolo observadas nas três últimas avaliações (tempo 270 a 330 dias após a instalação dos tratamentos, meses de outubro a dezembro). Para o período seco, o número médio de formas móveis de *R. indica*/folíolo foi sempre superior nas plantas não tratadas (testemunha) comparativamente as médias observadas em plantas tratadas com abamectina via pulverização, a única exceção foi observada na primeira avaliação do período seco (tempo de 210 dias após a instalação dos tratamentos, mês de agosto), quando não foi observada diferença entre os tratamentos.

Plantas tratadas com abamectina via endoterapia reduziram o número médio de formas móveis de *R. indica*/folíolo a valores próximo de zero desde a primeira avaliação após a instalação dos tratamentos (60 dias) até a nova avaliação após a instalação dos tratamentos (300 dias, mês de novembro). Redução mantida por todo período chuvoso e quase todo período seco da área experimental. O número médio de formas móveis de *R. indica*/folíolo apenas foi reestabelecido após 330 dias da aplicação da endoterapia.



**Figura 2.** Número médio de formas móveis de *R. indica*/folíolo ( $\bar{X} \pm EP$ ) em plantas de coqueiro (*C. nucifera*) tratadas com abamectina via pulverização ou endoterapia ou não tratadas com acaricidas (testemunha). Letras diferentes indicam diferenças significativas em datas específicas com base na análise LEM e contrastes por Tukey ( $\alpha= 0,05$ ). Dados climáticos (precipitação acumulada, temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa média do ar) para o período experimental. Meses seguidos por asteriscos indicam quando foram realizadas as avaliações fisiológicas das plantas.

### 1.3.2 Alterações fisiológicas

A Two-Way MANOVA foi significativa para todos os efeitos investigados, estação (chuvosa e seca), tratamento (plantas não tratadas ou tratadas com abamectina via pulverização ou endoterapia) e para sua interação (Tabela 1). Quando os parâmetros fisiológicos (taxa fotossintética líquida, condutância estomática, concentração interna de CO<sub>2</sub>, rendimento quântico efetivo do fotossistema II, dissipação fotoquímica e não fotoquímica, taxa relativa de transportes de elétrons, transpiração e razão entre CO<sub>2</sub> interno/CO<sub>2</sub> ambiente) foram analisados separadamente para determinar qual variável estava causando o efeito, modelos significativos foram observados apenas para as seguintes variáveis dependentes: taxa fotossintética líquida, condutância estomática, concentração interna de CO<sub>2</sub>, dissipação não fotoquímica, transpiração e razão entre CO<sub>2</sub> interno/CO<sub>2</sub> ambiente (Tabela 2).

**Tabela 1.** Resultado da Two-Way MANOVA, com a taxa fotossintética líquida, condutância estomática, concentração interna de CO<sub>2</sub>, rendimento quântico efetivo do FSII, dissipação fotoquímica e não fotoquímica, taxa relativa de transportes de elétrons, transpiração e razão entre CO<sub>2</sub> interno/CO<sub>2</sub> ambiente como variáveis dependentes, e estação (chuvosa e seca), tratamento (plantas não tratadas ou tratadas com abamectina via pulverização ou endoterapia) como variáveis explicativas.

<b>Efeito</b>	<b><i>Pillai</i></b>	<b><i>F</i></b>	<b>g.l. (num; den)</b>	<b><i>P</i></b>
Estação	0.37972	3.1289	9; 46	0.005
Tratamento	0.76374	3.2262	18; 94	<.001
Estação x Tratamento	0.93426	4.5780	18; 94	<.001

Para taxa fotossintética líquida não foram observados efeitos da estação (chuvosa ou seca) e da interação estação x tratamento, sendo portanto observado efeito significativo apenas para tratamento (Tabela 2). Plantas não tratadas (testemunha) ou tratadas com abamectina via pulverização apresentaram redução da taxa fotossintética líquida em comparação com plantas tratadas com endoterapia (Figura 3A). Para as avaliações realizadas na estação chuvosa essas reduções foram de aproximadamente 3% em relação as plantas tratadas com abamectina via pulverização e de aproximadamente 22% em relação as plantas não tratadas (testemunha). Já para as avaliações na estação seca, as reduções foram de aproximadamente 38% em relação as plantas tratadas com abamectina

via pulverização e de aproximadamente 35% em relação as plantas não tratadas (testemunha).

