



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENTOMOLOGIA AGRÍCOLA**



**INFLUÊNCIA DE FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS NA DISPERSÃO  
AÉREA DO ÁCARO-VERMELHO-DAS-PALMEIRAS *Raoiella indica*  
HIRST (ACARI: TENUIPALPIDAE)**

**Msc. ADRIA OLIVEIRA DE AZEVEDO**

**RECIFE, PE – FEVEREIRO DE 2020**

INFLUÊNCIA DE FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS NA DISPERSÃO AÉREA DO  
ÁCARO-VERMELHO-DAS-PALMEIRAS *Raoiella indica* HIRST (ACARI:  
TENUIPALPIDAE)

por

ADRIA OLIVEIRA DE AZEVEDO

(Sob Orientação do Professor Manoel Guedes Corrêa Gondim Jr. - UFRPE)

RESUMO

A dispersão aérea é considerada a principal estratégia utilizada por muitos ácaros para deslocamento a longas distâncias, podendo ser influenciada por fatores bióticos e abióticos. Entretanto, dentre os ácaros pertencentes à família Tenuipalpidae esse assunto permanece pouco explorado. *Raoiella indica* Hirst é uma espécie invasora que apresentou rápida expansão no território americano, levantando suposições a respeito da utilização do vento como um meio importante neste processo. Este trabalho teve como objetivo estudar a dispersão aérea de *R. indica* sob diferentes velocidades de vento, fases de desenvolvimento, sexos, status de acasalamento, densidades populacionais e condições alimentares em túnel de vento no laboratório; e potencial de dispersão (alturas de até 4,8 m e distâncias de até 64 da margem do plantio), fases de desenvolvimento, sexos e influência de condições climáticas em armadilhas adesivas fixadas no campo. Os resultados obtidos em laboratório demonstraram que o aumento da velocidade do vento ocasionou aumento da taxa de dispersão de *R. indica* e que quanto maior a densidade populacional menor a dispersão. O status de acasalamento e a condição alimentar não exerceram influência significativa. O número de ácaros capturados em campo foi crescente com o aumento da altura, e da distância de até 48 m, diminuindo em seguida até 64 m. A pressão atmosférica

apresentou correlação com o total de ácaros capturados, e a pluviosidade, com a dispersão de machos, imaturos e ovos. O estágio de desenvolvimento em que ocorreu o maior percentual de dispersão foi o adulto, e fêmeas dispersaram mais que machos, em campo e laboratório. Provavelmente, *R. indica* se dispersou por toda a região tropical das Américas, transpondo longas distâncias através de partes de vegetais infestados, contudo ao chegar em uma região ele se distribuiu rapidamente através do vento.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Cocos nucifera*, espécie invasora, dispersão pelo vento, armadilha adesiva

INFLUENCE OF BIOTIC AND ABIOTIC FACTORS ON AERIAL DISPERSAL OF THE RED  
PALM MITE *Raoiella indica* HIRST (ACARI: TENUIPALPIDAE)

por

ADRIA OLIVEIRA DE AZEVEDO

(Sob Orientação do Professor Manoel Guedes Corrêa Gondim Jr. - UFRPE)

ABSTRACT

Aerial dispersion is considered the main strategy used by many mites for long distance movements, and can be influenced by biotic and abiotic factors. However, this subject remains poorly explored among Tenuipalpidae mites. The rapid expansion of the invasive species *Raoiella indica* Hirst in the American territory raised assumptions about the use of wind as an important means in this process. This work aimed to study the aerial dispersion of *R. indica* under different wind speeds, developmental stages, sexes, mating status, population densities and food conditions in a wind tunnel in the laboratory; and dispersal potential (heights up to 4.8 m from the ground and distances up to 64 from the planting margin), development stages, sexes and influence of climatic conditions through setting adhesive traps in the field. The laboratory results demonstrate that the increase in wind speed brought on increasing dispersion rate of *R. indica* and the greater the population density, the less the dispersion. Mating status and food conditions did not have a significant influence. The number of mites caught in the field increased with increasing height and distance up to 48 m, then decreased to 64 m. Atmospheric pressure correlated with the total of captured mites; and rainfall, with the dispersion of males, immatures and eggs. The stage of development in which the highest percentage of dispersion occurred was the adult, and females dispersed more than males, in the field and laboratory. Probably, *R. indica* reached the tropical

region of the Americas dispersing long distances through parts of infested plants, then, it spread quickly through the wind.

**KEY WORDS:** *Cocos nucifera*, invasive species, wind dispersal, adhesive trap

INFLUÊNCIA DE FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS NA DISPERSÃO AÉREA DO  
ÁCARO-VERMELHO-DAS-PALMEIRAS *Raoiella indica* HIRST (ACARI:  
TENUIPALPIDAE)

por

ADRIA OLIVEIRA DE AZEVEDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola, da  
Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de  
Mestre em Entomologia Agrícola.

RECIFE - PE

Fevereiro – 2020

INFLUÊNCIA DE FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS NA DISPERSÃO AÉREA DO  
ÁCARO-VERMELHO-DAS-PALMEIRAS *Raoiella indica* HIRST (ACARI:  
TENUIPALPIDAE)

por

ADRIA OLIVEIRA DE AZEVEDO

Comitê de Orientação:

Manoel Guedes Corrêa Godim Jr. – UFRPE

Vaneska Barbosa Monteiro – UFRPE

Debora Barbosa de Lima – UFPE

INFLUÊNCIA DE FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS NA DISPERSÃO AÉREA DO  
ÁCARO-VERMELHO-DAS-PALMEIRAS *Raoiella indica* HIRST (ACARI:  
TENUIPALPIDAE)

por

ADRIA OLIVEIRA DE AZEVEDO

**Banca Examinadora:**

Manoel Guedes Corrêa Godim Jr. – UFRPE

José Wagner da Silva Melo – UFC

Paulo Fellipe Cristaldo– UFRPE

---

Adria Oliveira de Azevedo  
Mestre em Entomologia

---

Manoel Guedes Corrêa Godim Jr. - UFRPE  
Orientador



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A994i

Azevedo, Adria Oliveira de Azevedo  
INFLUÊNCIA DE FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS NA DISPERSÃO AÉREA DO ÁCARO-VERMELHO-DAS  
PALMEIRAS *Raoiella indica* HIRST (ACARI: TENUIPALPIDAE) / Adria Oliveira de Azevedo Azevedo. - 2020.  
49 f. : il.

Orientador: Manoel Guedes Correa Gondim .  
Coorientadora: Vaneska Barbosa .  
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Entomologia  
Agrícola, Recife, 2020.

1. *Cocos nucifera*. 2. Espécie invasora. 3. Dispersão pelo vento. 4. Armadilha adesiva. I. , Manoel Guedes Correa  
Gondim, orient. II. , Vaneska Barbosa, coorient. III. Título

CDD 632.7

---

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha mãe que sempre me apoiou incondicionalmente.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por permanecer ao meu lado durante todo o trajeto.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pela oportunidade de estudo e professores do PPGEA pelos ensinamentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão de bolsa de mestrado.

À minha querida mãe Elisete Oliveira por ter incentivado meus estudos, me apoiado incondicionalmente e estado presente em todo meu trajeto.

À minha irmã Barbara Oliveira por estar sempre ao meu lado alegrando meus dias.

Ao meu orientador Manoel Guedes C. Gondim Jr., minhas co-orientadoras Vaneska Barbosa Monteiro e Debora Barbosa Lima e ao professor José Wagner da Silva Melo por todos os ensinamentos, atenção, suporte e paciência.

Aos meus amigos por todos os momentos, conhecimento e risos compartilhados que tornaram a jornada mais leve, especialmente Érica Calvet, Girleide Vieira, Tamara Carvalho, Leidiane Oliveira, Rian Moraes, Derley Souza, Manoely Reis, Arthur Taverny e Thaysa Braide.

## SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS .....	ix
CAPÍTULOS	
1 INTRODUÇÃO .....	1
LITERATURA CITADA.....	6
2 DISPERSÃO AÉREA DO ÁCARO-VERMELHO-DAS-PALMEIRAS <i>Raoiella indica</i> HIRST (ACARI: TENUIPALPIDAE): EFEITO DOS FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS.....	11
RESUMO .....	12
ABSTRACT .....	13
INTRODUÇÃO .....	14
MATERIAL E MÉTODOS .....	16
RESULTADOS.....	20
DISCUSSÃO.....	21
LITERATURA CITADA.....	27
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	39

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Os organismos de modo geral têm a dispersão como um processo essencial para a sobrevivência (Safriel & Ritte 1980). Conforme observado em outros animais, ácaros fitófagos se dispersam quando há escassez de alimento, devido a alta densidade populacional, competição intraespecífica (Huffaker *et al.* 1969, Howard *et al.* 1990, Sabelis & Bruin 1996), competição interespecífica (Lawson-Balagbo *et al.* 2007), presença de inimigos naturais (Lesna *et al.* 2004, Lawson-Balagbo *et al.* 2007, Galvão *et al.* 2011), entre outros fatores. A dispersão de ácaros fitófagos pode ocorrer de forma passiva pelo transporte de plantas ou ativa por caminamento, forese ou vento. O tamanho reduzido dos ácaros e seu hábito de ovipositar em locais abrigados aumenta a possibilidade de dispersão passiva através do transporte de mudas ou partes infestadas de plantas (Moraes & Flechtmann 2008). A dispersão por caminamento normalmente ocorre dentro da mesma planta ou entre plantas que estão em contato e objetiva encontrar locais para alimentação, oviposição e abrigo com melhores condições (Sabelis & Dicke 1985, Croft & Jung 2001). A forese possibilita a transposição de longas distâncias, mas depende do comportamento do ácaro para encontrar outro organismo, subir em seu corpo, aderir a ele e posteriormente se desprender (Baumann 2018). O vento, talvez, seja o agente mais importante na dispersão dos ácaros a longas distâncias e também depende do comportamento da espécie em se deixar levar por correntes aéreas (Moraes & Flechtmann 2008, Galvão *et al.* 2012, Melo *et al.* 2014).

O método de dispersão a ser utilizado pelo ácaro é resultado de uma ponderação dos custos em relação aos benefícios, podendo ser de: (i) tempo, pois o ato de dispersar requer um custo de utilização do tempo que não poderá ser investido em outras atividades; (ii) risco,

relacionado à mortalidade ou danos que podem ser sofridos durante a dispersão; (iii) energéticos, referentes à energia metabólica utilizada no movimento; e (iv) oportunidade, referente à próxima melhor escolha disponível diante das opções (Bonte *et al.* 2012). Em geral, a dispersão desses organismos é influenciada por uma série de fatores bióticos e abióticos (Evans 1992). Mudanças ambientais modificam esses custos e criam uma seleção de dispersão baseada na história de vida em escalas de tempo ecológicas (Bonte *et al.* 2012). Na dispersão pelo vento, maiores velocidades aumentam as taxas de lançamento dos ácaros em correntes de ar (Monteiro *et al.* 2018), pois provavelmente reduzem os custos energéticos necessários para a realização do movimento (Mitchell 1970, Bonte *et al.* 2012). Entretanto, nesse método o risco de mortalidade é maior, pois os ácaros fitófagos podem não conseguir atingir o hospedeiro adequado, ou no caso de ácaros predadores, chegar em plantas colonizadas por presas não preferenciais (Nachman 1987, Croft & Jung 2001).

A exploração de novas áreas pelos ácaros para a busca de recursos é dificultada pela reduzida habilidade locomotora e baixa tolerância a fatores ambientais adversos, portanto esses organismos utilizam diversas estratégias de dispersão (Mitchell 1970, Margolies 1987, Bell *et al.* 2005, Clotuche *et al.* 2011). O sucesso da dispersão está relacionado ao número de indivíduos dispersantes e a adaptações fisiológicas, comportamentais e morfológicas que aumentem a probabilidade de descoberta de novos recursos (Mitchell 1970). Assim, antes de ser carregado por correntes aéreas, o ácaro expressa comportamentos específicos que permitem ou facilitam o lançamento do artrópode ao vento (Melo *et al.* 2014, Monteiro *et al.* 2018). Um exemplo é a produção de fios de seda que os impulsionam nas correntes de ar, como “Ballooning” em tetraniquídeos (Margolies 1987, Bell *et al.* 2005, Clotuche *et al.* 2011). Em eriofídeos ocorre a fixação do lobo caudal no substrato e a elevação da parte anterior do corpo com as pernas elevadas (Melo *et al.* 2014, Laska *et al.* 2019). Já em fitoseídeos é observado o levantamento de

partes do corpo (Johnson & Croft 1976, Sabelis & Dicke 1985, Monteiro *et al.* 2018). Em ácaros pertencentes à família Eriophyidae foram identificados comportamentos de dispersão conjunta, que corresponde à formação de correntes extensas, através da fixação dos ácaros uns aos outros, facilitando então a dispersão pelo vento (Melo *et al.* 2014, Laska *et al.* 2019). Já ácaros da família Tetranychidae podem formar bolas de seda (*roping*) que aumentam a probabilidade de ser carregado pelo vento e reduzem a mortalidade de imaturos (Kennedy & Smitley 1985, Clotuche *et al.* 2011).

