

ECOLOGY, BEHAVIOR AND BIONOMICS

Comportamento de Forrageamento de *Xylocopa (Neoxylocopa) cearensis* Duce (Hymenoptera: Apidae, Xylocopini) em uma População de *Cuphea brachiata* Koehne (Lythraceae)

CAMILA M. PIGOZZO<sup>1,2</sup>, EDINALDO L. NEVES<sup>2</sup>, CLAUDIA M. JACOBI<sup>3</sup> E BLANDINA F. VIANA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lab. Biologia e Ecologia de Abelhas - LABEA, Instituto de Biologia, Univ. Federal da Bahia, Rua Barão de Geremoabo s/n, Campus Universitário de Ondina, 40.170-110, Salvador, BA, camilamp@ufba.br, blandefv@ufba.br

<sup>2</sup>Licenciatura em Ciências Biológicas, Instituto Superior de Educação, Faculdades Jorge Amado Av. Luís Viana Filho, 6775, Paralela, 41.745-130, Salvador, BA, edinaldoluz@uol.com.br

<sup>3</sup>Depto. Biologia Geral, Instituto de Ciências Biológicas da UFMG, Av. Antônio Carlos 6627, C. postal 486, 31.270-901 Belo Horizonte, MG, Jacobi@icb.ufmg.br

*Neotropical Entomology* 36(5):652-656 (2007)

Foraging Behavior of *Xylocopa (Neoxylocopa) cearensis* Duce (Hymenoptera: Apidae, Xylocopini) in a population of *Cuphea brachiata* Koehne (Lythraceae)

**ABSTRACT** - An analysis of the foraging behavior of the bee *Xylocopa (Neoxylocopa) cearensis* Duce among shrubs of *Cuphea brachiata* Koehne (Lythraceae), a key component in the Abaeté coastal sand dunes, Salvador, BA, Brazil, suggests that this bee is very important for the maintenance of the plant population, performing the pollination. This dispersal, however, is spatially restricted, so the populations in the area are likely to be highly structured genetically.

**KEY WORDS:** Bee, gene flow, pollination, sand dune

**RESUMO** - Uma análise do comportamento de forrageamento da abelha *Xylocopa (Neoxylocopa) cearensis* Duce em indivíduos de *Cuphea brachiata* Koehne (Lythraceae), subarbusto chave para a comunidade das dunas do Abaeté, Salvador, BA, sugere que essa abelha é importante na manutenção dessa população vegetal, realizando a polinização. Tal dispersão, no entanto, é espacialmente restrita, de maneira que as populações de *C. brachiata* na área devem se apresentar altamente estruturadas geneticamente, devido principalmente à auto-incompatibilidade da espécie.

**PALAVRAS-CHAVE:** Abelha, fluxo gênico, polinização, duna litorânea

Cerca de 90% das angiospermas atuais são polinizados por animais, especialmente insetos (Buchmann & Nabhan 1996), conseqüência de uma relação onde as plantas, geralmente, produzem recompensas, principalmente néctar e pólen, que atraem os potenciais polinizadores, e estes por sua vez forrageiam em busca de recursos energéticos (Simpson & Neff 1983, Westerkamp 1996).

Muitos autores sugerem que a interação entre flores e polinizadores seja resultado de um processo co-evolutivo, onde as flores determinaram as estratégias de forrageamento dos visitantes e estes, a estratégia reprodutiva das plantas (Faegri & van der Pijl 1979, Zimmerman 1988, Waser *et al.* 1996, Westerkamp 1996, dentre outros). A seleção, provavelmente, favorece as espécies de visitantes capazes de adotar estratégias de forrageamento que maximizem a eficiência na obtenção dos recursos, atingindo uma maneira ótima de obter o recurso (Levin 1978). A estratégia do forrageamento ótimo é aquela na qual a energia e os nutrientes obtidos no alimento superam a energia

despendida na sua busca (Levin 1978, Zimmerman 1988). Para tal, os forrageadores devem possuir habilidade sensorial e comportamental para detectar as fontes mais energéticas (Endress 1994, Kearns *et al.* 1998). Diante de uma grande variedade de fontes potenciais de recurso, os visitantes escolhem, então, sua fonte alimentar com base na sua atratividade. Dessa forma, as características florais, como arquitetura floral, emissão de odores ou estímulos visuais devem maximizar a sinalização de recursos para os visitantes, potenciais vetores de dispersão de seus grãos de pólen (Heithaus 1979, Zimmerman 1988, Proctor *et al.* 1996, Westerkamp 1996), favorecendo a realização da polinização cruzada.

