

Foto: Laura

O EFEITO DA QUANTIDADE DE FLORESTA E HETEROGENEIDADE DA PAISAGEM NA POLINIZAÇÃO DE ESPÉCIES DE SUB-BOSQUE DE MATA ATLÂNTICA

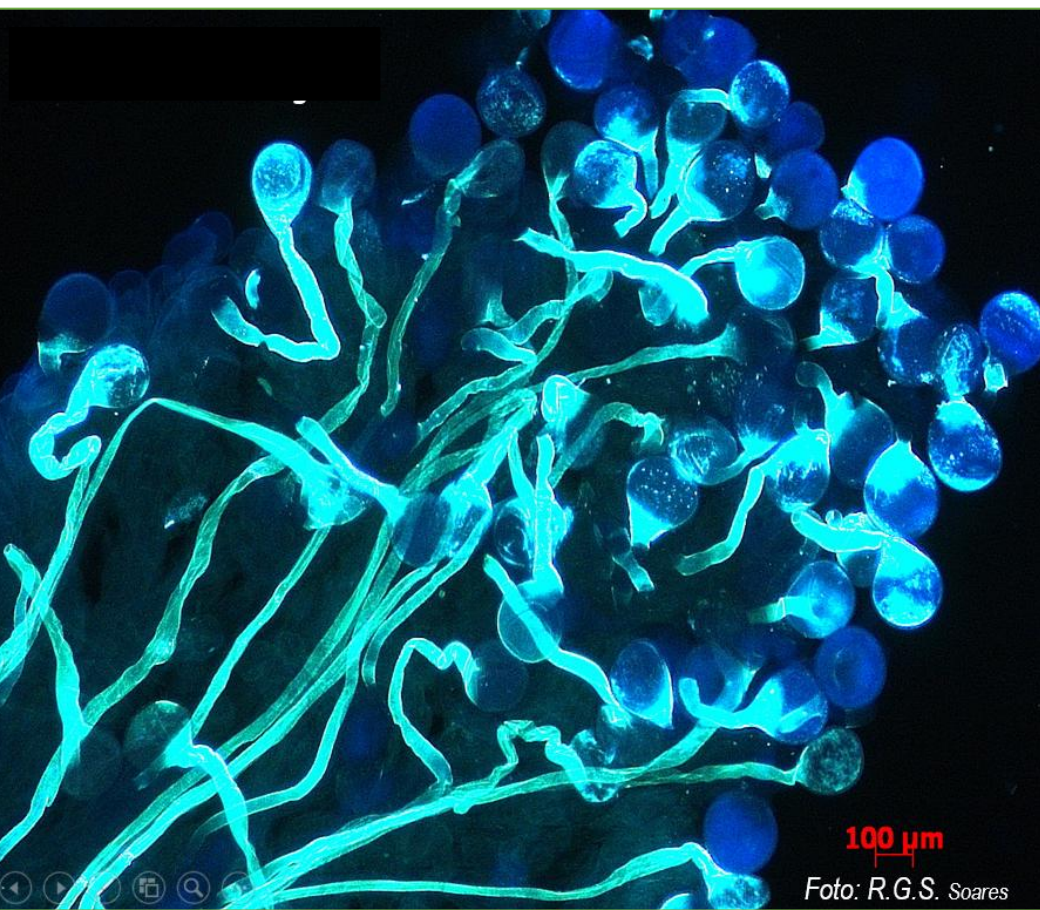


Foto: R.G.S. Soares



Heliconius eratophyllis



Palicourea marcaravii



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS -DCAm
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS



Raimunda Gomes Silva Soares

**O EFEITO DA QUANTIDADE DE FLORESTA E HETEROGENEIDADE DA
PAISAGEM NA POLINIZAÇÃO DE ESPÉCIES DE SUB-BOSQUE DE MATA
ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientação: Prof.^o Dr.^o: Luciano Elsinor Lopes
Coorientação: Prof.^a Dr.^a: Patrícia A. Ferreira

**São Carlos
Agosto/2017**

Gomes Silva Soares, Raimunda

O EFEITO DA QUANTIDADE DE FLORESTA E
HETEROGENEIDADE DA PAISAGEM NA POLINIZAÇÃO DE
ESPÉCIES DE SUB-BOSQUE DE MATA ATLÂNTICA / Raimunda
Gomes Silva Soares. -- 2017.

66 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus São
Carlos, São Carlos

Orientador: Luciano Elsinor Lopes

Banca examinadora: Luciano Elsinor Lopes, Marcel Okamoto Tanaka,
Silvana Buzato, Patrícia Alves Ferreira

Bibliografia

1. Polinização em espécies de sub-bosque. 2. Conservação da Mata
Atlântica. 3. Ecologia da paisagem. I. Orientador. II. Universidade Federal de
São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Raimunda Gomes Silva Soares, realizada em 21/08/2017:

A handwritten signature in blue ink that reads 'Luciano E. Lopes'.

Prof. Dr. Luciano Elsinor Lopes
UFSCar

A handwritten signature in blue ink that reads 'Marcel Okamoto Tanaka'.

Prof. Dr. Marcel Okamoto Tanaka
UFSCar

A handwritten signature in blue ink that reads 'Patricia Alves Ferreira'.

Profa. Dra. Patricia Alves Ferreira
UFSCar

A handwritten signature in blue ink that reads 'Silvana Buzato'.

Profa. Dra. Silvana Buzato
USP

Agradecimentos!

Esclareço que o conhecimento em ecologia aqui discutido é uma pequena parte das contribuições desse trabalho para o meu crescimento. Portanto essa página de agradecimentos é apenas um pequeno registro da riqueza de contribuições e da minha gratidão.

“Diga Rai, em que posso te ajudar! ”. Obrigada Luciano, foi essa certeza de que esse trabalho gigante não foi só meu e sim nosso, por colocar minha formação como objetivo principal esse tempo todo, e acreditar mais em mim que eu mesma. O que agradecer a você vai além dos limites dessas páginas.

Obrigada Paty por juntar todo mundo, organizar as coisas, pela imensa responsabilidade de contribuir e intermediar tudo e conseguir que todos façam o seu melhor. O LEAP tem a tua cara e o LEAP é lindo!