*Raoiella indica* Hirst (ácaro-vermelho-das-palmeiras) (Acari: Tenuipalpidae) foi descrita da Índia (Coimbatore) a partir de folhas de *C. nucifera* (Hirst 1924). Posteriormente, foi relatada em outras regiões da Ásia durante cerca de 80 anos (Invasive Species Compendium 2018). A presença desse ácaro nas Américas só foi constatada em 2004 na ilha caribenha de Martinica (Flechtmann & Etienne 2004) e, posteriormente se expandiu por diversas ilhas do Caribe, Estados Unidos da América (Welbourn 2006), México (North American Plant Protection Organization 2009), Venezuela (Vásquez *et al.* 2008) e Colômbia (Carrillo *et al.* 2011). Em virtude disto, *R. indica* foi regulamentada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) como praga quarentenária ausente, devido à eminente introdução no Brasil, principalmente no Estado de Roraima, por conta das extensas fronteiras e trânsito de cargas com a Venezuela (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento 2018). A primeira constatação de *R. indica* no Brasil ocorreu em 2009, em área urbana do município de Boa Vista, Roraima (Navia *et al.* 2011). Em 2011 a espécie foi relatada em dez dos quinze municípios deste Estado (Navia *et al.* 2015). Atualmente, cerca de 10 anos após sua chegada ao Brasil, *R. indica* já é encontrada em 17 dos 26 Estados e no Distrito Federal (Melo *et al.* 2018, Barroso *et al.* 2019).

Os hospedeiros exercem grande influência sobre as populações de *R. indica*, assim como na densidade populacional de predadores, possivelmente devido a diferenças físicas ou

fisiológicas da planta hospedeira, como densidade de estômatos ou área de copa disponível para colonização (Taylor *et al.* 2012). Em coqueiro o número mais elevado de ácaros concentra-se no estrato mediano da planta (folhas 13-14) (Roda *et al.* 2012). O coqueiro e a tamareira (*Phoenix dactylifera* L.) são os principais hospedeiros de *R. indica* na África e Ásia. O ácaro possui apenas plantas monocotiledôneas como hospedeiras (Navia *et al.* 2015), contudo ao chegar no continente americano apresentou grande ampliação das culturas hospedeiras, passando de dez para mais de noventa listadas. Atualmente, 91 plantas são relatadas como hospedeiras de *R. indica*, sendo aproximadamente 80% pertencente à família Arecaceae (Carrillo *et al.* 2012). Além da rápida expansão de hospedeiros, verificou-se o aumento nas densidades populacionais atingidas por *R. indica* nas Américas, onde estudos registraram populações até cinco vezes maiores com 2 ácaros/cm<sup>2</sup> (Gondim Jr. *et al.* 2012, Roda *et al.* 2012), em comparação à Ásia, onde o máximo reportado foi de 0,4 ácaros/cm<sup>2</sup> (Taylor *et al.* 2012). Este incremento populacional reforça a importância dessa espécie para o continente americano (Gondim Jr. *et al.* 2012).

*Raoiella indica* ao se alimentar introduz os estiletos entre as células-guarda dos estômatos, succionando o conteúdo celular do mesófilo. Conseqüentemente, causa amarelecimento, manchas escuras e dessecamento dos folíolos (Ochoa *et al.* 2011, Beard *et al.* 2012). Altas infestações desse ácaro acarretam amarelecimento das folhas de coqueiro e bananeira, seguido de necrose dos tecidos (Flechtmann & Etienne 2004, Peña *et al.* 2006, Welbourn 2006), podendo comprometer o desenvolvimento da planta (Sarkar & Somchoudhury 1988, Sathiamma 1996). Os danos parecem ser maiores em plantas jovens (Moutia 1958, Roda *et al.* 2008), principalmente durante as estações mais quentes do ano, e sobretudo em plantas submetidas a estresse hídrico e nutricional (Moutia 1958, Jeppson *et al.* 1975, Sathiamma 1996).

A redução da produção de coqueiros em localidades do Caribe e da América do Sul por infestação de *R. indica* tem sido superior a 70%, podendo chegar a 90%. Em bananeiras, apesar de



ainda não ter sido avaliado o impacto na produção, danos têm sido observados com a completa necrose de folhas basais (Navia *et al.* 2015). Populações de *R. indica* tem causado também impactos estéticos em palmeiras em áreas turísticas. Produtores de palmeiras ornamentais tem estimado gasto de US\$ 500.000 com pulverizações exigidas pelo governo como medidas emergenciais de prevenção e contenção nas áreas afetadas ou ameaçadas na Florida, Estados Unidos da América (Navia *et al.* 2011).

O impacto ambiental potencial de *R. indica* no Brasil consiste na redução da produção de coqueiros e bananeiras; alta probabilidade de estabelecimento do ácaro em diversas regiões brasileiras e imposição de barreiras fitossanitárias para exportação de flores tropicais das famílias Heliconiaceae, Musaceae, Zingiberaceae e Strelitziaceae, principalmente no Norte e Nordeste do país. Além disso, pode ocorrer a modificação de habitat naturais, afetando negativamente comunidades tradicionais que utilizam subprodutos de palmeiras nativas sob exploração extrativista (açai, buriti, carnaúba, piaçava, pupunha, etc.) (Navia *et al.* 2015). A agricultura familiar baseada no extrativismo que explora comercialmente essas plantas e seus subprodutos podem ser altamente impactadas pelos danos causados por *R. indica* (Gondim Jr. *et al.* 2012).

Velocidades de vento de 30 a 40 km/h desencadeiam a dispersão de menos de 1% dos ácaros identificados como *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae) (Alves *et al.* 2005, Gerson 2008). Entretanto, devido à rápida expansão da espécie *R. indica* nas Américas, assume-se que a utilização do vento seja um importante meio de dispersão para a espécie. Apesar da ausência de informações a respeito da dispersão de *R. indica*, há suposições de que o estágio de desenvolvimento mais propício a realizar a dispersão seja o adulto, mais precisamente fêmeas acasaladas (Kane *et al.* 2012).

Considerada a importância e predominância da dispersão aérea a longas distâncias para ácaros em geral e escassez de informações para tenuipalpídeos, especialmente *R. indica*, este

trabalho objetivou avaliar a dispersão desta espécie submetida a diferentes velocidades de vento, estágios de desenvolvimento, sexo, densidade populacional, privação alimentar e status de acasalamento em laboratório, além do potencial de dispersão (altura e distância), sexo, fase de desenvolvimento e fatores climáticos sob condições de campo.

### Literatura Citada

- Alves, E.B., N.F.B. Casarin & C. Omoto. 2005.** Mecanismos de dispersão de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae) em Pomares de Citros. Neotrop. Entomol. 34: 089-096.
- Barroso, G., C.M. Rocha, G.F. Moreira, F.T. Hata, S. Roggia, M.U. Ventura, A. Pasini, J.E. P. Silva, A.M. Holtz & G.J. Moraes. 2019.** What is the southern limit of the distribution of red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae), in agricultural lands in Brazil? Fla. Entomol. 102: 581-585.
- Baumann, J. 2018.** Tiny mites on a great journey - a review on scutacarid mites as phoronts and inquilines (Heterostigmatina, Pygmephoroida, Scutacaridae). Acarologia 58: 192-251.
- Beard, J.J., R. Ochoa, G.R. Bauchan, M.D. Trice, A.J. Redford & T.W. Walters. 2012.** Flat mites of the world. Fort Collins, APHIS, USDA. Disponível em: <http://idtools.org/id/mites/flatmites/>.
- Bell, J.R., D.A. Bohan, E.M. Shaw & G.S. Weyman. 2005.** Ballooning dispersal using silk: world fauna, phylogenies, genetics and models. Bull. Entomol. Res. 95: 69-114.
- Bonte, D., H. Van Dyck, J.M. Bullock, A. Coulon, M. Delgado, M. Gibbs, V. Lehouck, E. Matthysen, K. Mustin, M. Saastamoinen, N. Schtickzelle, V.M. Stevens, S. Vandewoestijne, M. Baguette, K. Barton, T.G. Benton, A.C. Bardy, J. Clobert, C. Dytham, T. Hovestadt, C.M. Meier, S.C.F. Palmer, C. Turlure & J.M.J. Travis. 2012.** Costs of dispersal. Biol. Rev. 87: 290-312.
- Carrillo, D., D. Amalin, F. Hosein, A. Roda, R.E. Duncan & J.E. Peña. 2012.** Host plant range of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in areas of invasion of the New World. Exp. Appl. Acarol. 57: 271-289.
- Carrillo, D., D. Navia, F. Ferragut & J.E. Peña. 2011.** First report of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in Colombia. Fla. Entomol. 94: 370-371.
- Clotuche, G., A.C. Mailloux, A.A. Fernández, J.L. Deneubourg, C. Detrain & T. Hance. 2011.** The Formation of Collective Silk Balls in the Spider Mite *Tetranychus urticae* Koch. PLoS ONE 6: e18854.

- Croft, B.A. & C. Jung. 2001.** Phytoseiid dispersal at plant to regional levels: a review with emphasis on management of *Neoseiulus fallacis* in diverse agroecosystems. *Exp. Appl. Acarol.* 25: 763-784.
- Evans, G.O. 1992.** Principles of Acarology. Wallingford, C.A.B. International, 563p.
- Flechtmann, C.H.W. & J. Etienne. 2004.** The red palm mite, *Roiella indica* Hirst, a threat to palms in the Americas (Acari: Prostigmata: Tenuipalpidae). *Syst. Appl. Acarol.* 9: 109-10.
- Galvão, A.S., J.W.S. Melo, V.B. Monteiro, D.B. Lima, G.J. Moraes, M.G.C. Gondim Jr. 2012.** Dispersal strategies of *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae), a coconut pest. *Exp. Appl. Acarol.* 57: 1-13.
- Galvão, A.S., M.G.C. Gondim Jr., G.J. Moraes & J.W.S. Melo. 2011.** Distribution of *Aceria guerreronis* and *Neoseiulus baraki* among and with on coconut bunches in Northeast Brazil. *Exp. Appl. Acarol.* 54: 373-384.
- Gerson, U. 2008.** The Tenuipalpidae: An under-explored family of plant-feeding mites. *Syst. Appl. Acarol.* 13: 83-101.
- Gondim Jr., M.G.C., T.M.M.G. Castro, A.L. Marsaro Jr., D. Navia, J.W.S. Melo, P.R. Demite & G.J. Moraes. 2012.** Can the red palm mite threaten the Amazon vegetation? *Syst. Biodivers.* 10: 527-535.
- Hirst, S. 1924.** On some new species of red spider. *Ann. Mag. Nat. Hist.* 14: 522-527.
- Howard, F.W., E. Abreu-Rodriguez & H.A. Denmark. 1990.** Geographical and seasonal distribution of the coconut mite, *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae), in Puerto Rico and Florida, USA. *J. Agric. Univ.* 74: 237-251.
- Huffaker, C.B., M. Van de Vrie & J.A. McMurtry. 1969.** The ecology of Tetranychidae mites and their natural control. *Annu. Rev. Entomol.* 14: 125-174.
- Invasive Species Compendium. 2018.** *Raoiella indica*. Disponível em: [www.cabi.org/isc/?compid=5&dsid=46792&loadmodule=datasheet&page=481&site=144#](http://www.cabi.org/isc/?compid=5&dsid=46792&loadmodule=datasheet&page=481&site=144#).
- Jeppson, L.R., H.H. Keifer & E.W. Baker. 1975.** Mites injurious to economic plants. Berkeley, University of California Press, 614p.
- Johnson D.T. & B.A. Croft. 1976.** Laboratory study of the dispersal behavior of *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 69:1019-1023.
- Kane, E.C., R. Ochoa, G. Mathurin, E.F. Erbe & J.J. Beard. 2012.** *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae): an exploding mite pest in the neotropics. *Exp. Appl. Acarol.* 57: 215-225.