Assim, em plantas polinizadas por animais, o comportamento do forrageador emerge como um determinante da estrutura reprodutiva da população (Levin 1978), afetando a capacidade reprodutiva e a diversidade genética de populações vegetais (Levin & Kerster 1974). Por outro lado, os polinizadores respondem à variabilidade do recurso

oferecido, às características das flores e aos padrões de distribuição da população vegetal (Zimmerman 1988).

Viana *et al.* (2006) realizaram levantamento sistemático da apifauna e flora associada, ao longo de um ano, nas dunas costeiras de Abaeté, encontrando que cerca de 80% das espécies vegetais apresentam características melitófilas. Destas, *Cuphea brachiata* Koehne (Lythraceae) foi a espécie mais visitada por abelhas, recebendo 16,2% do total de visitantes. Essa espécie floresce o ano inteiro, apresentando pico de floração de fevereiro a maio e de outubro a dezembro. As suas flores são amarelas, bissexuais, autocompatíveis e produzem néctar pouco concentrado (20% de açúcares) e em quantidades de 2 a 3 µl (Pigozzo *et al.* 2006).

Por atrair um grande número de indivíduos e espécies de abelhas visitantes, *C. brachiata* constitui relevante fonte de recurso para a manutenção da fauna apícola local que, provavelmente, atua na polinização de muitas outras espécies vegetais na área de estudos. Além disso, apresenta características de espécie fixadora de dunas, ocupando áreas abertas, modificando o ambiente, propiciando o estabelecimento de outras espécies. Esses aspectos caracterizam-na como uma espécie-chave para as dunas de Abaeté.

Dentre os visitantes florais de *C. brachiata*, a abelha solitária *Xylocopa cearensis* Ducke (Apidae: Xilocopini) destacou-se como o principal polinizador da espécie, devido à sua abundância nas flores, seu comportamento nas flores (contato com as estruturas sexuais da flor e coleta passiva dos grãos de pólen) (Pigozzo *et al.* 2006), sendo também a espécie mais abundante da fauna antófila das dunas de Abaeté (42,7%), com registros nas flores de 65% das espécies melitófilas estudadas (Viana & Kleinert 2006).

Assim, *C. brachiata* é a principal fonte de néctar para *X. cearensis*, enquanto esta abelha pode estar participando do processo de polinização de muitos componentes da comunidade vegetal das dunas. Dessa forma, o sistema *C. brachiata* – *X. cearensis* parece ser chave para a manutenção da flora e fauna associada das dunas.

Diante da potencial importância do sistema *C. brachiata* – *X. cearensis*, o presente estudo pretende elucidar o comportamento de forrageamento de *X. cearensis* em *C. brachiata* em três diferentes níveis de organização (flor, planta e população), para avaliar sua eficiência como polinizador, e possíveis influências das características da espécie vegetal neste comportamento.

## Material e Métodos

**Área de estudo.** Os estudos foram realizados em uma população de *C. brachiata* distribuída em uma área de aproximadamente 3 ha, localizada em baixada, distante cerca de 1000 m do mar, em área de dunas costeiras, com vegetação de restinga, na Área de Proteção Ambiental das Lagoas e Dunas de Abaeté (12° 56' S e 38° 21' W), Salvador, BA. O clima do local é tropical quente e úmido (AM segundo a classificação de Köppen), com temperatura média anual de 25,28°C e umidade relativa alta durante todo o ano, variando entre 80% e 82%.