Ainda sobre os professores, Obrigada Danilo, Marina, Axel e Lili, me sentir acolhida, vocês são maravilhosos e o agradecimento a vocês não é só meu, é da Juca também.

Falando em LEAP, obrigada gente, todos vocês que subiram morros, pegaram ferroadas e trouxeram flores para mim, por me aceitar na equipe, vocês são grandes exemplos de competência e companheirismo. Não é justo destacar alguém, mas com o Mau eu falei mais, e com a Ju eu pude abraçar árvores e ficar feliz! Foi minha parceira mais frequente, e segundo a Paty era estratégico. Com o Gabriel a parceria é mais antiga, e ele teve coragem de andar sozinho comigo por essas estradas de terra pela primeira vez!

A Kero pela competência e disponibilidade em me ajudar com as plantas!

Ainda sobre o campo, se ele tivesse um símbolo apostaria no GUI, correndo atrás das fadas (borboletas azuis), com as palavras “hoje a previsão é de sucesso” descritas embaixo. Muito obrigada GUI, aprendi muito contigo.

Ao laboratório de Ecologia Espacial e Conservação – (LEEC-UNESP) pelo apoio técnico e contribuições valiosas em campo, em especial para Paola e Rafael (Uruncum).

Aos órgãos financiadores: Projeto “Redes de Interação Planta-Polinizador em Paisagens Heterogêneas de Mata Atlântica” (Edital universal MCTI/CNPq 449740/2014-5).

Ao CNPq e CAPES pela concessão da bolsa de estudos e financiamento do campo.

Ao Laboratório de Bioquímica e Biologia Molecular representado pela Prof^ª: Heloisa Sobreiro Selistre de Araujo e sua equipe, de onde recebi a estrutura e apoio para a análise dos tubos. Muito Obrigada!

Aqui no DCAM as contribuições foram diferentes mais igualmente importantes, todos os meus professores, em especial os das disciplinas mais diferentes de Ecologia (Vandoir, Érica, Juliano, Fred, Luís) que me aguentaram reclamar de fazer os trabalhos, e mesmo assim me ajudaram muito. Graças a vocês entendi a beleza e importância dessas visões.

Ao Marcel pela confiança, contribuições importantes e disponibilidade em ajudar, é sempre a primeira pessoa que pensamos em recorrer para discussões em Ecologia por aqui.

Além dos revisores já mencionados, obrigada professora Silvana pela visão além do texto, competência e generosidade em contribuir.

Obrigada a todos vocês aqui do Laboratório, dividimos muito tempo juntos, incluindo finais de semanas e feriados, dividimos também conhecimento e experiência, vocês sempre foram uma companhia agradável e enriquecedora. Preciso destacar o Raul, por que é desde a graduação que me “atormenta” e me ajuda.

Às pessoas de fora do Lab, meus amigos/família Nic e Alê mesmo tendo escolhido áreas tão diferentes na pós, a gente continua estudando junto, talvez por que a gente faça grande parte do que gosta junto, mas não é só isso. Muito obrigada pelo café nas horas de crise, e muito obrigada pelo café nas horas alegres!

Minha família! É uma formalidade citá-los aqui. Deve ficar claro que tudo isso é nosso, não faria sem vocês. Também não cabe aqui, tudo o que o apoio e carinho de vocês com esse trabalho, significa para mim. Eu amo vocês!

Dedico a minha mãezinha (D. Rufina),
Juca e Waldemir, por tudo que significam para mim!

RESUMO

A manutenção de áreas de floresta é uma das recomendações mais estabelecidas para a conservação da biodiversidade e de processos-chave nos ecossistemas, como a polinização. No entanto, esse é um desafio que contrasta com a necessidade de uso antrópico das áreas naturais. Dentre esses usos, o crescimento da atividade agrícola sobre as áreas de floresta gera um paradoxo para a conservação. Enquanto grande parte dos cultivos depende da polinização, a manutenção da polinização precisa da conservação das áreas de floresta. Uma das formas de lidar com essa questão é analisar as características da paisagem considerando a interação entre a quantidade de floresta e demais usos da terra em uma visão mais realista, que inclua a função de cada uso na manutenção do processo ecológico. Este estudo avaliou os efeitos da quantidade de floresta e heterogeneidade da paisagem na polinização de espécies vegetais de sub-bosque em áreas de Mata Atlântica, Estado de São Paulo, Brasil. Foram selecionadas 15 paisagens de 1km de raio em um gradiente de cobertura florestal entre 21 a 96% e de heterogeneidade de uso e ocupação da terra de 0,18 a 1,67 (Shannon Wiener). Com base na literatura inferimos a possível contribuição de cada uso da terra na conservação de polinizadores que forrageiam fora do ambiente de floresta. Em parcelas hexagonais de 30m de lado coletamos flores abertas e registramos o número de flores na planta amostrada. Contamos, em microscópio de fluorescência, o número de grãos de pólen no estigma, o número de tubos germinados até o terço superior e até a base do estilete de cada flor. Analisamos 1048 flores de 189 indivíduos e 46 espécies. A polinização apresentou grande variação em todos os níveis do sistema. Nas paisagens analisadas a proporção de floresta e heterogeneidade de usos da terra foram inversamente correlacionadas, demandando uma análise conjunta de ambos fatores. A maior proporção de floresta e menor heterogeneidade resultaram em aumento da carga de pólen, e nas flores nas quais se formou pelo menos um tubo polínico, no maior número de tubos germinados para cada óvulo (sucesso de polinização). As características da paisagem não influenciaram a germinação do pólen, a proporção de flores polinizadas em cada planta, nem o sucesso de polinização quando consideradas também as flores sem tubos polínicos. O resultado de aumento na deposição de grãos de pólen e do sucesso de polinização com possíveis consequências no sucesso reprodutivo, indica que a proporção de floresta na paisagem é uma característica importante na conservação do processo de polinização das espécies estudadas. Avaliamos como moderada a qualidade da polinização nas paisagens pois que todas as variáveis apresentaram valores entre 41% a 56% de êxito. Esse bom resultado parece estar associado aos níveis entre intermediários a altos de cobertura florestal e sua interação com alta proporção de usos que fornecem algum tipo de recurso e/ou condição para polinizadores em todas as paisagens. Essa característica as torna funcionalmente semelhantes quanto à capacidade de sustentação da função de polinização, sendo também uma possível explicação para a ausência de efeito encontrado nas demais variáveis analisadas. Nosso estudo indica a importância do aumento da cobertura florestal associadas a boa qualidade de usos da terra no favorecimento de etapas da polinização.