Efeitos significativos foram observados para condutância estomática, tanto para as variáveis preditoras principais (estação e tratamento) quanto para interação entre estas (Tabela 2). Nas avaliações realizadas durante a estação chuvosa foi observado que tanto plantas tratadas com abamectina via endoterapia quanto via pulverização apresentaram valores médios de condutância estomática superiores aqueles obtidos em plantas não tratadas (41% e 35% superiores, respectivamente) (Figura 3B). Nas avaliações realizadas durante a estação seca foi observado que plantas não tratadas (testemunha) apresentaram as maiores médias de condutância estomática, enquanto que plantas tratadas com abamectina via pulverização apresentaram as menores médias e valores intermediários foram observados para plantas tratadas com abamectina via endoterapia (Figura 3B). Plantas tratadas com abamectina (via endoterapia ou pulverização) apresentaram médias de condutância estomática maiores nas avaliações conduzidas no período chuvoso em comparação com aquelas conduzidas no período seco (Figura 3B). O inverso foi verificado para plantas não tratadas (Figura 3B).

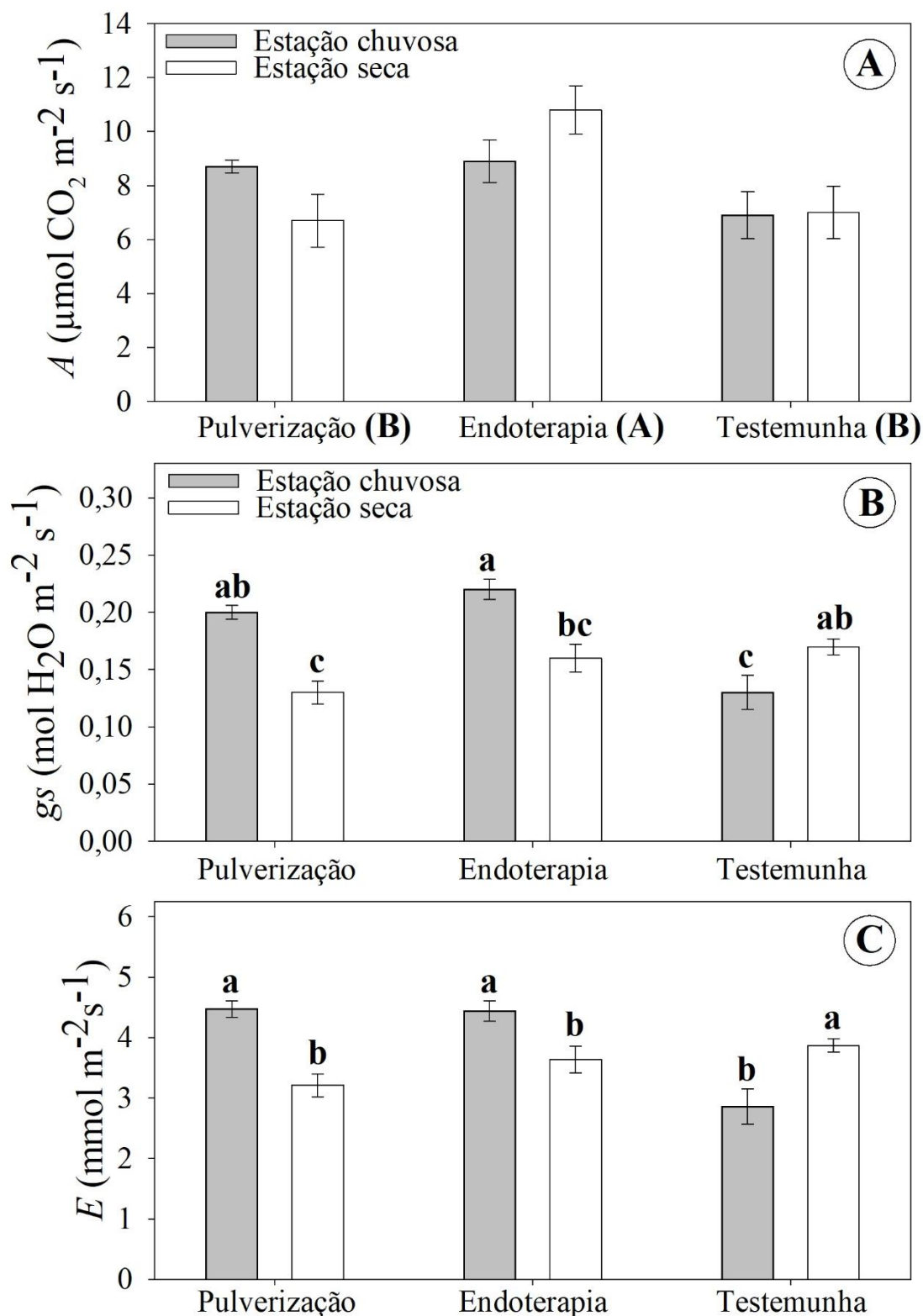
Em relação a transpiração também foram observados efeitos significativos tanto para as variáveis preditoras principais (estação e tratamento) quanto para sua interação (Tabela 2). Nas avaliações realizadas durante a estação chuvosa foi observada que as taxas de transpiração foram superiores em plantas tratadas com abamectina via endoterapia ou pulverização em relação as plantas não tratadas (testemunha) (35% e 36% superiores, respectivamente). Já nas avaliações realizadas durante a estação seca o oposto foi verificado, com a taxa de transpiração em plantas não tratadas sendo 6% e 17% superior do que aquelas observadas para plantas tratadas com abamectina via endoterapia e pulverização, respectivamente. Plantas tratadas com abamectina (via endoterapia ou pulverização) apresentaram médias de condutância estomática maiores nas avaliações conduzidas no período chuvoso em comparação com aquelas conduzidas no período seco (Figura 3C). O inverso foi verificado para plantas não tratadas (Figura 3C).