**Procedimento metodológico.** Para avaliar o comportamento de forrageamento de *X. cearensis*, analisaram-se os estágios

seqüenciais de visita às flores com observações ao longo do dia no período de 1º a 15 de dezembro de 2001:

- (1) na flor (entrada e saída da unidade floral, tempo de visita, comportamento de coleta do recurso, contato com as estruturas sexuais);
- (2) na planta (número de flores visitadas/flores totais oferecidas) e
- (3) na população (rotas de forrageamento entre as plantas).

Além disso, verificou-se a fidelidade de *X. cearensis* a *C. brachiata* mediante a análise das cargas polínicas, quantificando o percentual de grãos de pólen de *C. brachiata* transportados pelos visitantes. As lâminas foram preparadas a partir dos grãos de pólen retirados da porção ventral da parte anterior da cabeça, que entra em contato com as estruturas sexuais da flor. O corpo das abelhas foi limpo com o auxílio de pincéis para a retirada dos grãos de pólen a serem analisados. Além disso, realizou-se a contagem do número médio de grãos de pólen por flor: a partir de anteras de 10 flores, confeccionaram-se lâminas semipermanentes.

A caracterização do comportamento de forrageamento na paisagem foi realizada mediante o acompanhamento de trajetórias de vôo dos indivíduos entre as plantas, em duas manchas cujos indivíduos apresentavam diferentes densidades (4 e 10 plantas/m<sup>2</sup>; n = 243). Acompanharam-se 10 indivíduos em uma mancha mais densa e 13 em uma mancha menos densa, em horários variados durante o dia. Os indivíduos foram acompanhados até um máximo de 17 plantas visitadas [Turchin (1998) recomenda que as trajetórias não sejam mais longas do que 20 a 30 movimentos, para evitar possíveis casos de trajetórias circulares]. Foram medidas as distâncias entre plantas visitadas consecutivamente (passos) com trena, o ângulo de desvio entre estes deslocamentos, com transferidor, e a distância Rn, entre cada planta e o ponto de origem da trajetória, segundo metodologia de Kareiva e Shigesada (1983).

## Resultados

Ao coletarem néctar nas flores de *C. brachiata*, as abelhas *X. cearensis* pousam nas quatro pétalas inferiores, fixando-as com as pernas e introduzindo a parte anterior da cabeça no tubo floral para alcançar o néctar, permanecendo na flor de dois a cinco segundos (n = 20). Enquanto as abelhas coletam o néctar, o pólen é aderido à porção ventral de suas cabeças, local que contata as estruturas sexuais da flor. A adesão de grãos de pólen foi confirmada pela presença destes em lâminas ao microscópio. No entanto, a quantidade de grãos é pequena (aprox. 100), em relação à quantidade total de grãos de pólen em uma flor (X = 14,9 ± 1,11 grãos/flor).

A análise dos grãos de pólen depositados na porção ventral da cabeça de *X. cearensis* (n = 10) revelou a presença de até cinco tipos polínicos, sendo que os grãos de pólen de *C. brachiata* perfizeram, em média, 25% dos grãos aderidos aos pêlos de um indivíduo de *X. cearensis*.

Quanto ao aproveitamento das flores disponíveis, *X. cearensis* visitou em média 3,0 ± 3,52 flores das 9,8 ± 7,13 flores disponíveis por planta na mancha densa (n = 157),

resultando no uso médio de 42,1% das flores disponíveis. Na mancha menos densa as abelhas visitaram em média  $1,4 \pm 0,71$  flores por planta, as quais tinham em média  $17,2 \pm 5,26$  flores ( $n=212$ ). Dessa forma, as abelhas utilizaram cerca de 7,1% das flores disponíveis. Cerca de 12% das abelhas visitaram todas as flores de uma planta, repetindo a visita a algumas das flores, o que leva a um total de utilização de recursos superior a 100% (Fig. 1).