Palavras chaves: polinização, quantidade de floresta, heterogeneidade, Mata Atlântica, conservação

ABSTRACT

The maintenance of forest areas is one of the most established recommendations for the conservation of biodiversity and key ecosystem processes, such as pollination. However, this is a challenge that contrasts with the need for anthropic use of natural areas. Among these uses, the growth of agricultural activity on forest areas generates a paradox for conservation. While most crops depend on pollination, maintaining pollination requires the conservation of forest areas. One of the ways to deal with this issue is to analyze the characteristics of the landscape considering the interaction between the amount of forest and other land uses in a more realistic view, which includes the function of each use in the maintenance of the ecological process. This study evaluated the effects of forest quantity and landscape heterogeneity on the pollination of understory plant species in areas of Atlantic Forest, State of São Paulo, Brazil. Fifteen landscapes of 1 km radius were selected in a forest cover gradient between 21 and 96% and of land use and occupation heterogeneity from 0.18 to 1.67. Based on the literature we inferred the possible contribution of each land use to the conservation of pollinators that forage outside the forest environment. In hexagonal plots of 30m in side, we collected open flowers and registered the number of flowers in the sampled plant. We counted on fluorescence microscopy, the number of pollen grains on the stigma, the number of pollen tubes germinated up to the upper third and to the base of the style of each flower. We analyzed 1048 flowers from 189 individuals and 46 species. Pollination varied widely at all levels of the system. In the analyzed landscapes the proportion of forest and heterogeneity of land uses were inversely correlated, demanding a combined analysis of both factors. The higher proportion of forest and lower heterogeneity resulted in an increase in pollen load, and a higher number of germinated tubes for each ovule (pollination success) in the flowers in which at least one pollen tube was formed. The characteristics of the landscape did not influence the germination of pollen, the proportion of pollinated flowers in each plant, nor the pollination success when considering flowers without pollen tubes. The result of increased pollen grains deposition and pollination success with possible consequences on reproductive success indicates that the proportion of forest in the landscape is an important feature in the conservation of the pollination process of the species studied. We evaluated the pollination quality in the landscapes as moderate, because all the variables presented values between 41% and 56% of success. This good result seems to be associated with intermediary to high levels of forest cover and their interaction with a high proportion of friendly uses in all landscapes, which makes them functionally similar to their ability to sustain pollination function. This similarity is also a possible explanation for the absence of effect found in the other analyzed variables. Our study indicates the importance of increasing forest cover associated with good quality of land uses in favor of pollination.

Keywords: pollination, amount of forest, heterogeneity, Atlantic Forest, conservation

Sumário

1 – INTRODUÇÃO	11
2. MÉTODOS.....	15
2.1 Área de Estudo	15
2.2. Escolha e padronização das paisagens	16
<i>a) Métricas de paisagem</i>	17
2.3 Análise qualitativa da paisagem	18
2.4 A Coleta de Flores	20
2.5. A Polinização	20
2.6. Análise dos dados	23
3. RESULTADOS	24
3.2 Variação intrínseca no sistema polinização	25
3.3 O estado atual da polinização nas paisagens	25
<i>a) Carga polínica e germinação dos grãos de pólen</i>	26
<i>b) Sucesso na polinização e proporção de flores polinizadas</i>	26
3. 4. Análise qualitativa da paisagem	28
4. DISCUSSÃO	31
4.1 Variação intrínseca no sistema	31
4.2 O estado atual da polinização nas paisagens	32
4.3 Efeito da paisagem na polinização	34
<i>a) carga de pólen</i>	34
<i>b) A germinação do pólen (in vivo)</i>	36
<i>c) Proporção de flores polinizadas e Sucesso na polinização</i>	37
4.4. Considerações sobre a gestão da paisagem	40
4.5 Perspectivas	41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
8. APÊNDICES	52

LISTA DE FIGURAS

Figura	Legenda	
Figura 1	Localização das paisagens com 1 quilômetros de raio. A) América de sul; B) Paisagens dispostas na área de estudo no Estado de São Paulo; C) Detalhe de uma paisagem mostrando o raio de estudo; e D) detalhe da área da parcela hexagonal com 25m de lado	17
Figura 2	Desenho amostral indicando a sequência de passos da metodologia da coleta e análise das flores	21
Figura 3	Exemplo de grãos de pólen e tubos polínicos vistos em microscópio de epifluorescência da espécie <i>Palicourea marcgravii</i> e processo de polinização observado. Fotos: R. G. S. Soares (2015).	21
Figura 4	Resultados da polinização nas 15 paisagens. As paisagens estão ordenadas do menor para o maior percentual de floresta	26
Figura 5	Relação entre o gradiente da paisagem nas variáveis: A: carga de pólen. Cada ponto representa a quantidade de pólen no estigma de uma flor, observa aumento nas áreas com mais floresta e menos heterogeneidade (cinza escuro). B: Germinação do pólen. Cada ponto representa a taxa de germinação do pólen em uma flor. Observa-se não relação com o gradiente da paisagem.	27
Figura 6	Relação entre o gradiente da paisagem nas variáveis: A: proporção de flores totalmente polinizadas. Cada ponto representa o percentual de flores com sucesso de polinização em uma planta, observa não efeito da paisagem. B: sucesso de polinização nas flores nas flores em que germinaram ao menos 1 tubo até a base do estilete. Cada ponto representa os valores em cada flor. Observa-se maior percentual de tubos germinados para cada óvulo na flor, nas áreas de maior cobertura floresta em menor heterogeneidade (cinza escuro).	27
Figura 7	A) Distribuição das classes de uso e ocupação em cada paisagem; B) Percentual de cada uso e ocupação nas paisagens, organizadas em ordem crescente de proporção de usos que podem apresentar algum tipo de recurso ou condição favorável a polinizadores (ilustrados em tons de verde). Observa-se que, com exceção de uma paisagem, os valores somados de cobertura de áreas com potencial de uso por polinizadores ficam acima de 58% chegando a 90% em 3 paisagens	