Paras as variáveis concentração interna de CO<sub>2</sub>, dissipação não fotoquímica e razão entre CO<sub>2</sub> interno/CO<sub>2</sub> ambiente os desdobramentos dos modelos individuais demonstraram que não há efeito das variáveis preditoras isoladas (estação e tratamentos,  $P \geq 0,06$ ) embora haja efeito da interação entre estas ( $P < .001$ ) (Tabela 2). Informações detalhadas sobre essas variáveis são apresentadas no material suplementar (Tabela 1S).

**Tabela 2.** Resultados da Two-Way ANOVA, com a taxa fotossintética líquida, condutância estomática, concentração interna de CO<sub>2</sub>, rendimento quântico efetivo do FSII, dissipação fotoquímica e não fotoquímica, taxa relativa de transportes de elétrons, transpiração e razão entre CO<sub>2</sub> interno/CO<sub>2</sub> ambiente, como variáveis dependentes, e estação (chuvosa e seca) e tratamento (testemunha, pulverização e endoterapia) como variáveis explicativas.

<b>Variável dependente</b>	<b>R<sup>2</sup> modelo</b>	<b>F modelo</b>	<b>P modelo</b>	<b>g.l</b>	<b>Variáveis preditoras</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Taxa fotossintética líquida	0.19	6.54	0.002	2; 57	Tratamento	6.537	0.002
Condutância estomática	0.46	9.29	<.001	5; 54	Estação	9.362	0.003
					Tratamento	3.914	0.025
					Estação x Tratamento	14.638	<.001
Concentração interna de CO <sub>2</sub>	0.31	4.83	0.001	5; 54	Estação	3.637	0.061
					Tratamento	1.940	0.153
					Estação x Tratamento	8.307	<.001
Rendimento quântico efetivo do FSII	0.12	1.45	0.220	5; 54			
Dissipação fotoquímica	0.07	0.83	0.533	5; 54			
Dissipação não fotoquímica	0.24	3.49	0.008	5; 54	Estação	0.960	0.331
					Tratamento	2.470	0.094
					Estação x Tratamento	5.786	0.005
Taxa relativa de transportes de elétrons	0.13	1.58	0.181	5; 54			
Transpiração	0.49	10.62	<.001	5; 54	Estação	4.781	0.033
					Tratamento	6.051	0.004
					Estação x Tratamento	18.102	<.001
Razão entre CO <sub>2</sub> interno/CO <sub>2</sub> ambiente	0.30	4.77	0.001	5; 54	Estação	3.633	0.062
					Tratamento	1.640	0.203
					Estação x Tratamento	8.471	<.001

Os modelos significativos foram simplificados através da exclusão gradual de interações e variáveis preditoras não significativas.