- Kennedy G.G. & D.R. Smitley. 1985.** Dispersal, p. 233-242. In W. Helle & M.W. Sabelis (eds.), Spider mites: Their biology, natural enemies and control. New York, Elsevier, 404p.
- Lawson-Balagbo, L.M., M.G.C. Gondim Jr., G.J. Moraes, R. Hanna & P. Schausberger. 2007.** Refuge use by the coconut mite *Aceria guerreronis* fine scale distribution and association with other mites under the perianth. Biol. Control. 43: 102-110.
- Laska, A., B.G. Rector, A. Skoracka, L. Kuczynski. 2019.** Can your behaviour blow you away? Contextual and phenotypic precursors to passive aerial dispersal in phytophagous mites. Anim. Behav. 155: 141-151.
- Lesna, I., C.G.M. Conjim & S.W. Sabelis. 2004.** From biological control biological insight; rust-mite induced change in bulb morphology, a new mode of indirect plant defense. Phytophaga 14: 285-291.
- Margolies, D.C. 1987.** Conditions Eliciting Aerial Dispersal Behavior Banks Grass Mite, *Oligonychus pratensis* (Acari: Tetranychidae). Environ. Entomol.16: 928-932.
- Melo, J.W.S., D. Navia, J.A. Mendes, R.M.C. Filgueiras, A.V. Teodoro, J.M.S. Ferreira, E.C. Guzzo, I.V. Souza, R.S. Mendonça, E.C. Calvet, A.A. Paz Neto, M.G.C. Gondim Jr., E.G.F. Moraes, M.S. Godoy, J.R. Santos, R.I.R. Silva, V.B. Silva, R.F. Norte, A.B. Oliva, R.D.P. Santos & C.A. Domingos. 2018.** The invasive red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), in Brazil: range extension and arrival into the most threatened area, the Northeast Region. Int. J. Acarol. 44: 146-149.
- Melo, J.W.S., D.B. Lima, M.W. Sabelis, A. Pallini & M.G.C. Gondim Jr. 2014.** Behaviour of coconut mites preceding take-off to passive aerial dispersal. Exp. Appl. Acarol. 64: 429-443.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2018.** Consulta de Praga. Disponível em: [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons).
- Mitchell, R. 1970.** An analysis of dispersal in mites. Am. Nat. 104:425-431.
- Monteiro, V.B., V.F. Silva, D.B. Lima, R.N.C. Guedes & M.G.C. Gondim Jr. 2018.** Pesticides and passive dispersal: acaricide and starvation-induced take-off of the predatory mite *Neoseiulus baraki*. Pest Manag. Sci. 74: 1272-1278.
- Moraes, G.J. & C.H.W. Flechtmann. 2008.** Manual de Acarologia: Acarologia Básica e Ácaros de Plantas Cultivadas no Brasil. Ribeirão Preto, Holos Editora, 308p.
- Moutia, L.A. 1958.** Contribution to study of some phytophagous Acarina and their predators in Mauritius. Bull. Entomol. Res. 49: 59-75.
- Nachman, G. 1987.** Systems analysis of acarine predator-prey interactions. II. The role of spatial processes in system stability. J. Anim. Ecol. 56: 267-281.

- Navia, D., A.L. Marsaro Jr., F.R. Silva, M.G.C. Gondim Jr. & G.J. Moraes. 2011.** First report of the red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), in Brazil. *Neotrop. Entomol.* 40: 409-411.
- Navia, D., E.G.F. Morais, R.S. Mendça, & M.G.C. Gondim Jr. 2015.** Ácaro-vermelho-das-palmeiras, *Raoiella indica* Hirst, p. 399-433. In E.F. Vilela & R.A. Zucchi (eds.), *Pragas introduzidas no Brasil: Insetos e ácaros*. Piracicaba, ESALQ/USP, 908p.
- North American Plant Protection Organization. 2009.** Phytosanitary alert system: detection of the red palm mite (*Raoiella indica*) in Cancun and Isla Mujeres. Quintana Roo, Mexico, 2009. Disponível em: < <https://pestalert.org/oprDetail.cfm?oprID=406>>.
- Ochoa, R., J.J. Beard, G.R. Bauchan, E.C. Kane, A.P.G. Dowling & E.F. Erbe. 2011.** Herbivore exploits chink in armour of host. *Am. Entomol.* 57: 26-29.
- Peña, J.E., C.M. Mannion, F.W. Howard & M.A. Hoy. 2006.** *Raoiella indica* (Prostigmata: Tenuipalpidae): the red palm mite: a potential invasive pest of palms and bananas and other tropical crops in Florida. University of Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences IFAS Extension. Disponível em: <https://mrec.ifas.ufl.edu/lso/RPM/RPM.htm>.
- Roda, A., A. Dowling, C. Welbourn, J.E. Peña, J.C.V. Rodrigues, M.A. Roy, R. Ochoa, R.A. Duncan & W. Chi. 2008.** Red palm mite situation in the Caribbean and Florida. *Proc. Caribbean Food Crops Soc.* 44: 80-87.
- Roda, A., G. Nachman, F. Hosein, J.C.V. Rodrigues & J.E. Peña. 2012.** Spatial distributions of the red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) on coconut and their implications for development of efficient sampling plans. *Exp. Appl. Acarol.* 57: 291-308.
- Sabelis M.W. & J. Bruin. 1996.** Evolutionary ecology; life history patterns, food plant choice and dispersal, p. 329-366. In E.E. Lindquist, M.W. Sabelis & J. Bruin (eds.), *Eriophyoid mites: their biology, natural enemies and control*. Amsterdam, Elsevier, 822p.
- Sabelis, M.W. & M. Dicke. 1985.** Long-range dispersal and searching behavior, p. 141-157. In W. Helle & M.W. Sabelis (eds.), *Spider mites. Their biology, natural enemies and control*. Amsterdam, Elsevier, 458p.
- Safriel, U.N. & U. Ritte. 1980.** Criteria for the identification of potential colonizers. *Biol. J. Linn. Soc. Lond.* 13: 287-297.
- Sarkar, P.K. & A.K. Somchoudhury. 1988.** Evaluation of some pesticides against *Raoiella indica* Hirst on coconut palm in West Bengal. *Pesticides* 22: 21-22.
- Sathiamma, B. 1996.** Observations on the mite fauna associated with the coconut palm in Kerala, India. *J. Pl. Crops* 24: 92-96.

**Taylor, B., P.M. Rahman, S.T. Murphy & V.V. Sudheendrakumar. 2012.** Within-season dynamics of red palm mite (*Raoiella indica*) and phytoseiid predators on two host palm species in south-west India. *Exp. Appl. Acarol.* 57: 331-345.

**Vásquez, C., M. Quirós, O. Aponte & D.M.F. Sandoval. 2008.** First report of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) in South America. *Neotrop. Entomol.* 37: 739-40.

**Welbourn, C. 2006.** Pest alert: Red palm mite *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). Florida, FDACS-Division of Plant Industry, 7p.

## CAPÍTULO 2

### DISPERSÃO AÉREA DO ÁCARO-VERMELHO-DAS-PALMEIRAS *Raoiella indica* HIRST (ACARI: TENUIPALPIDAE): EFEITO DE FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS<sup>1</sup>

ADRIA OLIVEIRA DE AZEVEDO

Departamento de Agronomia – Entomologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av.  
Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, 52171-900 Recife, PE, Brasil

---

<sup>1</sup>Azevedo, A.O. Fatores bióticos e abióticos que influenciam na dispersão aérea do ácaro-vermelho-das-palmeiras *Raoiella indica* hirst (Acari: Tenuipalpidae). A ser submetido a Experimental and Applied Acarology.

RESUMO - A dispersão aérea é considerada a principal estratégia utilizada por muitos ácaros para deslocamento a longas distâncias, podendo ser influenciada por fatores bióticos e abióticos. Entretanto, dentre os ácaros pertencentes à família Tenuipalpidae esse assunto permanece pouco explorado. *Raoiella indica* Hirst é uma espécie invasora que apresentou rápida expansão no território americano, levantando suposições a respeito da utilização do vento como um meio importante neste processo. Este trabalho teve como objetivo estudar a dispersão aérea de *R. indica* sob diferentes velocidades de vento, fases de desenvolvimento, sexos, status de acasalamento, densidades populacionais e condições alimentares em túnel de vento no laboratório; e potencial de dispersão (altura e distância), fases de desenvolvimento, sexos e influência de condições climáticas em armadilhas adesivas fixadas no campo. Os resultados obtidos em laboratório demonstraram que o aumento da velocidade do vento ocasionou aumento da taxa de dispersão de *R. indica* e que quanto maior a densidade populacional menor a dispersão. O status de acasalamento e a condição alimentar não exerceram influência significativa. O número de ácaros capturados em campo foi crescente com o aumento da altura, e da distância de até 48 m, diminuindo em seguida até 64 m. A pressão atmosférica apresentou correlação com o total de ácaros capturados, e a pluviosidade, com a dispersão de machos, imaturos e ovos. O estágio de desenvolvimento em que ocorreu o maior percentual de dispersão foi o adulto, e fêmeas dispersaram mais que machos, em campo e laboratório.

PALAVRAS-CHAVE: *Cocos nucifera*, espécie invasora, dispersão pelo vento, armadilha adesiva



AERIAL DISPERSAL OF THE RED PALM MITE *Raoiella indica* HIRST (ACARI:  
TENUIPALPIDAE): EFFECT OF BIOTIC AND ABIOTIC FACTORS

ABSTRACT – Aerial dispersion is considered the main strategy used by many mites for long distance movements, and can be influenced by biotic and abiotic factors. However, this subject remains poorly explored among Tenuipalpidae mites. The rapid expansion of the invasive species *Raoiella indica* Hirst in the American territory raised assumptions about the use of wind as an important means in this process. This work aimed to study the aerial dispersion of *R. indica* under different wind speeds, developmental stages, sexes, mating status, population densities and food conditions in a wind tunnel in the laboratory; and dispersal potential (heights up to 4.8 m from the ground and distances up to 64 from the planting margin), development stages, sexes and influence of climatic conditions through setting adhesive traps in the field. The laboratory results demonstrate that the increase in wind speed brought on increasing dispersion rate of *R. indica* and the greater the population density, the less the dispersion. Mating status and food conditions did not have a significant influence. The number of mites caught in the field increased with increasing height and distance up to 48 m, then decreased to 64 m. Atmospheric pressure correlated with the total of captured mites; and rainfall, with the dispersion of males, immatures and eggs. The stage of development in which the highest percentage of dispersion occurred was the adult, and females dispersed more than males, in the field and laboratory.

KEY WORDS: *Cocos nucifera*, invasive species, wind dispersal, adhesive trap

## Introdução

A dispersão de ácaros ocorre de forma passiva ou ativa (Mitchell 1970, Kennedy & Smitley 1985, Evans 1992). Passivamente, os ácaros podem ser transportados em partes de plantas infestadas, devido à ação antrópica (Mitchel 1970, Yaninek 1988, Moraes & Flechtmann 2008), pois suas reduzidas dimensões dificultam a detecção e localização em locais protegidos nos hospedeiros (Navia *et al.* 2007). Os ácaros também podem ser transportados de forma ativa pelo caminamento, forese e vento. A dispersão pelo caminamento dos ácaros se dá a curtas distâncias, na mesma planta ou entre plantas próximas (Sabelis & Dicke 1985, Evans 1992, Croft & Jung 2001). A forese possibilita a transposição de longas distâncias, mas depende do comportamento do ácaro para encontrar outro organismo, subir em seu corpo, aderir a ele e posteriormente se desprender (Baumann 2018). A dispersão pelo vento (dispersão aérea) ocorre quando os ácaros se lançam em correntes aéreas (Mitchell 1970, Kennedy & Smitley 1985), contudo apresenta elevado risco de mortalidade quando comparada a outros métodos, pois os ácaros podem não “aterrissar” em locais preferenciais (Nachman 1987, Croft & Jung 2001). Entretanto, esse é um dos processos naturais mais mencionados para a movimentação de ácaros a longas distâncias (Smitley & Kennedy 1985, Moraes & Flechtmann 2008) e essencial para a persistência das espécies em ambientes de constantes mudanças (Ronce 2007).