LISTA DE TABELAS

Tabelas	Legenda
Tabela 1	Avaliação das classes de uso e ocupação da terra em mais ou menos amigáveis para polinizadores, conforme análise comparativa entre as mesmas. Foram comparadas quanto a funcionalidade e potencial como área complementar de fornecimento de recurso e aumento da permeabilidade para polinizadores com base em informações da literatura.
Tabela2	Análise dos componentes da variação feitas a partir dos modelos, para as variáveis: Carga de pólen, Germinação do pólen, sucesso na polinização e proporção de flores totalmente polinizadas.
Tabela 3	Comparação entre os principais modelos testados para o efeito da paisagem representado pela variável eixo1 (quantidade de floresta e heterogeneidade da paisagem) e as variáveis respostas: carga de pólen (quantidade de pólen depositado); germinação do pólen (razão entre tubos germinados no terço superior do estilete e o número de grãos de pólen), sucesso na polinização (razão entre os tubos germinados até a base do estilete e o número de óvulo) e proporção de flores polinizadas (percentual de flores com razão tubo/óvulo > 0,5 em cada planta. Os modelos com menores valores de AIC ($\Delta AIC \leq 2$) e maior peso de evidência (w_i) referentes as variáveis testadas estão destacados em cinza.

LISTA DE FIGURAS –APÊNDICE

Tabela	Legenda
Figura 2	Correlação entre as variáveis explicativas, indicando correlação negativa entre a heterogeneidade e proporção de floresta
Figura 3	Análise da correlação entre o eixo e as variáveis da paisagem: Heterogeneidade a esquerda e proporção de floresta a direita.
Figura 4	Gradientes de valores da diversidade <i>Shannon</i> da paisagem e (b) proporção de floresta em cada uma das 15 paisagens amostradas.
Figura 5	Quantidade de área ocupada com usos que proporcionam algum tipo de recurso ou condições para polinizadores (área verde). As paisagens estão ordenadas conforme o gradiente de proporção de cobertura vegetal. A menor área na paisagem 1P7 corresponde a região coberta por nuvem.

LISTA DE TABELAS –APÊNDICE

Tabela	Legenda
Tabela 1	Propriedades das imagens utilizadas na digitalização dos usos e ocupações da terra
Tabela 2	Agrupamento e descrição das classes de paisagem de acordo com suas semelhanças funcionais para polinizadores
Tabela 3	Descrição geral dos resultados em cada paisagem
Tabela 4	Resultado da comparação entre todos os modelos testados para o efeito da paisagem representado pela variável eixo1 (quantidade de floresta e heterogeneidade da paisagem) e as variáveis respostas: carga de pólen (quantidade de pólen depositado); germinação do pólen (razão entre tubos germinados no terço superior do estilete e o número de grãos de pólen), sucesso na polinização (razão entre os tubos germinados até a base e o número de óvulo) e proporção de flores totalmente polinizadas (percentual de flores com razão tubo/óvulo >0,99 em cada planta, Os modelos com menores valores de AIC ($\Delta AIC \leq 2$) e maior peso de evidência (w_i) referentes as variáveis estudadas estão destacados em cinza
Tabela 5	Espécies analisadas, número de flores e indivíduos e valores de polinização. NI (não identificado)

1 – INTRODUÇÃO

Diante da necessidade de utilização de recursos naturais, a gestão do ambiente no sentido da conservação da biodiversidade, depende do nosso entendimento de como as interferências antrópicas afetam processos essenciais no ecossistema, como a polinização. O estudo da paisagem a partir da influência das interações entre áreas de floresta e demais usos da terra é uma forma de considerar parte da complexidade de ambientes, e seu papel funcional nas interações entre espécies e processos ecológicos, que mantêm essas funções ecossistêmicas.

A quantidade de áreas naturais, como as florestas em biomas florestais, é uma das características da paisagem assumida como mais importante para a manutenção das funções ecossistêmicas e conservação da biodiversidade (PREVEDELLO, VIERA, 2010; FAHRIG, 2013; KENNEDY, et al., 2013; BANKS-LEITE, et al., 2014). Estudos têm demonstrado efeito positivo da relação entre o aumento da disponibilidade de áreas de floresta na paisagem e a riqueza e diversidade de espécies, associadas a estas áreas, em grupos como pássaros, mamíferos, abelhas, anfíbios, e árvores entre outros (BANKS-LEITE, et al., 2014; PARDINI, et al., 2010; FERREIRA, et al., 2015; ROCHA-SANTOS, et al., 2017). A manutenção de áreas de floresta é, portanto, uma das formas mais estabelecidas de conservação da biodiversidade. No entanto esse é um desafio que contrasta com a necessidade de uso antrópico das áreas naturais.

Uma das formas de lidar com essa questão é considerar o papel funcional da heterogeneidade de usos da terra na paisagem, visão que vem crescendo dentro da pesquisa em ecologia de paisagens, superando a visão mais simples de ilhas de habitats em meio a uma matriz inóspita (PREVEDELLO, VIEIRA, 2010; FAHRIG, et al., 2011; BOSCOLO, et al., 2017a). A ideia de heterogeneidade funcional propõe uma análise do ponto de vista das espécies. Dessa forma cada uso da terra é avaliado conforme seu papel funcional na conservação dos diferentes grupos, podendo ser considerado para algumas espécies como habitat, ainda que de menor qualidade, recurso complementar, ou ainda como corredor, permitindo a conexão entre habitats de melhor qualidade na paisagem. Neste ponto de vista, usos diferentes podem ser considerados igualmente favoráveis se contribuem com a conservação, ou igualmente inóspitos, se caracterizarem barreiras para espécies que utilizam áreas de não floresta (FAHRIG, et al., 2011; BOSCOLO, et al., 2017a, 2017b; WILLIAN, WINFREE, 2013). A importância da qualidade dos usos adjacentes é corroborada por vários

estudos que demonstram o efeito dos diferentes tipos de usos da terra associados a áreas naturais na conservação de diversas espécies e processos ecológicos (MOREIRA, et al., 2015; WILLIAN, WINFREE, 2013; BOSCOLO, et al., 2017a).