O comportamento de forrageamento de *X. cearensis* diferiu bastante nas duas paisagens testadas. Na mancha menos densa as distâncias de voo predominantes entre uma planta e outra foram de até 1,0 m. Vôos longos, acima de 2,0 m, tiveram pouca representatividade. Houve uma tendência ao deslocamento frontal, com quase 80% dos ângulos de desvio entre duas plantas consecutivas entre 0° e 90°. Na mancha mais densa houve maior concentração de vôos a distâncias de até 0,5 m, e vôos além de 1,0 m foram incomuns. Além disso, na mancha mais densa, as abelhas apresentaram grande tendência a retornar às plantas anteriormente visitadas, como sugerido pelos desvios de 120° até 180° (Figs. 2 e 3). Como consequência do efeito combinado de trajetórias mais sinuosas e passos mais curtos, os últimos 10 deslocamentos (Rn) mostram distâncias entre 5,1 m e 6,5 m na mancha menos densa, e de 3,1 m a 4,0 m (com duas exceções) na mancha densa (Fig. 4).

Outra diferença observada foi a distância do deslocamento retilíneo (Rn) após n passos (número de plantas visitadas consecutivamente): o esperado é que o Rn aumente à medida que a abelha segue na sua rota de forrageamento, mas o que se observa é que o ponto máximo não coincide com a última planta visitada. E mais, que na mancha mais densa o deslocamento retilíneo médio após 17 passos é de 15,0 m, enquanto que na mancha menos densa é de 39,0 m (cerca de três vezes maior), ou seja, que em maiores densidades, as abelhas tendem a permanecer mais próximas à planta focal (Fig. 4).

### Discussão

*C. brachiata* apresenta flores tubulares com profundidade média de  $7,73 \pm 0,80$  mm ( $n = 15$ ) e diâmetro médio de  $4,07 \pm 0,59$  mm ( $n = 15$ ) (Pigozzo et al. 2006) com pétalas de coloração amarela. Tal morfologia prevê um comportamento dos visitantes na coleta do recurso, néctar, que se localiza no fundo do tubo floral, inclusive das abelhas *X. cearensis*: pouso nas quatro pétalas inferiores, fixação e introdução da porção anterior da cabeça no tubo floral, contatando as estruturas sexuais na parte inferior da porção anterior da cabeça. Esse contato resulta na adesão de grãos de pólen de *C. brachiata* nessa região corpórea; os grãos são coletados de forma completamente passiva, assegurando que não têm função alimentar.

As visitas de *X. cearensis* a cada flor tiveram duração de poucos segundos. A rapidez da visita deve-se, provavelmente, ao fácil manuseio das flores para acesso ao néctar, em virtude da morfologia simplificada de *C. brachiata*. Isso pode prejudicar o processo da transferência dos grãos de pólen, impedindo que o pólen aderido seja depositado e que novos grãos sejam removidos (Spears 1983, Totland & Matthews 1998), e poderia explicar a pequena quantidade de

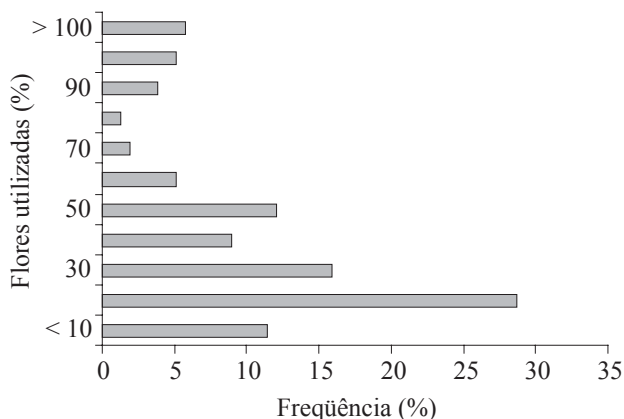


Fig. 1. Frequência (%) da proporção de flores de *C. brachiata* utilizadas pela abelha *X. cearensis*, do total de flores disponíveis por planta, na Área de Proteção Ambiental (APA) de Abaeté, Salvador, BA.