Os ácaros utilizam uma variedade de táticas de dispersão devido às habilidades locomotoras limitadas (Mitchell 1970, Benton & Bowler 2012), estando relacionada com o estado de cada indivíduo e a obtenção de informações baseadas em fatores externos (Clobert 2009). Diversos aspectos podem exercer influência na decisão de dispersão, como morfologia, comportamento e história de vida decorrente de fatores genéticos (Ronce 2007, Clobert 2009); bem como fatores ambientais, tais como temperatura, umidade, luminosidade (Gaede 1992, Auger *et al.* 1999), velocidade do vento (Melo *et al.* 2014, Monteiro *et al.* 2018), acaricidas, (Monteiro *et*

al. 2018), baixa disponibilidade ou qualidade do alimento, adequabilidade da planta hospedeira, competição intraespecífica, presença de inimigos naturais, ausência de parceiros para cópula (Auger *et al.* 1999, Pen 2000, Clobert *et al.* 2009) e fertilização (Clobert *et al.* 2009, Kane *et al.* 2012). Assim, os organismos deixam suas áreas de alimentação e reprodução, selecionando novos habitat de acordo com informações a respeito do ambiente dos quais são provenientes e dos futuros nos quais se alocarão (Ronce 2007). A importância desses fatores varia de acordo com a espécie e sua história de vida (Bowler & Benton 2005).

Espécies invasoras causam efeitos ecológicos e econômicos que podem representar ameaça em escala local ou até mesmo mundial (Pimentel 2011, Keller *et al.* 2014, Navia *et al.* 2015, Polanco-Arjona *et al.* 2017). O impacto de espécies invasoras na perda da biodiversidade é menor apenas que o da atividade humana e pode ser responsável pelo declínio de espécies nativas resultantes de competição, deslocamento, predação e hibridização (Pimentel 2011). A espécie *Raoiella indica* Hist (Acari: Tenuipalpidae) representa uma ameaça a diversos agroecossistemas, devido à sua rápida expansão geográfica (Melo *et al.* 2018, Barroso *et al.* 2019), grande ampliação de culturas hospedeiras (Carrillo *et al.* 2012), incremento populacional (Roda *et al.* 2012, Gondim Jr. *et al.* 2012, Taylor *et al.* 2012) e danos causados em palmeiras nas Américas (Navia *et al.* 2015).

Em pouco mais de uma década, *R. indica* invadiu toda a região tropical das Américas e provavelmente essa expansão e colonização de novas áreas pode ser explicada em parte devido a dispersão aérea da espécie. O reconhecimento de fatores que influenciam na dispersão de *R. indica* pode auxiliar no controle da espécie e estabelecimento de estratégias que auxiliem ações de contenção de ácaros com elevado potencial invasor (Navia *et al.* 2007), impedindo ou retardando sua expansão para novas áreas (Laranjeira *et al.* 2005). Portanto, este trabalho teve como objetivo estudar a dispersão aérea de *R. indica* submetida a diferentes velocidades de vento, estágios de

desenvolvimento, sexo, densidade populacional, privação alimentar e status de acasalamento em laboratório, além do potencial de dispersão (altura e distância), sexo, fase de desenvolvimento e influência de fatores abióticos sob condições de campo.

### **Material e Métodos**

O estudo foi conduzido no laboratório de Acarologia do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e em área de plantio comercial de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) em Igarassu-PE (7°49'S, 34°50'W), Brasil. Para os experimentos em laboratório, os ácaros e os folíolos de coqueiro foram provenientes de plantas adultas. As plantas não sofreram qualquer intervenção química e foram mantidas em condições naturais de campo na UFRPE. Os ácaros e os folíolos foram utilizados pelo período máximo de duas horas após a retirada da planta.

**Túnel de vento.** O equipamento no qual foram conduzidos os experimentos de dispersão em laboratório foi confeccionado conforme descrito por Melo *et al.* (2014) e Monteiro *et al.* (2018). O mesmo consiste em um tubo de vidro (10 cm de comprimento x 3,5 cm de diâmetro) conectado a um aspirador de pó, e este ligado a um transformador de tensão variável AC/DC que permite a regulagem da velocidade de vento. A outra extremidade do tubo continha uma plataforma para alojamento dos ácaros disposta sob uma lupa para observação. A plataforma foi constituída de um disco de policloreto de vinila (Plástico PVC) preto com diâmetro de 10 mm de diâmetro fixado com cola quente a extremidade de um palito de madeira, cujo comprimento era igual ao raio da circunferência do tubo. A plataforma foi fixada internamente ao tubo com cola quente. Discos menores dos substratos testados (coqueiro ou plástico) com diâmetro de 5 mm (20 mm<sup>2</sup>) foram fixados com cola entomológica sobre a plataforma para alojamento dos ácaros. Para evitar a fuga dos ácaros, a borda dos discos foi circundada com uma fina camada de cola entomológica

(Biocontrole®). A velocidade do vento em todos os tratamentos foi aferida através de um termoanemômetro digital, com precisão de 0,1 m/s (TSI Incorporated, modelo 9515) a cada três repetições. O equipamento foi mantido em ambiente laboratorial a  $26\pm 1^{\circ}\text{C}$  e  $75\pm 10\%$  UR. Nos experimentos, os discos de coqueiro utilizados foram provenientes da folha 13, conforme filotaxia do coqueiro (Sobral 1994), exceto para o experimento correspondente à densidade populacional, em que os discos foram provenientes de mudas presentes em casa de vegetação.

**Influência da velocidade do vento na dispersão de *Raoiella indica*.** A influência da velocidade de vento foi avaliada colocando cinco fêmeas adultas de idade não conhecida em discos (coqueiro ou plástico) no interior do túnel de vento para observação da dispersão em velocidades de 4 a 15 m/s, com intervalos de 1 m/s. Foram realizadas 10 repetições para cada velocidade em coqueiro e plástico. Os dados da influência da velocidade do vento foram submetidos à análise de regressão no Tablecurve 2D (Systat, San Jose, CA, EUA), utilizando a velocidade do vento como variável independente, e quantidade de ácaros dispersos no túnel como variável dependente. Os modelos de regressão significativos ( $P < 0.05$ ) foram testados e selecionados com base nos critérios de parcimônia com altos valores de F e  $R^2$ . As distribuições residuais foram verificadas em cada análise a fim de validar premissas paramétricas. Após obtenção das curvas, a velocidade de 13 m/s e o coqueiro foram escolhidos para realização dos demais experimentos, por ser a primeira velocidade a resultar em dispersão acima de 50% dos ácaros testados e o coqueiro por ser um hospedeiro natural.

**Efeito da fase de desenvolvimento, sexo, status de acasalamento e privação alimentar na dispersão de *Raoiella indica*.** O efeito desses fatores foi estudado através da colocação de cinco ácaros sobre o disco em túnel de vento. Para cada experimento foram realizadas vinte repetições independentes. Para o teste da fase de desenvolvimento (larva, protoninfa, deutoninfa e adulto) e influência do sexo (macho e fêmea) os ácaros utilizados foram retirados diretamente de folíolos

de coqueiro provenientes de campo. Para o teste do status de acasalamento, fêmeas virgens recém-emergidas foram utilizadas após isolamento de teliocrisálidas em arenas de folíolos de coqueiros por 48h para assegurar a ausência de cópula. Fêmeas fertilizadas foram coletadas diretamente de campo, assumindo-se status de acasalada devido ao comportamento do macho em guardar a fêmea para garantir a cópula (Moraes & Flechtmann 2008). Para avaliação do efeito da privação alimentar, fêmeas adultas foram confinadas em arenas de plástico durante 24h, e utilizadas após este período, enquanto fêmeas alimentadas foram consideradas aquelas coletadas diretamente do campo. À exceção de todos os outros, no experimento de privação alimentar os ácaros foram colocados em discos de plástico no túnel de vento. As análises da influência do sexo, status de acasalamento e privação alimentar foram realizadas pelo teste  $\chi^2$  (PROC chisq, SAS version 9.0). A influência da fase de desenvolvimento na dispersão do ácaro foi avaliada pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $P = 0.05$ ) (PROC NPARIWAY; SAS version 9.0).

**Influência da densidade populacional na dispersão de *Raoiella indica*.** A influência desse fator foi avaliada através da colocação de 5, 10, 15, 20, 25 e 40 indivíduos no disco de 5mm de diâmetro ( $20 \text{ mm}^2$ ) em túnel de vento, que corresponde a densidades de 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 e 2,00 ácaros/ $\text{mm}^2$ , respectivamente. Foram realizadas dez repetições independentes para cada densidade. Os ácaros utilizados foram mantidos em arenas por 24h nas mesmas densidades nas quais foram utilizadas no experimento. As análises foram realizadas no Tablecurve 2D (Systat, San Jose, CA, EUA), tendo a densidade populacional como variável independente e quantidade de ácaros dispersos como variável dependente.

**Potencial de dispersão de *Raoiella indica*.** Estacas de madeira foram colocadas no campo a distâncias de 0, 4, 8, 16, 32, 48 e 64 m da margem de um plantio de coqueiro (Igarassu-PE,  $7^\circ 49'S$ ,  $34^\circ 50'W$ ). As plantas tinham altura média do estipe de 7,6 m. O alinhamento das estacas seguiu o sentido Noroeste, predominante do vento no local ( $330^\circ$ ). Cinco armadilhas adesivas de

cor amarela (Colly Química®, 30 x 12 cm) foram fixadas ao longo de cada estaca, com auxílio de parafusos que impediam sua movimentação pela ação do vento, distantes do nível do solo de 0,3; 0,8; 1,5; 2,4 e 4,8 m. As armadilhas permaneceram em campo durante cinco dias consecutivos, por aproximadamente 104 horas de coleta, para então serem levadas ao laboratório, onde foi contabilizado o número total de *R. indica* (ovos, imaturos, fêmeas e machos) presentes nas armadilhas. Além disso, foram identificadas e quantificadas as demais famílias de ácaros. Foram realizadas seis repetições (coletas) independentes. As análises de regressão entre o número de ácaros capturados nas armadilhas a diferentes alturas e distâncias foram realizadas no Sigmaplot (versão 11.0). As variáveis independentes foram altura e distância, e a quantidade de ácaros capturados foi a variável dependente. A interação entre altura e distância foi realizada pela análise de variância (PROC GLM, SAS version 9.0). Para sexo e fase de desenvolvimento foi realizado teste qui-quadrado (PROC chisq, SAS version 9.0).

**Influência de fatores climáticos na dispersão aérea de *Raoiella indica*.** Os dados da velocidade do vento para estudo da influência de fatores abióticos em condições de campo foram obtidos através da aferição diária no período em que as armadilhas permaneciam em campo. As aferições eram realizadas nos horários de 8, 10, 12, 14 e 16h, através da utilização de anemômetro portátil (Incoterm 7607.01.0.00). O equipamento era colocado a uma altura de 1,5 m do solo, ao lado de cada uma das sete estacas e observado durante um minuto, registrando-se a maior velocidade aferida neste intervalo de tempo. Já os dados climáticos de temperatura, umidade relativa, pluviosidade, pressão e radiação foram obtidos através da estação automática mais próxima (cidade do Recife), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As correlações das médias entre o número de ácaros capturados por armadilha com dados climáticos foram realizadas no SAS (PROC Pearson Spearman, SAS version 9.0).

## Resultados

**Influência da velocidade do vento na dispersão de *Raoiella indica*.** A dispersão de *R. indica* aumentou significativamente com o aumento da velocidade do vento tanto sobre os discos de plástico quanto sobre os discos de folíolo de coqueiro. Os dados ajustaram-se a um mesmo modelo de regressão ( $y = a + bx^2$ ), onde 71% das variações observadas são explicadas pelo modelo para coqueiro ( $R^2 = 0,71$ ;  $F_{1,118} = 300,2$ ;  $P < 0,0001$ ) e 72% para plástico ( $R^2 = 0,72$ ;  $F_{1,118} = 314,87$ ;  $P < 0,0001$ ). A curva obtida para dispersão em plástico não diferiu estatisticamente da curva de coqueiro (Fig. 1).