**Figura 3.** Parâmetros fotossintéticos (taxa fotossintética líquida – A; condutância estomática – B; Transpiração – C) ( $\bar{X} \pm EP$ ) de planta de coqueiro tratadas (via pulverização ou endoterapia) ou não com abamectina aferidos durante a estação chuvosa e seca. Letras maiúsculas indicam diferenças entre tratamentos (efeito isolado) enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre tratamentos e estações (efeito da interação) por contrastes através do teste de Tukey HSD.

## 1.4 DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo demonstraram que: (i) a endoterapia com o acaricida abamectina foi eficiente na redução das populações de *R. indica*; (ii) o intervalo entre aplicações do acaricida abamectina via endoterapia pode chegar a 10 meses (300 dias); (iii) aplicações de abamectina, a cada 2 meses, via pulverizações da copa da planta podem contribuir para redução das populações de *R. indica*; (iv) as principais alterações fisiológicas em plantas de coqueiro mediadas pelo ataque de *R. indica* são observadas sobre a taxa fotossintética líquida, condutância estomática e transpiração; e (v) as alterações fisiológicas podem variar de acordo com as estações (chuvosa e seca).

Pesticidas sistêmicos quando aplicados via endoterapia (injetados diretamente no estipe das plantas) são absorvidos através do sistema vascular e translocados para as diferentes partes da planta, alcançando regiões das plantas que dificilmente seriam cobertas por pulverizações convencionais (Moura & Acimovic 2021). A eficiência do uso de alguns pesticidas via endoterapia na cultura do coqueiro já foi comprovada tanto para alguns patógenos foliares (tais como os fungos *Camarotella torrendiella* (Batista) Bezerra & Vitória (lixa pequena), *Camarotella acrocomiae* (Mont.) K. D. Hyde & P. F. Cannon (lixa grande) e *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maubl (Queima das folhas) (Moura et al. 2019), quanto para algumas espécies consideradas pragas (tais como *Cerataphis lataniae* Boisduval (Hemiptera: Aphididae) (pulgão-preto-do-coqueiro) e *Brassolis sophorae* L. (Lepidoptera: Nymphalidae) (lagarta desfolhadora do coqueiro)) (Moura et al. 2020, Ferreira et al. 2022). O presente estudo adiciona a essa lista mais um alvo biológico (*R. indica*) e mais um pesticida (abamectina). Verificamos que há um efeito tóxico e letal da abamectina via endoterapia sobre *R. indica*, e isto já era esperado, uma vez que estudos demonstraram efeito letal dessa molécula quando aplicada de forma residual sobre *R. indica* (Assis et al. 2013).

Além da eficiência da abamectina quando empregada via endoterapia, os resultados do presente estudo demonstraram que essa eficiência foi superior àquela obtida quando a molécula foi empregada de forma convencional (pulverização), com um poder residual extremamente longo. Tais resultados são explicados, pelo menos em parte, através dos processos de degradação associados as modalidades de aplicação dos pesticidas. Nas pulverizações convencionais a molécula permanece ativa sobre o alvo biológico por um dado período, devido a degradação dos resíduos pelos raios ultravioleta e às perdas ambientais por precipitação e volatilização do produto referências). Já na

endoterapia a molécula é transportada através do sistema vascular, depositando-a nas regiões simplásticas e apopásticas da planta, minimizando assim a exposição ambiental e prolongando sua duração (Chaney 1978, Wise et al. 2006, Acimovic et al. 2014). No presente estudo as populações de *R. indica* foram reestabelecidas apenas 300 dias após a aplicação da abamectina. Nesse mesmo intervalo foram requeridas 20 aplicações de abamectina no modelo convencional (pulverizações aplicações a cada 15 dias conforme recomendação do fabricante). Resultado semelhante foi obtido em um estudo conduzido com macieira (*Malus domestica* Borkh.) onde foram injetados imidacloprido, benzoato de emamectina e rynaxypyr propiciando um efetivo controle de insetos sugadores e mastigadores por duas temporadas (pouco mais de 1 ano) (VanWoerkom et al. 2014).