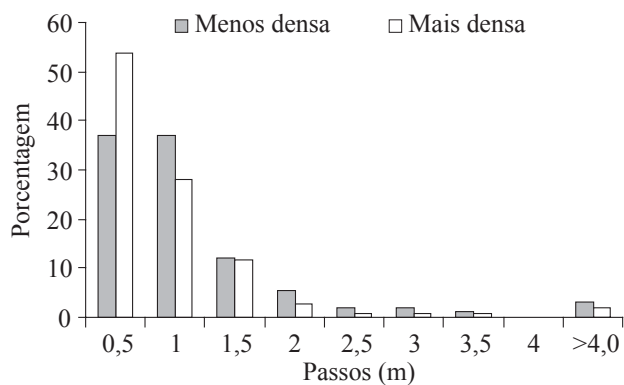


Fig. 2. Distribuição (%) do comprimento dos passos de trajetórias de *X. cearensis* na população de *C. brachiata*, em áreas de maior e menor densidade de flores, na Área de Proteção Ambiental (APA) de Abaeté, Salvador, BA.

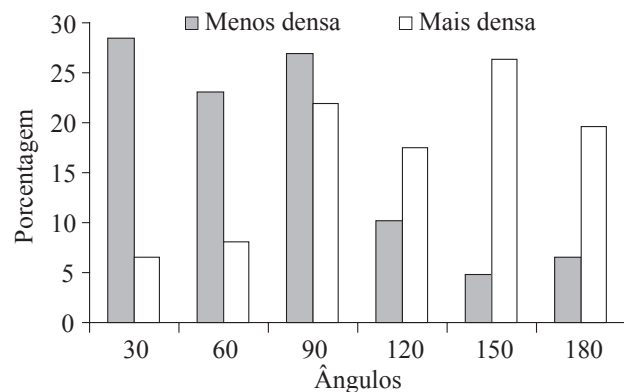


Fig. 3. Distribuição (%) dos ângulos formados entre passos consecutivos nas trajetórias de *X. cearensis* na população de *C. brachiata*, em áreas de maior e menor densidade de flores, na Área de Proteção Ambiental (APA) de Abaeté, Salvador, BA.

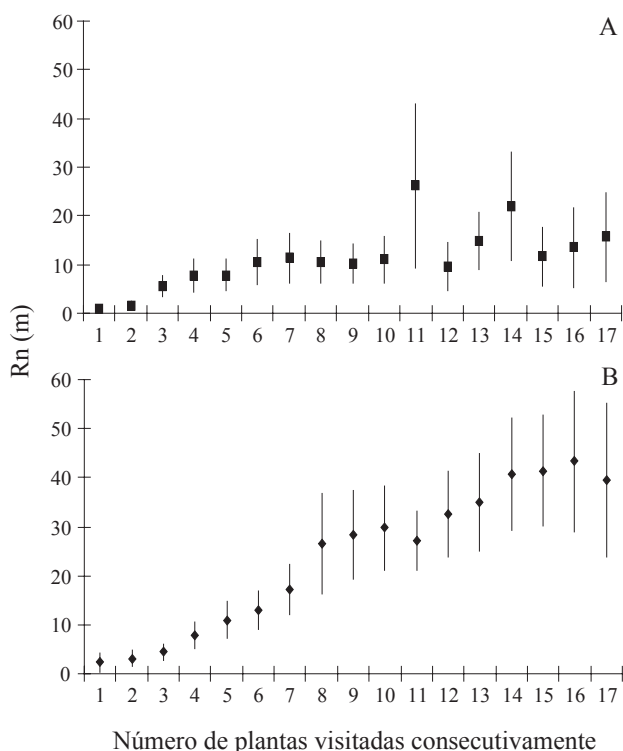


Fig. 4. Deslocamento absoluto (retilíneo) (média  $\pm$  DP), após  $n$  passos (número de plantas visitadas consecutivamente), a partir do ponto de origem da trajetória de *X. cearensis* em uma mancha mais densa (A) e menos densa (B) de flores na população de *C. brachiata*, na Área de Proteção Ambiental (APA) de Abaeté, Salvador, BA.

pólen encontrada nas abelhas. Por outro lado, a remoção de pequena quantidade de pólen a cada visita eleva o potencial doador das flores (Di Pasquale & Jacobi 1998), aumentando as chances da polinização cruzada.