**Efeito da fase de desenvolvimento, sexo, status de acasalamento e privação alimentar na dispersão de *Raoiella indica*.** Dentre os 400 ácaros testados quanto a fase de desenvolvimento, sendo 100 para cada estágio, 95 se dispersaram, dos quais 61,05% foram adultos, diferindo significativamente dos estágios de larva (13,68%), protoninfa (9,47%) e deutoninfa (15,79%) ( $\chi^2 = 29,27$ , g.l. = 3,  $P < 0,0001$ ) (Fig. 2A). Do total de 100 ácaros testados quanto ao sexo, 87 se dispersaram, sendo 71,26% fêmeas e 28,73% machos, diferindo significativamente ( $\chi^2 = 15,73$ , g.l. = 1,  $P < 0,0001$ ) (Fig. 3A). O status de acasalamento não apresentou influencia na dispersão de *R. indica* ( $\chi^2 = 0,0099$ , g.l. = 1,  $P = 0,92$ ), tendo dos 200 ácaros testados, 101 se dispersado, sendo 50,49% fêmeas virgens e 49,51% fêmeas fertilizadas. A privação alimentar também não demonstrou influência na dispersão de *R. indica* ( $\chi^2 = 0,2865$ , g.l. = 1,  $P = 0,59$ ), tendo dos 200 ácaros testados, 171 se dispersado, sendo 52,04% sob privação alimentar e 47,96% fêmeas alimentadas.

**Influência da densidade populacional na dispersão de *Raoiella indica*.** O aumento da densidade populacional ocasionou redução da dispersão de *R. indica*; representado pelo modelo de regressão polinomial quadrática  $y = 91,18 - 46x + 10,39x^2$ , explicando 23% da variabilidade ( $R^2 = 0,23$ ;  $F_{2,27} = 8,91$ ;  $P < 0,001$ ) (Fig. 4).



**Potencial de dispersão de *Raoiella indica*.** Um total de 6.015 ácaros foram capturados nas armadilhas, sendo 5.935 fitófagos e 80 predadores. Dos ácaros fitófagos, 85,3% foram *R. indica*, 14,0% *Tetranychus desertorum* Banks, 0,5% *Brevipalpus sp.*, 0,1% *Tetranychus sp.* e 0,1% *Monoceronychus sp.* Dentre os ácaros predadores 51,3% pertenceu à família Phytoseiidae, 12,5% Cunaxidae, 6,3% Melicharidae, 5,0% Stigmaeidae, 5,0% Bdellidae, 5,0% Cheyletidae, 3,8% Ascidae, 3,8% Cryptognatidae, 2,5% Ologamasidae, 1,3% Camerobiidae, 1,3% Erythraeidae, 1,3% Iolinidae e 1,3% Sejidae (Tabela 1).

Do total de 5.064 *R. indica* capturados a maior percentagem foi de adultos (87,05%), diferindo dos imaturos (12,95%) ( $\chi^2 = 2779.91$ ; g.l. = 1;  $P < 0,0001$ ) (Fig. 2B). De um total de 4.408 adultos de *R. indica* capturados nas armadilhas, a maior percentagem foi de fêmeas (95,28%), diferindo dos machos (4,72%) ( $\chi^2 = 3615.25$ ; g.l. = 1;  $P < 0,0001$ ) (Fig. 3B).

A quantidade de *R. indica* capturados aumentou linearmente com a altura das armadilhas ( $R^2 = 0,99$ ;  $F_{1,3} = 449,53$ ;  $P < 0,0002$ ), podendo ser estimada pela equação  $y=311,20+357,95x$ . Já a quantidade de ácaros capturados nas armadilhas a diferentes distâncias do coqueiral apresentou um modelo quadrático ( $R^2 = 0,99$ ;  $F_{3,3} = 149,77$ ;  $P < 0,0009$ ), aumentando o número de ácaros capturados até 48 m de distância e diminuindo até 64 m, podendo ser estimada pela equação  $y=505,61+5,84x+0,34x^2-0,0053x^3$  (Fig. 5). A interação entre altura e distância não foi significartiva ( $R^2=0,65$ ,  $F_{24,175}=0,80$ ,  $P=0,73$ ).

**Influência de fatores climáticos na dispersão aérea de *Raoiella indica*.** O total de *R. indica* capturados apresentou correlação significativa ( $P = 0,05$ ) apenas com a pressão atmosférica. O total de machos ( $P < 0,1$ ), imaturos ( $P < 0,002$ ) e ovos ( $P < 0,02$ ) de *R. indica* apresentou correlação apenas com pluviosidade (Tabela 2).

## Discussão

Dentro de uma mesma população existem indivíduos dispersantes e os residentes, determinados por diferenças fenotípicas. Há evidências, embora empiricamente, de que a dispersão de um organismo pode envolver uma série de custos (Schtickzelle & Baguette 2003, Bonte *et al.* 2012) e ocorre se o investimento compensar no “trade off” por outros fatores (Stein 1968). Vento e correntes de ar podem desempenhar papéis importantes na determinação de tempo do trajeto, caminhos, e distâncias percorridas (Dingle 1982). Maiores velocidades de ventos ocasionam maiores taxas de dispersão em ácaros fitófagos (Melo *et al.* 2014, Laska *et al.* 2019) e predadores (Sabelis & Afman 1994, Jung & Croft 2001, Monteiro *et al.* 2018). O aumento significativo da dispersão de *R. indica* resultante do aumento da velocidade do vento, pode ser um indicativo de que altas velocidades podem ser mais efetivas na redução dos custos de dispersão (Mitchel 1970, Bonte *et al.* 2012) e aumento das chances de sucesso (Zera & Denno 1997).

O processo de dispersão requer a obtenção e troca de informações como chave para o processo de mudança de habitat (Valone 1989, Clobert *et al.* 2009), não apenas entre indivíduos, mas também pela obtenção de informação do cenário (Clobert *et al.* 2009). A curva obtida para dispersão de *R. indica* em plástico não diferiu estatisticamente de coqueiro, sendo possível que o ato de submeter os ácaros aos dois substratos sem prévio condicionamento tenha interferido nos resultados. Portanto, o tempo de exposição ao substrato antes da rajada de vento ser liberada no túnel pode ter interferido no reconhecimento e obtenção de informações a respeito do ambiente. Assim, o experimento fornece informações conclusivas a respeito da velocidade de vento, contudo a interferência do substrato precisa ser estudada mais detalhadamente.

O sucesso da dispersão pode aumentar devido a alguma diferença morfológica, fisiológica ou comportamental necessária (Zera & Denno 1997). A ocorrência da inseminação logo após a última ecdise das fêmeas e consequente garantia de capacidade de iniciação de uma nova colônia são características que fazem acreditar que a fertilização de fêmeas favorece a decisão de

dispersão (Kane *et al.* 2012). Entretanto, o resultado obtido referente ao status de acasalamento na taxa de dispersão pode ser decorrente da capacidade reprodutiva de *R. indica* ser tanto sexuada quanto partenogenética, o que confere ao ácaro a capacidade de reprodução mesmo sem o acasalamento, conseqüentemente, a possibilidade de fundar uma colônia a partir de um único indivíduo (Mitchell 1970). Essa característica pode também ser responsável pelo fato de fêmeas adultas de *R. indica* serem mais propícias à dispersão que os estágios imaturos e machos, tanto no campo, quanto em laboratório, uma vez que imaturos não possuem a capacidade imediata de fundar novas colônias. Além disso, a seleção de características fenotípicas e comportamentais para reduzir custos de dispersão (Barbraud *et al.* 2003, Duckworth 2006; Sinervo & Clobert 2003), como maiores dimensões de fêmeas, talvez facilitem o lançamento em correntes de vento, favorecendo a dispersão de fêmeas adultas em comparação a imaturos. Já a dispersão de machos, apesar de ocorrer em menor quantidade, talvez seja importante para aprimorar a genética em novas áreas colonizadas (Crespi & Taylor 1990). Os resultados deste trabalho corroboram com um estudo de microscopia eletrônica de varredura e observações de campo realizado por Kane *et al.* (2012) que sugere fêmeas adultas de *R. indica* como a fase mais provável de realizar dispersão.

A privação alimentar não demonstrou interferência na dispersão de *R. indica* em comparação a fêmeas alimentadas. Portanto, é possível que os custos energéticos decorrentes da privação por 24h não compensem no trade-off para dispersão (Bonte *et al.* 2012), ou ainda que o tempo de privação alimentar utilizado neste estudo não tenha sido o bastante para estimular a dispersão por meio do reconhecimento da ausência de alimento (Clobert *et al.* 2009).

A dispersão desempenha um papel essencial na estruturação da população (Ronce 2007, Clobert *et al.* 2009). Era esperado que as taxas de dispersão aumentassem com o aumento da densidade e possibilidade de saturação da capacidade de suporte do meio (Lidicker 1962), ou mesmo que ocorresse a utilização da dispersão como escape da competição intraespecífica (Valen

1971). Entretanto, o aumento da densidade populacional ocasionou redução do percentual de dispersão de *R. indica*, o que pode indicar que a espécie possua algum benefício advindo da presença de coespecíficos, conhecido por efeito “Allee”, como agregação antipredação, modificação do ambiente, facilidade para reprodução, dentre outras possibilidades (Stephens & Sutherland 1999, Stephens *et al.* 1999, Dittmann & Schausberger 2017). Além disso, outra possibilidade que justifique a diminuição da dispersão com o aumento da densidade seria a idade e condições em que se encontram os indivíduos dispersantes. Indivíduos em ambientes com menor lotação podem apresentar melhores condições biológicas que indivíduos advindos de um ambiente saturado, o que contribui para o aumento das chances de sucesso de dispersão e colonização (Lidicker & Koenig 1996), e conseqüentemente para a decisão de dispersão. Outros estudos também observaram maiores taxas de dispersão em menores densidades para *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) (Dittmann & Schausberger 2017), *Melitaea cinxia* (Lepdoptera: Nymphalidae) (Kuussaari *et al.* 1996) e *Parnassius smintheus* (Lepdoptera: Papilionidae) (Roland *et al.* 2000), quando os benefícios de viver em grupo superam os custos da competição. O coqueiro, diferente de outras culturas, apresenta todas as fases fenológicas em uma mesma planta após o início da floração, emitindo folhas novas a cada 18-30 dias, dependendo das condições ambientais (Sobral 1994). A distribuição espacial de *R. indica* em coqueiro já foi estudada e verificou-se que as maiores densidades populacionais estão entre as folhas 13-14 (Roda *et al.* 2012, Gondim Jr. *et al.* 2012), estando os ácaros em constante migração para folhas mais subsequentes. Portanto, em condições de elevadas densidades populacionais, é possível que a dispersão por caminhamento para outra parte da planta seja o método mais utilizado para movimentação em comparação à dispersão aérea, uma vez que nessas condições, os riscos da dispersão por caminhamento podem ser reduzidos devido à agregação (Stephens & Sutherland 1999).

A correlação da dispersão de ácaros com pressão atmosférica para adultos pode ocorrer devido à influência deste fator nas mudanças de velocidade e direção do vento com a altura acima do solo, que ocorrem dentro da camada limite planetária (PEL) de 1-2 km da troposfera. O ar na troposfera é influenciado, em particular, pela distribuição desigual do calor e se movimenta em função do gradiente de pressão, do mais baixo para o mais alto. Nos trópicos, o ar aquecido sobe, resultando na redução da pressão perto da superfície, já nos polos o inverso acontece, caracterizando o padrão geral de circulação do ar (Dingle 1982). Assim como no presente trabalho, Zagvazdina *et al.* (2015) também encontraram correlação em alterações de pressão e dispersão de Psilídio. As alterações na fototaxia de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) em respostas às rápidas mudanças de pressão encontradas por ela sugerem a existência de benefícios em focar a energia na dispersão em vez de acasalamento.

Os ovos de *R. indica* apresentam um “stipe”, fino e longo pedúnculo utilizado para fixação do ovo à superfície da folha (Kane *et al.* 2012), que dificulta seu desprendimento do folíolo. Portanto, a correlação entre ovos e pluviosidade pode ser um indício de que chuvas fortes promovem a lavagem desses ovos da planta e consequente dispersão pelo vento. Na América Central e do Norte é possível que a ocorrência de fortes ventos, por ocasião de furacões, sobretudo na região do Caribe, tenha facilitado a rápida dispersão de *R. indica* à grandes distâncias (Invasive Species Compendium 2012, Navia *et al.* 2015), incluindo no estágio de ovo, uma vez que sob condições de alta umidade este estágio pode se manter viável (Vis *et al.* 2006). Além disso, a correlação da pluviosidade, neste trabalho, com ovos, machos e imaturos pode ser um indicativo de que essa dispersão seja considerada involuntária, uma vez que em laboratório e campo os valores para a dispersão desses grupos são menores.