Entendida como um processo ecológico, a polinização é o transporte e deposição de pólen da parte masculina a um estigma de uma flor (WILCOCK, NEILAND, 2002; KEVAN, VIANA, 2003). Além de ser uma função central na manutenção dos ecossistemas (CONSTANZA, et al., 1997; KEVAN, VIANA, 2003) está diretamente relacionada ao fornecimento de recursos vegetais, sobre os quais se estrutura a base alimentar da humanidade (KLEIN, et al., 2007). Esse fato se reflete na produção de alimentos e relações econômicas decorrentes. Em geral, o valor dos serviços de polinização é avaliado conforme o valor econômico das culturas dependentes desse processo (HANLEY, et al., 2014). Outro ponto importante é o fornecimento de nutrientes fundamentais para uma dieta humana adequada. As culturas que se beneficiam total ou parcialmente de polinizadores são responsáveis por mais de 90% da vitamina C consumida, pela quase totalidade de licopeno e alguns antioxidantes, por cerca de 50% da vitamina A e carotenoides relacionados, e ainda alguns minerais (EILERS, et al., 2011; CHAPLIN-KRAMER, et al., 2013;). A conservação da polinização inclui, portanto, os principais pilares da sustentabilidade, uma vez que é igualmente relevante do ponto de vista social, econômico e ecológico.

O crescimento da atividade agrícola sobre as áreas de floresta gera um paradoxo para a conservação. Ao mesmo tempo que o sucesso de grande parte dos cultivos depende da função ecossistêmica da polinização (KLEIN, et al., 2007), a manutenção da polinização precisa da conservação das áreas de floresta (WINFREE, et al., 2007). Temos, portanto, o setor econômico mais relacionado à polinização, representando uma das principais ameaças à sua conservação (MATSON, et al., 1997; KENNEDY, et al., 2013; POTTS, et al., 2016).

A segurança alimentar, por exemplo, depende da conciliação entre as áreas de produção de alimentos e a conservação da polinização a partir da manutenção das áreas de floresta (WINFREE et al., 2007; POTTS et al., 2016). Daí a importância de estudos que analisem o efeito conjunto da associação entre a quantidade de floresta e heterogeneidade de usos nas paisagens na polinização, especialmente em paisagens agrícolas que ainda mantém áreas de floresta associadas.

As florestas fornecem a base energética e estrutural de sustentabilidade de toda a comunidade biótica, influenciando na disponibilidade de recursos alimentares e as condições abióticas de clima, umidade e matéria orgânica que compõem o habitat das demais espécies

florestais. Dessa forma, o sucesso reprodutivo das plantas nativas é condição básica de sustentabilidade das demais redes de interações que proporcionam funções ecossistêmicas, mantenedoras da segurança alimentar. De fato, a redução no processo de polinização e a consequente diminuição da fecundidade tem sido indicada como etapa inicial no colapso demográfico das populações de plantas (NASON, HAMRICK, 1997; AIZEN, et al., 2002; WILCOCK, NEILAND, 2002; AGUILAR, et al., 2006). Uma das principais causas das falhas na polinização é a limitação polínica, que é a insuficiência da quantidade ou qualidade dos grãos de pólen que chegam aos estigmas das flores, vista como a causa mais próxima da redução do sucesso reprodutivo em paisagens modificadas por atividades humanas (NASON, HAMRICK, 1997; AGUILAR, et al., 2006; WILCOCK, NEILAND, 2002; AIZEN, et al., 2002).

Na perspectiva da paisagem, em geral a fragmentação de florestas nativas é associada à perda de habitat para as espécies típicas de floresta. No caso dos polinizadores, as florestas são importantes mesmo para espécies que utilizam áreas abertas para forrageamento, por fornecerem locais de nidificação, e serem fontes permanentes de recursos (PREVEDELLO, VIEIRA, 2010; HADLEY, et al., 2014; KREMEN, et al., 2007). Favorecem, portanto, a coexistência de maior riqueza e diversidade de espécies de polinizadores, com possíveis efeitos na comunidade vegetal (AIZEN, FEINSINGER, 1994; HANSBAUER, et al., 2010; HADLEY, et al., 2014). No caso da comunidade de plantas de ambiente florestal, maior proporção de áreas naturais possibilita maior sucesso reprodutivo, por favorecer a quantidade e qualidade do pólen recebido, sendo esta qualidade referente a pólen coespecífico, compatível e viável (AIZEN, FEINSINGER, 1994). Como decorrência, a maior proporção de floresta levaria ao aumento do tamanho, densidade e diversidade genética das populações, assim como ao aumento da diversidade das comunidades vegetais (BLOIS, et al., 2002; LIENERT, 2004).

A heterogeneidade de usos da terra na paisagem é outra característica diretamente relacionada ao comportamento dos polinizadores e a quantidade e qualidade do pólen recebido pelas plantas. O tipo de ambiente adjacente ao fragmento de vegetação nativa pode favorecer a conectividade entre populações, disponibilizando diferentes recursos e condições, atuando como área de habitat complementar para algumas espécies (WINFREE, et al., 2007; FAHRIG, et al., 2011; WILLIAMS, WINFREE, 2013; SLANCAROVA, et al., 2014; BOSCOLO et al., 2017). Em vista disso, na perspectiva da paisagem, usos que favoreçam a riqueza e diversidade de visitantes florais, contribuem com o aumento da disponibilidade de

polinizadores e frequência de visitas, que de forma geral, é relacionada à quantidade e qualidade do pólen depositado nos estigmas (HADLEY, et al., 2014; EBELING, et al., 2008; GUILLER, et al., 2016).