Aliado a isso, o pequeno número de tipos polínicos também eleva a eficiência dos visitantes como polinizadores, reduzindo a probabilidade de grãos heteroespecíficos serem depositados nos estigmas de *C. brachiata*, provocando obstrução dos mesmos.

Apesar do pequeno número de tipos polínicos encontrados aderidos, considera-se que *X. cearensis* apresenta baixa fidelidade a *C. brachiata*. No entanto, sua importância relativa como vetor de pólen de *C. brachiata* deve-se ao fato de contatar as estruturas reprodutivas da flor e de possuir pêlos que permitam a coleta passiva de pólen, além de ser muito abundante na área e nas flores, e ter atividade durante todo o dia e ano (Viana & Kleinert 2005, Pigozzo *et al.* 2006), coincidindo com a disponibilidade de flores na planta.

O fato de as flores de *C. brachiata* produzirem néctar pouco concentrado e em quantidades pequenas contribui para aumentar as chances de polinização cruzada, ao forçar os visitantes florais a coletar os recursos necessários em um número maior de flores (Waddington 1983). Em Abaeté, os indivíduos de *X. cearensis* tenderam a visitar um número grande de flores por indivíduo. Uma consequência negativa desse comportamento é a intensificação das taxas de

geitonogamia, ou seja, a troca de grãos de pólen entre flores do mesmo indivíduo. *C. brachiata*, entretanto, apresenta autocompatibilidade (Pigozzo *et al.* 2006), através da qual a geitonogamia elevada reduziria a chance de polinização cruzada, mas não necessariamente de produção de sementes.

Além da geitonogamia, outros fatores contribuem para que o fluxo gênico de *C. brachiata* em Abaeté seja reduzido. Os indivíduos de *C. brachiata* apresentam tendência à distribuição agregada em consequência da reduzida dispersão de suas sementes (E. L. das Neves, comunicação pessoal), o que evidencia a importância dos seus vetores de polinização para manter o fluxo gênico da população. Entretanto, o comportamento de forrageamento das abelhas *X. cearensis* caracterizou-se por alta frequência de passos curtos e por áreas de forrageamento relativamente reduzidas, tanto na área de baixa quanto na de alta densidade de plantas. Isso sugere que grande parte do pólen retirado pela abelha é depositada dentro de uma área de poucos metros quadrados. A distribuição de recursos florais em manchas pode afetar o comportamento de seus visitantes, como apontado por Totland & Matthews (1998). Na população estudada, as distâncias de vôo de *X. cearensis* foram menores e a sinuosidade foi maior na mancha de maior densidade, e observou-se tendência das abelhas a voltarem às plantas anteriormente visitadas, maximizando a utilização das plantas mais próximas. Essa situação tende a reduzir ainda mais a área de espalhamento de pólen nas áreas densas.

No contexto geral, as rotas de forrageio de *X. cearensis* apresentam passos curtos, o que pode, no decorrer das gerações, levar ao aumento na taxa de endocruzamento. No entanto, mesmo o pequeno percentual de vôos longos, provavelmente, contribui na ampliação da área de dispersão dos grãos de pólen. Além disso, as flores de *C. brachiata* recebem a visita de outras 21 espécies de abelhas, dentre as quais se destaca também *Centris leprieuri* Spinola, potencial polinizador, o que também deve ampliar a área de alcance dos grãos de pólen. Outro fator que deve amenizar a endogamia é a viscosidade das sementes, característica associada à epizooecia, pequenos mamíferos ou aves que podem ser dispersores das sementes pelo transporte das mesmas aderidas nos pêlos ou penas.

## Agradecimentos

Aos colegas do Laboratório de Biologia e Ecologia de Abelhas (LABEA) – UFBA e do Laboratório de Abelhas (LABE) – EBDA pela ajuda nos trabalhos de campo; à pesquisadora Marina Siqueira de Castro (EBDA - UEFS) pelos equipamentos cedidos; aos revisores anônimos, pelas críticas e ricas contribuições ao trabalho; ao PIBIC/CNPq, pela concessão da bolsa de iniciação científica a CMP e ao CNPq pela concessão da bolsa de Produtividade em Pesquisa a BFV.