Os dados de temperatura e umidade não foram obtidos diretamente no local de experimentação, devido à estação meteorológica mais próxima estar a 30 km. Portanto, a falta de correlação entre as

médias de temperatura e umidade com a dispersão pode ser devido à ausência de dados mais precisos, assim como para a velocidade do vento, devido à alta variação durante as aferições ou ausência de dados noturnos. Os experimentos de laboratório ressaltaram a necessidade de altas velocidades (“vento fresco” de acordo com a escala de Beaufort) de vento para a dispersão de *R. indica*, quando comparada a outras espécies de ácaros (Melo *et al.* 2014, Monteiro *et al.* 2018). Durante as aferições, altas velocidades de vento, responsáveis por maiores taxas de dispersão de *R. indica* foram registradas raramente (máxima de 10 m/s), não exercendo grande influência na média geral por coleta.

A dispersão pelo vento, mesmo para pequenos organismos, pode não ser uma consequência de um transporte acidental, mas um evento programado de acordo com o ciclo de vida e condições ambientais que influenciam na decisão de dispersão, formas e trajeto dos ácaros (Danthanarayana 1976, Dingle 1982, Auger *et al.* 1999), como a seleção da altura de voo para insetos alados de acordo com as condições de temperatura fornecidas pelas camadas de vento (Dingle 1982). Entretanto, devido à ausência de asas e, conseqüentemente, suposta ausência de controle sobre o trajeto do ácaro durante a dispersão pelo vento, o conhecimento da altura e distância de dispersão desses organismos pode auxiliar na utilização de barreiras de vento como mecanismos para evitar a disseminação. A observação da altura de dispersão obtida no estudo fornece informações que podem auxiliar na escolha de culturas com altura adequada para utilização como quebra-vento (Laranjeira *et al.* 2005, Bassanezi & Laranjeira 2007). Entretanto, uma vez que as plantas do campo apresentavam altura média de 7,3 m, a altura máxima de 4,8 m das armadilhas não foi o bastante para estabelecer o potencial máximo de altura de dispersão que o ácaro pode atingir. Já os resultados em relação à distância podem fornecer informações a respeito da disposição de quebra-vento, armadilhas ou distância entre plantios. O número de *R. indica* capturados em armadilhas aumentou com o aumento da distância até 48 m, diminuindo em seguida,

diferentemente por exemplo de *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead) (Acari: Eriophyidae) que apresentou redução no número de ácaros capturados em armadilhas com o aumento da distância do plantio (Bergh & McCoy 1997).

É provável que a chegada de *R. indica* às Américas tenha ocorrido por conta do transporte de plantas infestadas, uma vez que permaneceu restrita ao continente Asiático durante 80 anos. Entretanto, a rápida expansão desse ácaro dentro do continente americano após a chegada, pode agora ser explicada em parte pelo transporte de partes de vegetais infestados e pela utilização do vento como transporte. A extensa distribuição de coqueiros pelo litoral nordestino pode ter facilitado a rápida expansão desse ácaro pela região, uma vez que pode ser transportado pelo vento por pelo menos 64m. A ampliação da gama de hospedeiros talvez tenha facilitado também a sobrevivência e dispersão.

### Literatura Citada

- Auger, P., M.S. Tixier, S. Kreiter & G. Fauvel. 1999.** Factors affecting ambulatory dispersal in the predaceous mite *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.* 23: 235-250.
- Barbraud, C., A.R. Johnson & G. Bertault. 2003.** Phenotypic correlates of post-fledging dispersal in a population of greater flamingos: the importance of body condition. *J. Anim. Ecol.* 72: 246-257.
- Barroso, G., C.M. Rocha, G.F. Moreira, F.T. Hata, S. Roggia, M.U. Ventura, A. Pasini, J.E.P. Silva, A.M. Holtz & G.J. Moraes. 2019.** What is the southern limit of the distribution of red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae), in agricultural lands in Brazil? *Fla. Entomol.* 102: 581-585.
- Bassanezi, R.B. & F.F. Laranjeira. 2007.** Spatial patterns of leprosis and its mite vector in commercial citrus groves in Brazil. *Plant Pathol.* 56: 97-106.
- Baumann, J. 2018.** Tiny mites on a great journey - a review on scutacarid mites as phoronts and inquilines (Heterostigmatina, Pygmephoroida, Scutacaridae). *Acarologia* 58: 192-251.

- Benton, T.G. & D.E. Bowler. 2012.** Dispersal in invertebrates: influences on individual decisions, p. 41-46. In J. Clobert, M. Baguette, T.G. Benton & J.M. Bullock (eds.), *Dispersal Ecology and Evolution*. Croydon, Oxford University Press, 462 p.
- Bergh, J.C. & C.W. McCoy. 1997.** Aerial Dispersal of Citrus Rust Mite (Acari: Eriophyidae) from Florida Citrus Groves. *Environ. Entomol.* 26: 256-264.
- Bonte, D., H. Van Dyck, J.M. Bullock, A. Coulon, M. Delgado, M. Gibbs, V. Lehouck, E. Matthysen, K. Mustin, M. Saastamoinen, N. Schtickzelle, V.M. Stevens, S. Vandewoestijne, M. Baguette, K. Barton, T.G. Benton, A.C. Bardy, J. Clobert, C. Dytham, T. Hovestadt, C.M. Meier, S.C. F. Palmer, C. Turlure & J.M.J. Travis. 2012.** Costs of dispersal. *Biol. Rev.* 87: 290-312.
- Bowler, D.E. & T.G. Benton. 2005.** Causes and consequences of animal dispersal strategies: relating individual behaviour to spatial dynamics. *Biol. Rev.* 80: 205-225.
- Carrillo, D., D. Amalin, F. Hosein, A. Roda, R.E. Duncan & J.E. Peña. 2012.** Host plant range of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in areas of invasion of the New World. *Exp. Appl. Acarol.* 57: 271-289.
- Clobert, J., J.F. Galliard, J. Cote, S. Meylan & M. Massot. 2009.** Informed dispersal, heterogeneity in animal dispersal syndromes and the dynamics of spatially structured populations. *Ecol. Lett.* 12: 197-209.
- Crespi, J.B. & P.D. Taylor. 1990.** Dispersal Rates Under Variable Patch Density. *The Am. Nat.* 135: 48-62.
- Croft, B.A. & C. Jung. 2001.** Phytoseiid dispersal at plant to regional levels: a review with emphasis on management of *Neoseiulus fallacis* in diverse agroecosystems. *Exp. Appl. Acarol.* 25: 763-784.
- Danthanarayana, W. 1976.** Flight thresholds and seasonal variations in flight activity of the light brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Walker) (Tortricidae). *Oecologia* 23:171-182.
- Dingle, H. 1982.** Migration, winds and currents, p. 95-136. In H. Dingle (ed.), *Migration: the biology of life on the move*. Nova York, Oxford University Press, 413 p.
- Dittmann, L. & P. Schausberger. 2017.** Adaptive aggregation by spider mites under predation risk. *Sci. Rep.* 7: 10609.
- Duckworth, R.A. 2006.** Aggressive behaviour affects selection on morphology by influencing settlement patterns in a passerine bird. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 273: 1789-1795.
- Evans, G.O. 1992.** *Principles of Acarology*. Wallingford, C.A.B. International, 563p.
- Gaede, K. 1992.** On the water balance of *Phytoseiulus persimilis* A.-H. and its ecological significance. *Exp. Appl. Acarol.* 15: 181-198.



- Gondim Jr., M.G.C., T.M.M.G. Castro, A.L. Marsaro Jr., D. Navia, J.W.S. Melo, P.R. Demite & G.J. Moraes. 2012.** Can the red palm mite threaten the Amazon vegetation? *Syst. Biodivers.* 10: 527-535.
- Invasive Species Compendium. 2018.** *Raoiella indica*. Disponível em: [www.cabi.org/isc/?compid=5&dsid=46792&loadmodule=datasheet&page=481&site=144#](http://www.cabi.org/isc/?compid=5&dsid=46792&loadmodule=datasheet&page=481&site=144#).
- Jung, C. & B.A. Croft. 2001.** Ambulatory and aerial dispersal among specialist and generalist predatory mites (Acari: Phytoseiidae). *Environ. Entomol.* 30:1112-1118.
- Kane, E.C., R. Ochoa, G. Mathurin, E.F. Erbe & J.J. Beard. 2012.** *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae): an exploding mite pest in the neotropics. *Exp. Appl. Acarol.* 57: 215-225.
- Keller, P.R., M.W. Cadotte & G. Sandiford. 2014.** *Invasive Species in a Globalized World: Ecological, Social, and Legal Perspectives on Policy*. Chicago, The University of Chicago Press, 416 p.
- Kuussaari, M., M. Nieminen & I. Hanski. 1996.** An experimental study of migration in the Glanville fritillary butterfly *Melitaea cinxia*. *J. Anim. Ecol.* 65: 791-801.
- Laranjeira, F.F., E. Feichtenberger, R.B. Bassanezi & M.B. Spósito. 2005.** Manejo integrado de doenças de citros, p. 629-654. In D. Mattos Jr., J.D. DeNegri, R.M. Pio & J. Pompeu Jr. (eds.), *Citros*. Campinas, Instituto Agrônômico e Fundag. 929p.
- Laska, A., B.G. Rector, A. Skoracka, L. Kuczynski. 2019.** Can your behaviour blow you away? Contextual and phenotypic precursors to passive aerial dispersal in phytophagous mites. *Anim. Behav.* 155: 141-151.
- Lidicker Jr. W.Z. & W.D. Koenig. 1996.** Responses of terrestrial vertebrates to habitat edges and corridors, p. 85-109. In D.R. McCullough (ed.), *Metapopulations and wildlife conservation*. Washington, Island Press, 439p.
- Lidicker Jr., W.Z. 1962.** Emigration as a possible mechanism permitting the regulation of population density below carrying capacity. *Am. Nat.* 96: 29-33.
- Melo, J.W.S., D. Navia, J.A. Mendes, R.M.C. Filgueiras, A.V. Teodoro, J.M.S. Ferreira, E.C. Guzzo, I.V. Souza, R.S. Mendonça, E.C. Calvet, A.A. Paz Neto, M.G.C. Gondim Jr., E.G.F. Moraes, M.S. Godoy, J.R. Santos, R.I. R. Silva, V.B. Silva, R.F. Norte, A.B. Oliva, R.D.P. Santos & C.A. Domingos. 2018.** The invasive red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), in Brazil: range extension and arrival into the most threatened area, the Northeast Region. *Int. J. Acarol.* 44: 146-149.
- Melo, J.W.S., D.B. Lima, M.W. Sabelis, A. Pallini & M.G.C. Gondim Jr. 2014.** Behaviour of coconut mites preceding take-off to passive aerial dispersal. *Exp. Appl. Acarol.* 64: 429-443.
- Mitchell, R. 1970.** An analysis of dispersal in mites. *Am. Nat.* 104:425-431.

- Monteiro, V.B., V.F. Silva, D.B. Lima, R.N.C. Guedes & M.G.C. Gondim Jr. 2018.** Pesticides and passive dispersal: acaricide and starvation-induced take-off of the predatory mite *Neoseiulus baraki*. *Pest Manag. Sci.* 74: 1272-1278.
- Moraes, G.J. & C.H.W. Flechtmann. 2008.** Manual de Acarologia: Acarologia Básica e Ácaros de Plantas Cultivadas no Brasil. Ribeirão Preto, Holos Editora, 308p.
- Nachman, G. 1987.** Systems analysis of acarine predator-prey interactions. II. The role of spatial processes in system stability. *J. Anim. Ecol.* 56: 267-281.
- Navia, D., E.G.F. Morais, R.S. Mendonça, & M.G.C. Gondim Jr. 2015.** Ácaro-vermelho-das-palmeiras, *Raoiella indica* Hirst, p. 399-433. In E.F. Vilela & R.A. Zucchi (eds.), Pragas introduzidas no Brasil: Insetos e ácaros. Piracicaba, ESALQ/USP, 908p.
- Navia, D., G.J. Moraes & C.H.W. Flechtmann. 2007.** Phytophagous mites as invasive alien species: quarantine procedures. In J.B. Morales-Malacara, V. Behan-Pelletier, E. Ueckermann, T.M. Pérez, E.G. Estrada-Venegas, & M. Badii (eds.), Proceedings of the XI International Congress of Acarology. Mérida, Sociedad Latinoamericana de Acarología. 726p.
- Pimentel, D. 2011.** Biological invasions: economic and environmental costs of alien plant, animal, and microbe species. Boca Raton, CRC Press, 382p.
- Polanco-Arjona, C.A., R. Osorio-Osorio, L.U. HernándezHernández, C. Márquez-Quiroz, E. Cruz-Lázaro, R.M. Salinas-Hernández & V. Hernández-García. 2017.** Colonization, Abundance, and Damage of *Raoiella indica* Hirst on Cultivars of *Musa* spp. at Tabasco, México. *Southwest. Entomol.* 42: 363-374.
- Roda, A., G. Nachman, F. Hosein, J.C.V. Rodrigues & J.E. Peña. 2012.** Spatial distributions of the red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) on coconut and their implications for development of efficient sampling plans. *Exp. Appl. Acarol.* 57: 291-308.
- Roland, J., N. Keyghobadi & S. Fownes. 2000.** Alpine *Parnassius* butterfly dispersal: effects of landscape and population size. *Ecology* 81: 1642-1653.
- Ronce, O. 2007.** How does it feel to be like a rolling stone? Ten questions about dispersal evolution. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 38: 251-253.
- Sabelis, M.W. & B.P. Afman. 1994.** Synomone-induced suppression of take-off in the phytoseiid mite *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot. *Exp. Appl. Acarol.* 18: 711-721.
- Sabelis, M.W. & M. Dicke. 1985.** Long-range dispersal and searching behavior, p. 141-157. In W. Helle & M.W. Sabelis (eds.), Spider mites. Their biology, natural enemies and control. Amsterdam, Elsevier, 458p.