Além dos benefícios relacionados a eficiência no controle de pragas e doenças foliares, é possível que a endoterapia contribua indiretamente para um ganho de produção. De acordo com Moura et al. (2019) plantas de coqueiro tratadas com ciproconazol via endoterapia tiveram não só uma elevada eficiência no controle de doenças foliares (lixas grande e pequena e queima das folhas) mas também propiciaram uma maior produção de folhas (5 folhas a mais em comparação com plantas que não receberam o fungicida) e consequentemente de frutos (em média 39 frutos a mais em comparação com plantas que não receberam o fungicida). Apesar dos autores não mencionarem as razões para o ganho em produção, é evidente que ao eliminar os patógenos foliares as plantas não tiveram redução da área fotossintética e nem alterações fisiológicas, direcionando todo recurso assimilado para sua sobrevivência e produção.

Alterações fisiológicas mediadas pelo ataque de pragas e doenças tem sido pouco exploradas na cultura do coqueiro. O presente estudo demonstrou que em decorrência do ataque de *R. indica* plantas de coqueiro apresentaram alterações na taxa fotossintética líquida, na condutância estomática e na transpiração. Ácaros da superfamília Tetranychoida alimentam-se do conteúdo celular de células dos tecidos internos do mesófilo, perfurando a epiderme das folhas (Summers e Stocking 1972, Hislop e Jeppson 1976). No entanto, espécies do gênero *Raoiella* representam uma exceção dentro da superfamília. Estes organismos apresentam estiletos curtos (aprox. 170  $\mu\text{m}$ ), não possibilitando sua alimentação em tecidos próximos à superfície oposta das folhas, e inserem seus estiletos através da abertura estomática das plantas hospedeiras (Ochoa et al. 2011). Não é sabido se durante esse processo de alimentação ocorre a morte das células-guarda. Contudo, é esperado que alterações nas células-guarda comprometam o funcionamento dos estômatos (abertura e fechamento) e por consequência a planta perde

sua capacidade de regular as trocas gasosas. De um modo geral, no presente estudo as maiores densidades de *R. indica*/folíolo foram observadas sobre as plantas testemunhas (plantas sem adoção de medida fitossanitárias), onde também foram observadas reduções na condutância estomática (Figura 2 e Figura 3B). Reduções na condutância estomática levam a um menor influxo de CO<sub>2</sub> para o interior dos cloroplastos refletindo em reduções na fotossíntese líquida e na perda água (transpiração) e, em última análise, contribuindo para um menor acúmulo de biomassa pela planta (Baca Cabrera et al. 2021).

O presente estudo demonstra ainda que as alterações fisiológicas em plantas de coqueiro mediadas pelo ataque de *R. indica* podem variar em função das condições climáticas, sendo atenuados na estação chuvosa, quando menores populações de ácaros são observadas. Tais resultados podem ser explicados, pelo menos em parte, em função do tamanho das populações de ácaros sobre as plantas. Nas plantas em que as populações de *R. indica* foram controladas (via pulverização ou endoterapia) observa-se um comportamento esperado (natural) das plantas, com maior condutância estomática no período chuvoso e menor no período seco. Por outro lado, nas plantas testemunhas (plantas sem adoção de medida fitossanitárias) é percebido o inverso, talvez porque no período seco, quando elevadas populações de *R. indica* são observadas haja uma dificuldade da planta em regular a abertura e fechamento dos estômatos, provavelmente em função da alimentação dos ácaros através da abertura estomática das plantas.