## Referências

- Buchmann, D.C. & G.P. Nabhan. 1996. The forgotten pollinators. Washington, Island Press, 292p.
- Di Pasquale, C. & C.M. Jacobi. 1998. Dynamics of pollination: A

- model of insect-mediated pollen transfer in self-incompatible plants. *Ecol. Model.* 109: 25-34.
- Endress, P.K. 1994. Diversity and evolutionary biology of tropical flowers. Cambridge, Cambridge University Press, 511p.
- Faegri, K. & L. van der Pijl. 1979. The principles of pollination ecology. Oxford, Pergamon Press, 244p.
- Heithaus, E.R. 1979. Flower-feeding specialization in wild bee and wasp communities in seasonal Neotropical habitats. *Oecologia* 42: 179-194.
- Kareiva, P.M. & N. Shigesada. 1983. Analyzing insect movement as a correlated random walk. *Oecologia* 56: 234-238.
- Kearns, C.A., D.W. Inouye & N.M. Waser. 1998. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator interactions. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29: 83-112.
- Levin, D.A. 1978. Pollination behavior and the breeding structure of plant populations, p.133-150. In A.J. Richards (ed.), *The pollination of flowers by insects*. London, Linnean Society of London by Academic Press, 213p.
- Levin, D.A. & H.W. Kerster. 1974. Gene flow in seed plants. *Evolutionary Biol.* 7:139-220.
- Pigozzo, C.M., B.F. Viana & F.O. Silva. 2006. A interação entre *Cuphea brachiata* Koehne (Lythraceae) e seus visitantes florais nas dunas litorâneas de Abaeté, Salvador, Bahia. *Lundiana*. 7:47-53.
- Proctor, M., P. Yeo & A. Lack. 1996. The natural history of pollination. London, Collins, 479p.
- Simpson, B.B. & J.L. Neff. 1983. Evolution of diversity of rewards, p.142-159. In C.E. Jones & R.J. Little (eds.), *Handbook of experimental pollination biology*. New York, Van Nostrand Reinhold, 558p.
- Spears, E.E. Jr. 1983. A direct measure of pollinator effectiveness. *Oecologia* 57: 196-199.
- Totland, Ø. & I. Matthews. 1998. Determinants of pollinators activity and flower preference in the early spring blooming *Crocus vernus*. *Acta Oecol.* 19: 155-165.
- Turchin, P. 1998. Quantitative analysis of movement. Sunderland, Sinauer, 396p.
- Viana, B. F. & A.M.P. Kleinert. 2005. A community of flower-visiting bees (Hymenoptera: Apoidea) in the Coastal Sand Dunes of Northeastern Brazil. *Biota neotropica*, São Paulo, 5:5-12.
- Viana, B.F. & A.M.P. Kleinert. 2006. Structure of bee-flower system in the coastal sand dune of Abaeté, northeastern Brazil. *Rev. Bras. Entomol.* 50: 53-63.
- Viana, B.F., F.O. Silva & A.M.P. Kleinert. 2006. A flora apícola de uma área restrita de dunas litorâneas, Abaeté, Salvador, Bahia. *Rev. Bras. Bot.* 29: 13-25.
- Waddington, K.D. 1983. Pollen flow and optimal outcrossing distance. *Am. Nat.* 122: 147-151.
- Waser, N.M., L. Chittka, M.V. Price, N.M. Wiliams & J. Ollerton. 1996. Generalization in pollination systems and why it matters. *Ecology* 77: 1043-1060.
- Westerkamp, C.H. 1996. Pollen in bee-flower relations: Some considerations on melittophily. *Bot. Acta* 109: 325-332.
- Zimmerman, M. 1988. Nectar production, flowering phenology and strategies for pollination, p. 157-178. In J.L. Doust & L.L. Doust (eds.), *Plant reproductive ecology: Patterns and strategies*. Oxford, Oxford Univ. Press, 360p.

Received 21/XII/05. Accepted 14/IV/07.

---