- Schtickzelle, N. & M. Baguette. 2003.** Behavioural responses to habitat patch boundaries restrict dispersal and generate emigration-patch area relationships in fragmented landscapes. *J. Anim. Ecol.* 72: 53-545.
- Sinervo, B. & Clobert, J. 2003.** Morphs, dispersal behavior, genetic similarity, and the evolution of cooperation. *Science*, 300: 1949-1951.
- Smitley, D.R. & Kennedy, G.G. 1985.** Photo-oriented Aerial-dispersal Behavior of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) Enhances Escape from the Leaf Surface. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 78: 609-614.
- Sobral, L.F. 1994.** Nutrição e adubação do coqueiro, p. 156-203. In J.M.S. Ferreira, D.R.N. Warmick & L.A. Siqueira (eds.), *Cultura do coqueiro no Brasil*. Aracarju, EMBRAPA-SPI, 309p.
- Stein, V.W. 1968.** Der Einfluß des Flugdimorphismus auf die Ausbreitung von Curculioniden-Artem. *Z. Angew. Entomol.* 61: 442-445.
- Stephens, P.A. & W. J. Sutherland. 1999.** Consequences of the Allee effect for behaviour, ecology and conservation. *Trends Ecol. Evol.* 14: 401-405.
- Stephens, P.A., W. J. Sutherland & R.P. Freckleton. 1999.** What Is the Allee Effect? *Oikos* 87: 185-190.
- Taylor, B., P.M. Rahman, S.T. Murphy & V.V. Sudheendrakumar. 2012.** Within-season dynamics of red palm mite (*Raoiella indica*) and phytoseiid predators on two host palm species in south-west India. *Exp. Appl. Acarol.* 57: 331-345.
- Valen, V.L. 1971.** Group selection and the evolution of dispersal. *Evolution* 25: 591-98.
- Valone, T.J. 1989.** Group foraging, public information, and patch estimation. *Oikos* 56: 357-363.
- Vis, R.M.J., G.J. Moraes & M.R. Bellini. 2006.** Effect of air humidity on the egg viability of predatory mites (Acari: Phytoseiidae, Stigmaeidae) common on rubber trees in Brazil. *Exp. Appl. Acarol.* 38: 25-32.
- Yaninek, J.S. 1988.** Continental Dispersal of the Cassava Green Mite, an Exotic Pest in Africa, and Implications for Biological Control. *Exp. Appl. Acarol.* 4: 211-224.
- Zagvazdina, N.Y., T.M. Paris, B.J. Udell, M. Stanislauskas, S. McNeill, S.A. Allan, & R.W. Mankin. 2015.** Effects of Atmospheric Pressure Trends on Calling, Mate-Seeking, and Phototaxis of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 108: 762-770.
- Zera, A.J. & R.F. Denno. 1997.** Physiology and ecology of dispersal polymorphism in insects. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 42: 207-231.

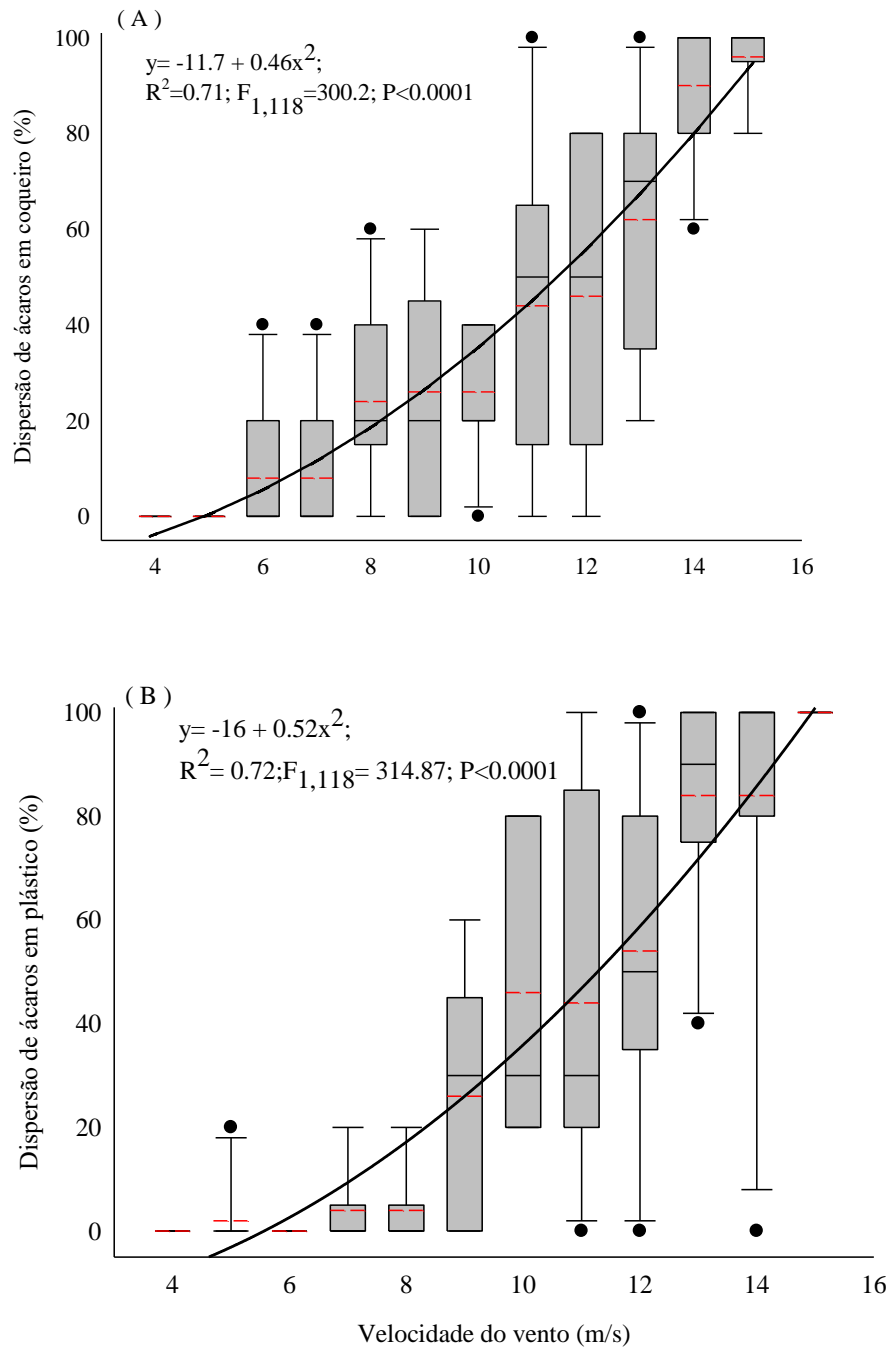


Figura 1. Percentual de dispersão de *Raoiella indica* em coqueiro (A) e plástico (B) em velocidades de vento de 4 a 15 m/s em túnel de vento em laboratório.

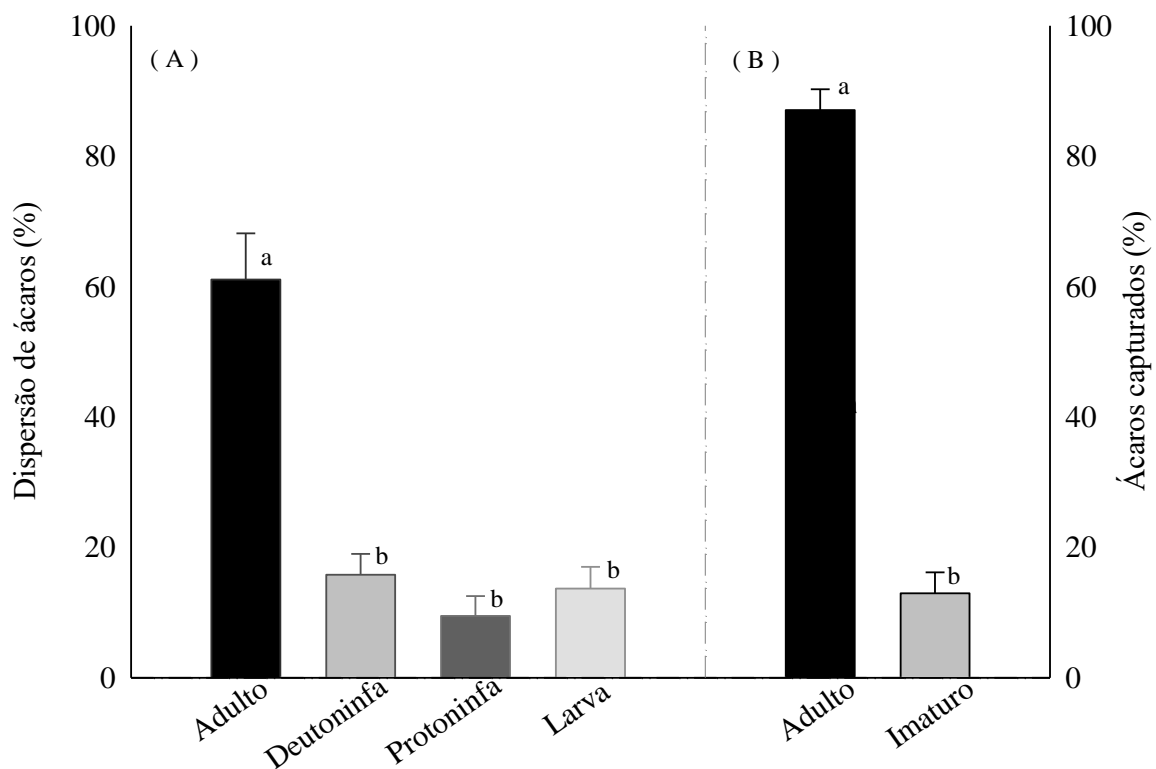


Figura 2. Percentual de dispersão de fêmeas adultas, deutoninfas, protoninfas e larvas de *Raoiella indica* em túnel de vento em laboratório (A) e percentual de ácaros adultos e imaturos (larva, protoninfa e deutoninfa) capturados em armadilhas adesivas em campo (B).