Apesar da importância das características da paisagem na polinização, encontramos apenas dois trabalhos que analisam essa relação em ambientes tropicais. Em paisagens da Costa Rica HADLEY et al., (2014), estudaram o efeito da composição e configuração da paisagem na polinização da espécie *Heliconia tortuosa*. Os autores não encontraram efeito da quantidade de floresta, mas da configuração da paisagem. Em áreas de Mata Atlântica LOPES, BUZATO, (2007) não encontraram diferenças no sucesso de polinização da espécie *Psychotria suterella* entre áreas em floresta não fragmentada, fragmentos isolados e conectados. Esses estudos priorizam a importância da quantidade floresta sem relacionar com a heterogeneidade de usos da terra. Abordando essa relação encontramos apenas um estudo que trata a temática da polinização de forma mais indireta, via rede de interação planta-polinizador, e assinala a importância de considerar alguns usos da terra como áreas de habitats complementares, em paisagens heterogêneas com quantidade de floresta adequada (MOREIRA, et al., 2015). Os autores defendem que a redução na quantidade de ambientes naturais e na heterogeneidade de usos da terra levam à perda de espécies e diminuição da resiliência da rede de interação planta-polinizador, podendo comprometer o sucesso reprodutivo das plantas. Esta constatação é feita com base na observação de que perturbação antrópica moderada (0 a 40% de áreas agrícolas), favorece a diversidade e aumento da rede de interação no ambiente de paisagens agrícolas associadas à áreas de vegetação natural estudadas.

Essa condição de vegetação natural associada a área agrícolas é também o contexto de nosso estudo, que inclui paisagens na região da Mata Atlântica entre as Serras da Cantareira e Mantiqueira. Essa formação vegetal tem sofrido alta pressão, principalmente pela intensificação de áreas agrícolas e urbanização (SATORELO, 2014).

A Mata Atlântica é considerada um dos *hotspots* de biodiversidade (MYERS, et al., 2000; GALINDO-LEAL, CÂMARA, 2005) contendo, para alguns grupos, maior quantidade de espécies que a região amazônica, com alto nível de endemismo (MORELLATO, HADDAD, 2000). A região localizada no corredor entre as Serras da Cantareira e Mantiqueira é uma importante área de abastecimento de água principalmente para a cidade de São Paulo. Abriga o complexo Cantareira considerado um dos maiores sistemas de produção

de água do mundo, produzindo cerca de 33 mil litros por segundo, que atende a 8,8 milhões de pessoas (WHATELY, CUNHA, 2007).

Em vista de sua importância as regiões de Mata Atlântica têm sido alvo de várias políticas de conservação. A região desse estudo, por exemplo, é protegida pela criação de diversas Unidades de Conservação e demais políticas protetivas que visam conciliar, mitigar e/ ou restaurar a cobertura vegetal original (DATA-GEO, 2017).

Neste sentido a análise conjunta da cobertura florestal e da heterogeneidade de usos da terra na polinização, apresenta-se como uma alternativa para avaliar os efeitos das atividades de conservação, em um processo chave nos ecossistemas nessas paisagens. Tal conhecimento é fundamental no estabelecimento de medidas conservacionistas mais eficientes por considerarem não apenas as áreas de floresta, mas a qualidade de usos da terra em seu entorno.

Este estudo avaliou o efeito da quantidade de floresta e da heterogeneidade de usos da terra na polinização de espécies vegetais de sub-bosque, em ambiente de Mata Atlântica. As etapas da polinização estudadas compreendem desde a deposição de grãos de pólen no estigma, sua germinação, e o crescimento de tubos polínicos até a base do estilete. Quanto ao efeito da paisagem na polinização com base nas expectativas teóricas, espera-se que áreas com maior quantidade de floresta e maior heterogeneidade favoreçam a polinização. Em relação às etapas da polinização avaliadas, espera-se aumento da quantidade de grãos de pólen com o aumento da quantidade de floresta e maior heterogeneidade. Esse aumento da deposição de grãos de pólen é condição que favorece a chegada de pólen de maior qualidade (Arceo-Gomez et al 2016) se refletindo também em menores valores de limitação polínica na comunidade.

Nosso estudo parece ser o primeiro a analisar a efeito da paisagem na polinização de comunidades de plantas de sub-bosque em ambiente de floresta tropical. O trabalho ao nível de comunidade integra o efeito das espécies presentes em determinado local, enquanto a avaliação de várias comunidades possibilita um diagnóstico geral da eficiência da polinização na região.

2. MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O presente estudo foi conduzido em áreas de Floresta Atlântica abrangendo nove municípios situados predominantemente na região conhecida como Corredor Cantareira-Mantiqueira no nordeste do Estado de São Paulo, Brasil (-46.628920, -22.951271 Noroeste – NW. -46.256015, -23.315585 Sudeste -SE) (Figura 1 do Apêndice A1).

O clima da região, segundo a classificação climática de Koeppen, é subtropical úmido (cwa), com o período chuvoso e quente ocorrendo entre os meses de outubro a março. As temperaturas médias anuais variam de 13,76°C a 26,13°C. A pluviosidade média é de 1465,6mm (CEPAGRI, 2017). O relevo apresenta-se montanhoso com grande variação de altitude de 634 a 1016m (SMA, 2017).

Os fragmentos florestais estudados são de vegetação secundária de floresta ombrófila densa, todos em estágio intermediário de regeneração (SIFESP, São Paulo, 2009). Este estágio é caracterizado por vegetação arbórea e arbustiva predominante sobre a herbácea, podendo constituir estratos diferenciados e com sub-bosque presente (SÃO PAULO-SMA- Nº 32).

2.2. Escolha e padronização das paisagens

Selecionamos 15 paisagens em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) de forma a estabelecer um gradiente de cobertura florestal entre 21 a 96% e de heterogeneidade (índice de diversidade de Shannon-Wiener de usos e ocupações) entre 0,18 a 1,67. A partir da seleção inicial via imagens de satélite foi feita a verificação em campo considerando análise visual da estrutura da vegetação, presença de lianas e nível de degradação do fragmento. Foram selecionados fragmentos florestais com maior similaridade quanto ao estado de conservação.

Uma vez selecionadas as áreas, delimitamos paisagens a partir de um ponto no interior de um fragmento florestal (centro da parcela) no qual se inseriu uma área circular (*buffer*) de 1000m de raio. Tal escala abrange distâncias de maior influência no processo de polinização. Para grupos de abelhas, por exemplo, encontrou-se mais forte correlação entre riqueza de espécies e abundância na proporção de habitats seminaturais na extensão de 750 a 1000m (STEFFAN-DEWENTER, et al., 2002; WILLIAMS, WINFREE, 2013). Quanto às plantas, ROCHA-SANTOS, et al., (2017) encontraram maiores correlações entre quantidade de floresta e riqueza ou abundância de espécies florestais utilizando os valores na escala de 1000m nos modelos testados. A distância mínima entre as paisagens foi de 1000m. Em vista

das informações já mencionadas para escala, assumimos essa distância como um espaçamento suficiente para a independência entre áreas com respeito às variáveis explicativas estudadas (Figura 1).