Apesar dos *insights* propiciados através dos resultados aqui apresentados tanto a endoterapia como alternativa de controle para *R. indica* quanto as alterações fisiológicas mediadas pelo ataque de *R. indica* devem continuar a ser investigados. No que diz respeito a endoterapia faz-se necessário acrescentar que a análise de resíduo é uma ação complementar à endoterapia. Após estas análises será possível estabelecer as devidas carências, ou seja, tempo decorrido entre a última aplicação e a colheita de frutos. É verdade também que em algumas áreas de cultivo de coqueiro no Brasil esta já é uma prática comum na rotina de manejo da cultura, entretanto tem-se percebido que a endoterapia não tem eliminado os problemas associados as pragas presentes nos frutos (fato verificado também no presente estudo). Este fato sugere que o acúmulo de produto nos frutos não é elevado, porém merece o devido escrutínio. No que diz respeito as alterações fisiológicas, estas foram aferidas em campo, resultados conduzidos em ambientes controlados (casa de vegetação por exemplo) poderiam propiciar resultados ainda mais claros dessas modificações. Outras análises, incluindo análises de metabólitos fazem-se necessárias para melhor compreensão dessas alterações.

## REFERÊNCIAS

- AGROFIT (2023). Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Coordenação Geral de Agrotóxicos e Afins /DFIA/SDA. 2003. Disponível em: [http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)
- ASSIS, C. P. O.; MORAIS, E. G.; GONDIM JR., M. G. C. Toxicity of acaricides to *Raoiella indica* and their selectivity for its predator, *Amblyseius largoensis* (Acari: Tenuipalpidae: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 60, p. 357–365, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9647-5>
- BACA CABRERA, J. C. et al. Stomatal conductance limited the CO<sub>2</sub> response of grassland in the last century. **BMC Biology**, v. 19, p. 50, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12915-021-00988-4>.
- BARROS, M. E. N. et al. The establishment of an invasive pest mite, *Raoiella indica*, affects mite abundance and diversity on coconut plants. **Systematic and Applied Acarology**, v. 25, p. 881–894, 2020. DOI: <https://doi.org/10.11158/saa.25.5.9>.
- CABI. **Invasive species compendium: Raoiella indica**. 2023. Disponível em: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/46792#todistribution>.
- CALVET, E. C. et al. The expansion of invasive mite *Raoiella indica* can be improved by coexistence with *Oligonychus pratensis*. **Annals of Applied Biology**, p. 1–10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/aab.12773>.
- CASTRO, E. B. et al. **Tenuipalpidae Database**. 2023. Disponível em: <http://www.tenuipalpidae.ibilce.unesp.br>.
- CRAWLEY, M. J. **The R book**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2013.
- DOCCOLA, J. J.; WILD, P. M. Tree injection as an alternative method of insecticide application. In: SOLONESKI, S.; LARRAMENDY, M. (ed.). **Insecticides – basic and other applications**. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/insecticides-basic-and-other-applications/tree-injection-as-an-alternative-method-of-insecticide-application>.
- FERREIRA, J. A. et al. Study of insecticide translocation in coconut palm trees after using pressurized endotherapy. **Analytical Methods**, v. 14, p. 4851–4860, 2022.
- FERREIRA, J. A. et al. Vegetative endotherapy—advances, perspectives, and challenges. **Agriculture**, v. 13, p. 1465, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071465>.
- FLECHTMANN, C. H. W.; ETIENNE, J. The red palm mite, *Raoiella indica* Hirst, a threat to palms in the Americas (Acari: Prostigmata: Tenuipalpidae). **Systematic & Applied Acarology**, v. 9, p. 109–110, 2004.
- GEIGER climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263.