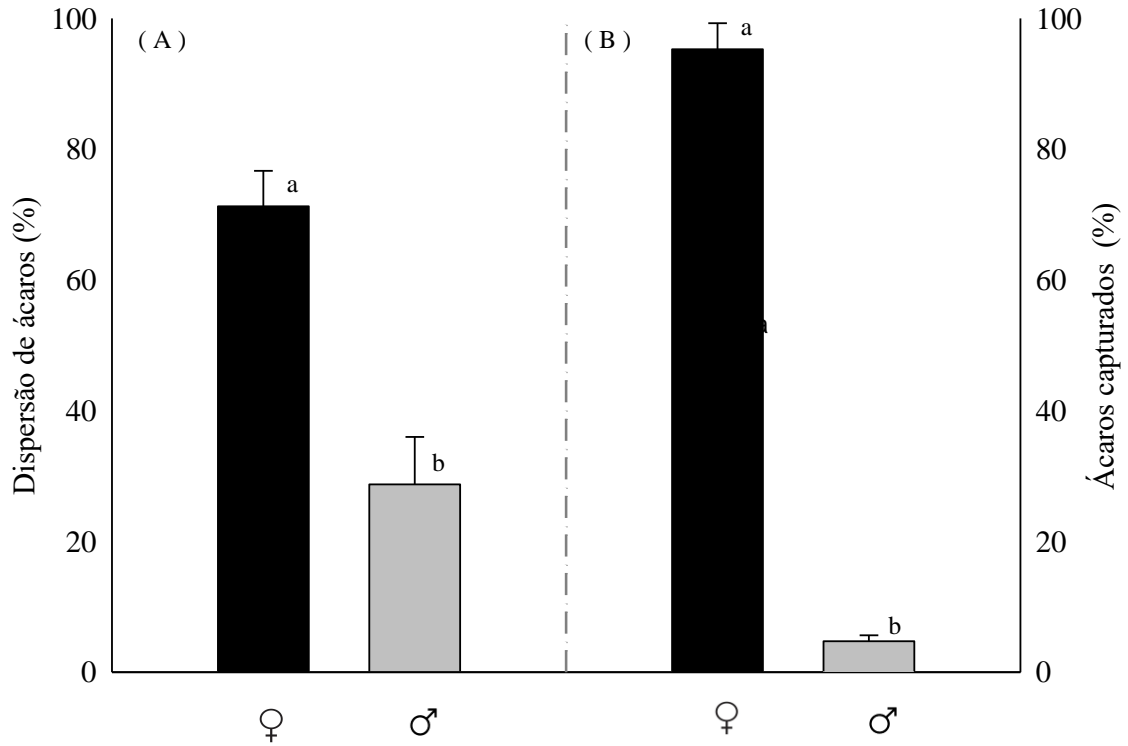


Figura 3. Percentual de fêmeas e machos de *Raiiella indica* disperso em túnel de vento em laboratório (A), e capturados em armadilhas adesivas em campo (B).

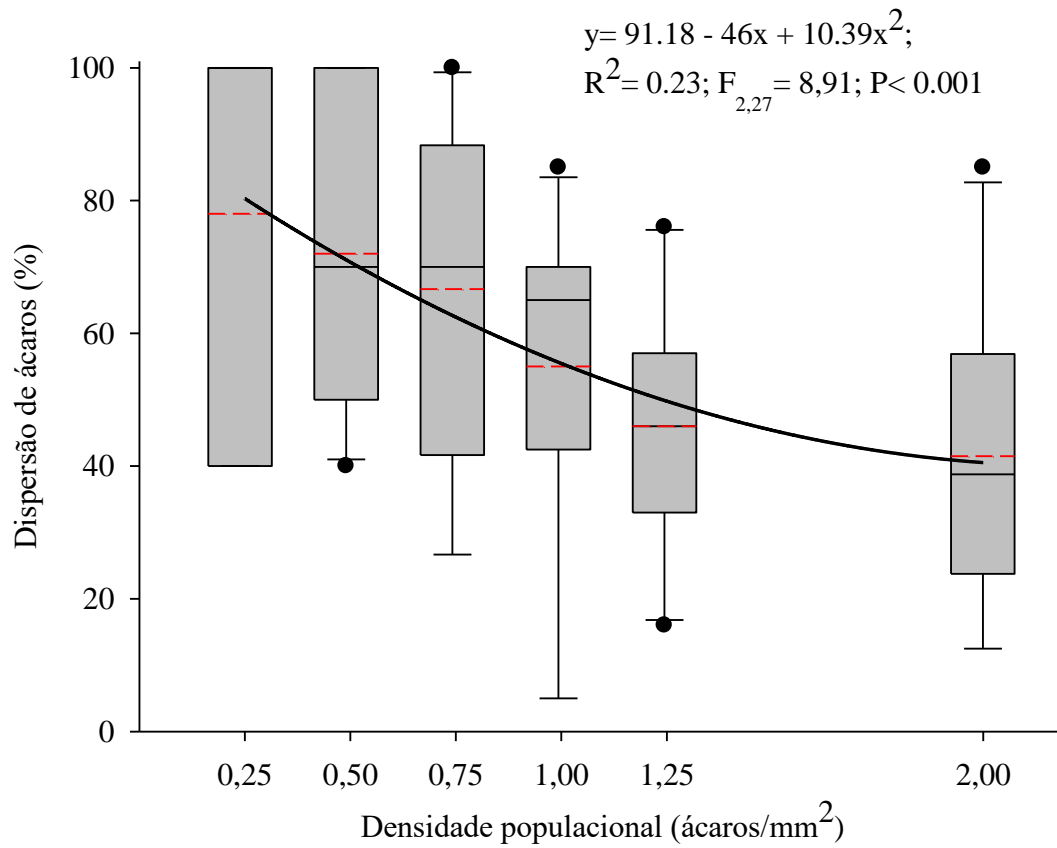


Figura 4. Dispersão de *Raoiella indica* em túnel de vento em diferentes densidades populacionais (0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 e 2,00 ácaros/mm<sup>2</sup>).

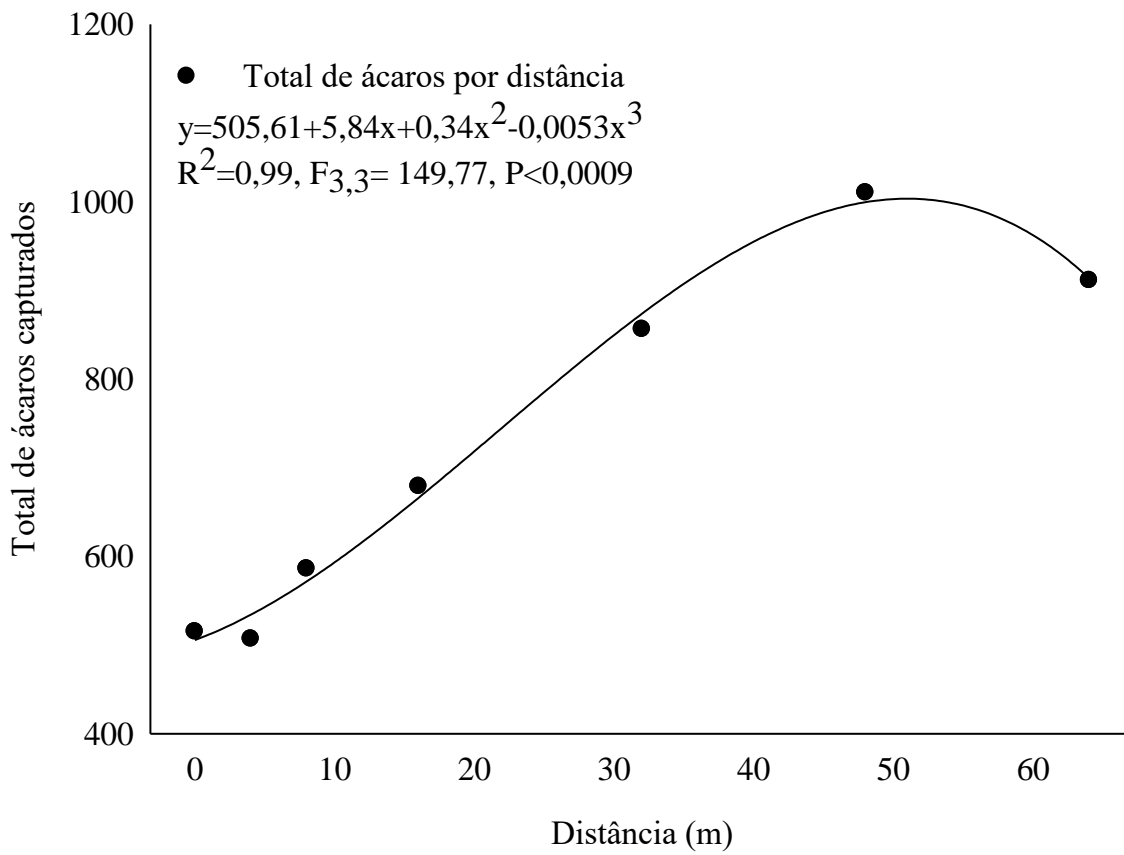


Figura 5. Número total de *Raoiella indica* capturado nas armadilhas adesivas em diferentes distâncias do coqueiral (0, 4, 8, 16, 32, 48 e 64 m).



Tabela 1. Número total e percentagem de ácaros fitófagos e predadores capturados em armadilhas adesivas em área de plantio de coqueiro em Igarassu, Brasil.

Ácaros	Total	Percentual
Fitófagos		
Tenuipalpidae		
<i>R. indica</i>	5064	85,3
<i>Brevipalpus</i> sp.	32	0,5
Tetranychidae		
<i>T. desertorum</i>	833	14,0
<i>Tetranychus</i> sp.	3	0,1
<i>Monoceronychus</i> sp.	3	0,1
Total	5935	100,0
Predadores		
Ascidae	3	3,8
Bdellidae	4	5,0
Camerobiidae	1	1,3
Cryptognatidae	3	3,8
Cheyletidae	4	5,0
Cunaxidae	10	12,5
Erythraeidae	1	1,3
Iolinidae	1	1,3
Melicharidae	5	6,3
Ologamasidae	2	2,5
Phytoseiidae	41	51,3
Sejidae	1	1,3
Stigmaeidae	4	5,0
Total	80	100,00

Tabela 2. Estimativa dos Coeficientes de Correlação de Pearson (r) entre o total de ácaros, fêmeas, machos, imaturos e ovos de *Raoiella indica* capturados nas armadilhas com médias de velocidade de vento (m/s), temperatura (°C), umidade relativa (%), pluviosidade (mm), pressão (hPa) e radiação (kJ/m<sup>2</sup>). Significativo ao nível de 5% de probabilidade (P<0,05).

Ácaro	Estágio/Sexo	Correlação	Vento (m/s) <sup>1</sup>	Temperatura (°C) <sup>2</sup>	UR (%) <sup>2</sup>	Pluviosidade (mm) <sup>2</sup>	Pressão (hPa) <sup>2</sup>	Radiação (kJ/m <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
	Fêmeas	(r)	0,75850	-0,19607	-0,51338	0,20878	0,65827	0,37494
		P	0,0804	0,7097	0,2976	0,6914	0,1552	0,4639
	Machos	(r)	0,32160	-0,17172	0,12179	0,88585	0,63122	-0,26974
		P	0,5342	0,7450	0,8182	0,0188	0,1789	0,6052
<i>R. indica</i>	Imaturos	(r)	0,39135	-0,5087	0,40233	0,96029	0,74427	-0,41797
		P	0,4429	0,3070	0,4291	0,0023	0,0897	0,4096
	Ovos	(r)	0,19577	-0,23799	0,19002	0,88175	0,64450	-0,29659
		P	0,7101	0,6498	0,7184	0,0201	0,1671	0,5682
	Total	(r)	0,72767	-0,33452	-0,23014	0,57394	0,80608	0,10684
		P	0,1011	0,5169	0,6609	0,2336	0,0528	0,8403

<sup>1</sup> Dados registrados no campo entre 8 e 16h.

<sup>2</sup> Dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a cidade do Recife, Brasil.

## CAPÍTULO 3

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

*Raoiella indica* é uma espécie fitófaga invasora que se expandiu rapidamente nas Américas. Acreditava-se que sua expansão à longas distâncias se dava pelo transporte de mudas contendo o ácaro e utilização do vento como forma de dispersão, entretanto, essa última hipótese nunca foi comprovada. Além da comprovação da utilização do vento como meio de transporte obtida nesse estudo, foi possível identificar condições ambientais que influenciam na dispersão da espécie. A dispersão majoritária ocorre através de fêmeas adultas e que, ainda que em menor quantidade, a dispersão de machos, imaturos e ovos ocorre. A relação entre ovos, machos e imaturos com a pluviosidade sugere que a dispersão desses organismos pode ser involuntariamente ocasionada pela chuva. Também ficou esclarecido que os fatores abióticos e bióticos como a velocidade do vento e densidade populacional, respectivamente, desempenham papel primordial na taxa de dispersão e que a espécie pode utilizar o vento como meio de transporte para a colonização de plantas próximas por pelo menos 64 m. Provavelmente, *R. indica* se dispersou por toda a região tropical das Américas, transpondo longas distâncias através de partes de vegetais infestados, contudo ao chegar em uma região ele se distribuiu rapidamente através do vento.