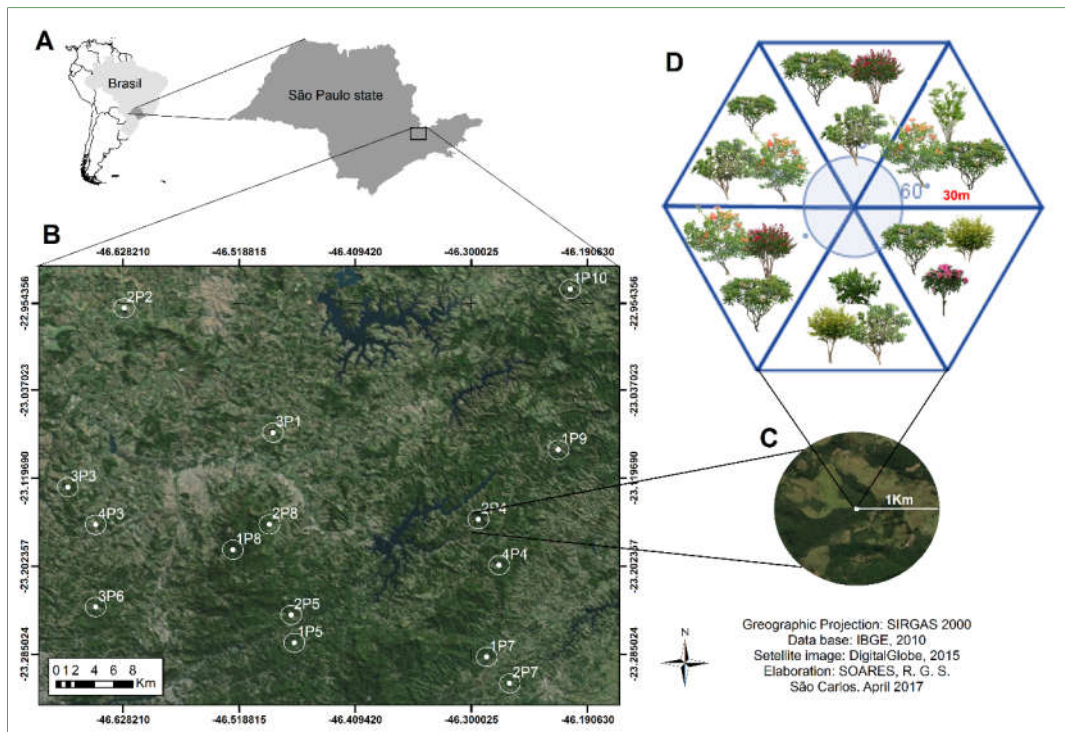


Figura 1 – Localização das paisagens com 1 km de raio. A) América do Sul; B) Paisagens dispostas na área de estudo no Estado de São Paulo; C) Detalhe de uma paisagem mostrando o raio de estudo; e D) detalhe da área da parcela hexagonal com 30m de lado.

a) Métricas de paisagem

As classes de usos e ocupações da terra foram definidas e delimitadas em toda a área de estudo por meio de digitalização em tela a partir de imagens aéreas e de Satélites com resolução espacial de até 1m disponíveis na extensão Basemap (ArcGIS 10.2). As imagens em sua maioria datam de 2015, com exceção de 2 imagens que são de 2013 e 2014, respectivamente. Contudo, aferição com imagens recentes indicou pouca alteração nos usos e ocupações nessas paisagens desde as datas das imagens (Tabela 1, Apêndice A1).

Identificamos 17 classes de usos do solo, que foram reagrupadas em oito, conforme seu grau de semelhança e funcionalidade para polinizadores, da seguinte forma: 1) corpos d'água; 2) áreas de floresta inicial e intermediária (inseridas nos modelos como quantidade de floresta da paisagem); 3) floresta pioneira inicial e pasto não manejado; 4) agricultura anual e

agricultura perene; 5) áreas com silvicultura e cerca viva; 6) solo exposto, pasto e áreas degradadas; 7) áreas de várzeas, várzeas com vegetação herbáceo-arbustiva; e 8) vilas rurais, áreas urbanas e estradas (Tabela 2, Apêndice A1).

Para analisar o efeito da paisagem na polinização utilizamos a proporção de floresta e a heterogeneidade de usos em cada paisagem calculados pela extensão V-LATE 2.0 beta, do Sistema de Informações Geográficas ArcGIS 10.3 ESRI 2013. A proporção de floresta é dada pela razão entre a área ocupada pela floresta e área total da paisagem. A quantidade de vegetação nativa (no caso floresta) é uma das características da paisagem fortemente associadas à interação planta-polinizador e ao processo de polinização (HADLEY 2014; SLANCAROVA et al., 2014, MOREIRA et al., 2015).

A heterogeneidade de usos da terra foi calculada pelo índice de diversidade de Shannon-Wiener da paisagem, métrica associada a alterações antrópicas na rede planta polinizador em áreas de Mata Atlântica (MOREIRA et al., 2015). O índice de Shannon-Wiener é calculado com base no somatório da proporção de cada classe na paisagem multiplicado pelo logaritmo neperiano dessa proporção. Considera, portanto, a quantidade de tipos de ambientes e a área ocupada dentro da paisagem, de forma que entre duas paisagens com a mesma quantidade de tipos de cobertura será mais diversa a que tiver maior equitabilidade de usos representada por maiores valores de Shannon-Wiener.

2.3 Análise qualitativa da paisagem

Fizemos uma busca na literatura a estudos que apresentassem alguma evidência da contribuição de usos do solo presentes nas paisagens para conservação de polinizadores. O objetivo foi inferir sobre a possível contribuição dos usos e ocupação na manutenção do processo de polinização via favorecimento dos polinizadores que utilizam outros ambientes na paisagem além do fragmento de floresta nativa. Os principais critérios utilizados para inferir se os usos da terra fornecem algum tipo de recurso ou condição que favoreça os polinizadores foram o fornecimento de recurso alimentar, de áreas de nidificação ou permeabilidade entre fragmentos florestais (Tabela 1).