- GRINBERG, M. et al. Interaction between cucumber plants and the broad mite, *Polyphagotarsonemus latus*: from damage to defense gene expression. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INSECT-PLANT RELATIONSHIPS**, 12., 2005. Proceedings... p. 135–144.
- HALFELD-VIEIRA, B. A.; NECHET, K. L. Queda de frutos em coqueiro causada por *Lasiodiplodia theobromae* em Roraima. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, p. 203, 2005.
- JEPPSON, L. R.; KEIFER, H. H.; BAKER, E. W. **Mites injurious to economic plants**. Berkeley: University of California Press, 1975.
- KAMRUZZAMAN, A. S. M. et al. Impact of yellow mite (*Polyphagotarsonemus latus*) density on host phenology and assessment of yield loss under field conditions. **Entomological Research**, v. 43, n. 4, p. 243–252, 2013.
- KOTTEK, M. et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.
- LICHTENTHALER, H. K. The stress concept in plants: an introduction. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 851, p. 187–198, 1998.
- MELO, J. W. S. et al. Removal of bunches or spikelets is not effective for the control of *Aceria guerreronis*. **HortScience**, v. 47, n. 5, p. 626–630, 2012.
- MENON, K. P. V.; PANDALAI, K. M. **Coconut palm: a monograph**. Ernakulam: Indian Central Coconut Committee, 1958.
- MOHAN, C. et al. Leaf-eating caterpillar (*Opisina arenosella*) induced yield loss in coconut palm. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 30, p. 132–137, 2010.
- MOURA, J. I. L.; ACIMOVIC, S. G. Endotherapy: theoretical conception. In: MOURA, J. I. L.; ARGÔLO, R. C. (ed.). **Endotherapy**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2021.
- MOURA, J. I. L. et al. Efeito de injeção com ciproconazole no controle das doenças foliares e na produtividade do coqueiro. **Summa Phytopathologica**, v. 45, p. 186–190, 2019.
- MOURA, J. I. L. et al. Injeção de imidacloprido no controle do pulgão-preto-do-coqueiro. **Entomological Communications**, v. 2, p. ec02029, 2020. DOI: <https://doi.org/10.37486/2675-1305.ec02029>.
- MOUTIA, L. A. Contribution to the study of some phytophagous Acarina and their predators in Mauritius. **Bulletin of Entomological Research**, v. 49, p. 59, 1958.
- NAVIA, D. et al. A review of the status of the coconut mite, *Aceria guerreronis*, a major tropical mite pest. **Experimental and Applied Acarology**, v. 59, p. 67–94, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9634-x>.

OCHOA, R. et al. Herbivore exploits chink in armor of host. **American Entomologist**, v. 57, n. 1, p. 26–29, 2011.

PEÑA, J. E. et al. *Raoiella indica* (Prostigmata: Tenuipalpidae): the red palm mite, a potential invasive pest of palms and bananas and other tropical crops in Florida.

REZENDE, D. et al. Estimated crop loss due to coconut mite and financial analysis of controlling the pest using the acaricide abamectin. **Experimental and Applied Acarology**, v. 69, p. 297–310, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-016-0039-0>.

RODA, A. et al. Spatial distributions of the red palm mite, *Raoiella indica*, on coconut and their implications for sampling. **Experimental and Applied Acarology**, v. 57, p. 291–308, 2012.

SARKAR, P. K.; SOMCHOUDHURY, A. K. Evaluation of some pesticides against *Raoiella indica* on coconut palm in West Bengal. **Pesticides**, v. 22, p. 21–22, 1988.

SATHIAMMA, B. Observations on the mite fauna associated with the coconut palm in Kerala, India. **Journal of Plantation Crops**, v. 24, p. 92–96, 1996.

SOBRAL, L. F. Nutrição e adubação do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. (ed.). **A cultura do coqueiro no Brasil**. Aracaju: EMBRAPA-CPATC, 1998. p. 129–157.

SUZUKI, N. et al. Abiotic and biotic stress combinations. **New Phytologist**, v. 203, n. 1, p. 32–43, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

VANWOERKOM, A. H. et al. Trunk injection: an alternative technique for pesticide delivery in apples. **Crop Protection**, v. 65, p. 173–185, 2014.

WANG, J.; LIU, Z. Q. Foliar uptake of pesticides: present status and future challenge. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 87, p. 1–8, 2007.

WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. (ed.). **A cultura do coqueiro no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2018.

WARWICK, D. R. N. et al. Principais doenças. In: FERREIRA, J. M. S. (ed.). **A cultura do coqueiro no Brasil**. 3. ed.

WELBOURN, C. **Pest alert: red palm mite *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae)**. Florida: Florida Department of Agriculture and Consumer Services, 2009.

## ANEXO A - MATERIAL SUPLEMENTAR

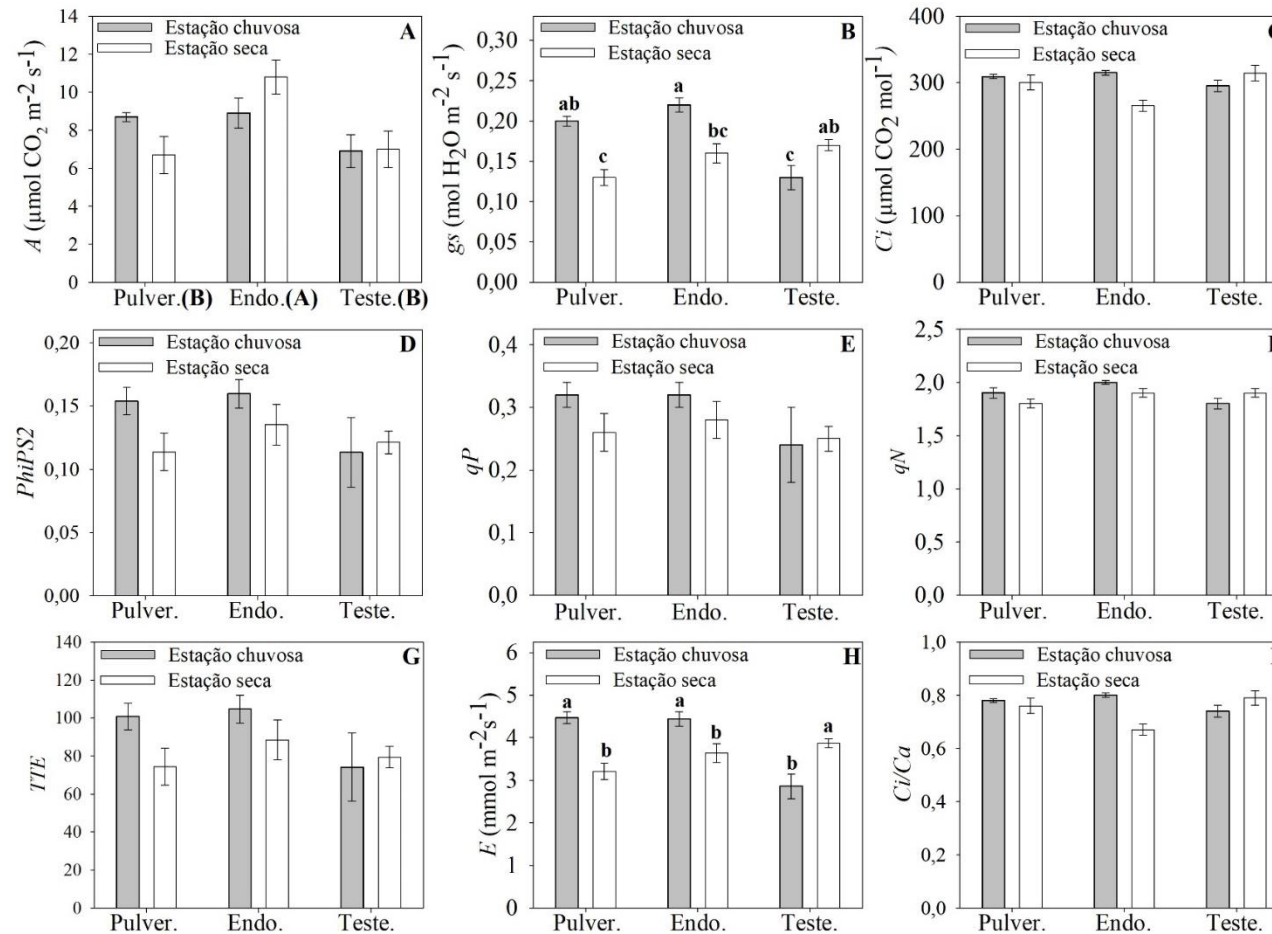


Tabela 1S. Parâmetros fisiológicos (A - taxa fotossintética líquida, B - condutância estomática, C - concentração interna de  $\text{CO}_2$ , D - rendimento quântico efetivo do fotossistema II, E - dissipação fotoquímica, F - dissipação não fotoquímica, G - taxa relativa de transportes de elétrons, H - transpiração, I - razão entre  $\text{CO}_2$  interno/ $\text{CO}_2$  ambiente) ( $\bar{X} \pm EP$ ) de plantas de coqueiro tratadas (via pulverização ou endoterapia) ou não com abamectina aferidos durante a estação chuvosa e seca.