Outro aspecto qualitativo dos usos da terra observado foi a proporção ocupada por classes de usos além do fragmento de floresta nativa. Essa análise permite identificar, entre esses usos, os que demandam maior área na paisagem, e inferir sobre uma possível influência no processo de polinização.

Tabela 1: Avaliação qualitativa do uso e ocupação das paisagens nas áreas não cobertas por floresta nativa. As classes são analisadas quanto à funcionalidade e potencial como área complementar de fornecimento de recurso, condições, e/ou aumento da permeabilidade para polinizadores com base em informações da literatura. É descrito quanto cada classe ocupa em cada paisagem. O número entre parêntese indica a quantidade de paisagens e dentro do parêntese a variação no percentual de ocupação. Os detalhes da descrição das características das classes encontram-se na Tabela 2, Apêndice A1.

Classe de uso	Nº de Paisagens	% Área ocupada	Contribuição para polinizadores com base nas conclusões dos autores	Referências
Silvicultura	12	6(2 a 11%) 6(15 a 34%)	Plantações abrigam espécies de sucessão inicial e posterior. Podem favorecer a conectividade paisagística, embora a composição de espécies encontrada seja diferente da floresta nativa.	CALVIÑO-CANCELA, et al., 2012
Cerca viva	9	Até 1,7%	Jardins suburbanos aumentaram o consumo de recursos por <i>Tetragonula carbonaria</i> . Houve aumento da atividade de forrageio de pólen e néctar. Houve aumento de riqueza e abundância de polinizadores no gradiente de urbanização com a presença de parques e jardins.	KALUZA, et al., 2016 WILLIAMS, WINFREE, 2013
Floresta pioneira inicial	15	Até 12%	Fornecer recurso para nidificação e forrageio para muitas espécies de polinizadores.	BOSCOLO, et al., 2017b
Pasto não manejado	15	8 (1 a 12%) 7 (13 a 25%)	Fornecer recurso para polinizadores e proporciona maior movimentação entre fragmentos. Para as plantas aumenta e dispersão do pólen e disponibilidade de polinizador, resultando em maior sucesso reprodutivo.	HADLEY, et al., 2014; GARIBALDI, et al., 2011; KENNEDY, et al., 2013
Agricultura anual Agricultura perene	6	Até 12%	São locais de forrageamento e de nidificação de abelhas; a abundância e riqueza de algumas espécies de abelhas aumentaram em campos agrícolas e suburbanos.	BREITBACH, et al., 2012 WINFREE, et al., 2007
Várzea Várzea com vegetação herbáceo-arbustiva.	11	Até 3%	Fornecer recurso floral e fonte de água. Contribui com a regulação das condições microclimáticas.	BOSCOLO, et al., 2017b
Solo exposto Área degradada Pasto	11(solo exposto) 2(Área degradada) 15(pasto)	Solo exposto:< 5% Área degradada: < 0,5% Pasto: 6 (<5%) 3 em até 12% e 6 paisagens entre 21 a 60%)	Ausência de recurso floral.	FERREIRA, 2015.
Água	15	11< 1% e em 4 paisagens até 5,7%	Ajuda na regulação das condições de clima e é fonte de recurso para polinizadores.	BOSCOLO, et al., 2017b
Vila rural/ Áreas urbanizadas Estradas e rodovias	15 vilas rurais 1 estrada	13 com até 3% e 2 com até 6%	Número de interações na rede mutualística, e a diversidade de abelhas do gênero <i>Bombus</i> diminuíram com o aumento da urbanização.	GESLIN, et al., 2013; AHRNE, et al., 2009

2.4 A Coleta de Flores

Em cada paisagem foi instalado um hexágono de 30m de lado disposto a uma distância mínima de 45m de cada borda (Figura 2). A forma da parcela visou diminuir a variação espacial dentro da área amostrada pela aproximação com a forma circular. Cada paisagem foi amostrada três vezes entre os meses de dezembro de 2015 e março de 2016, período de maior floração na região (MORELLATO, LPC, comunicação pessoal). Dentro do hexágono, todos os indivíduos com flores abertas (estigmas expostos; SCHUEPP et al., 2013) foram marcados no início da manhã e suas flores foram coletadas no início da tarde de forma a se garantir um mínimo de 3 horas de exposição ao polinizador. Esse tempo é considerado suficiente para a ocorrência da polinização e crescimento dos tubos polínicos para a muitas espécies de plantas (BJORKMAN, 1994; BJORKMAN, 1995,). Foram coletadas flores abertas, expostas às condições naturais de polinização de todas as espécies em flor, e botões para a contagem do número de óvulos em cada espécie. Anotamos também o número de flores na planta amostrada. A meta de coleta mínima consistia em cinco flores de cinco indivíduos de cada espécie, perfazendo 25 amostras para cada espécie por paisagem. Para as espécies com inflorescências numerosas adotamos um máximo de 20 flores por indivíduo. Nas inflorescências das espécies de plantas das famílias Asteraceae e Rosaceae, em que o conjunto de flores muito pequenas é envolto por brácteas, analisamos 20 flores em cada inflorescência (unidade de atração de visitantes) e consideramos o valor médio dos resultados como uma unidade amostral. Por conta da dificuldade manipulação dos estiletos, retiramos as plantas da família Piperaceae das análises.

2.5. A Polinização

As flores coletadas foram conservadas em álcool 70%. No laboratório, os estiletos foram retirados, tratados em solução de hidróxido de sódio (NaOH), lavado com água destilada, corados com azul de anilina e preparados em lâmina, seguindo o procedimento proposto por MARTIN (1959) e descrito em KEARNS, INOUE (1993).

O tempo de permanência no NaOH foi adaptado para cada espécie. Em microscópio de epifluorescência, contamos os grãos de pólen aderidos ao estigma, os tubos polínicos germinados na parte superior e na base do estilete de cada flor (Figuras 2 e 3)

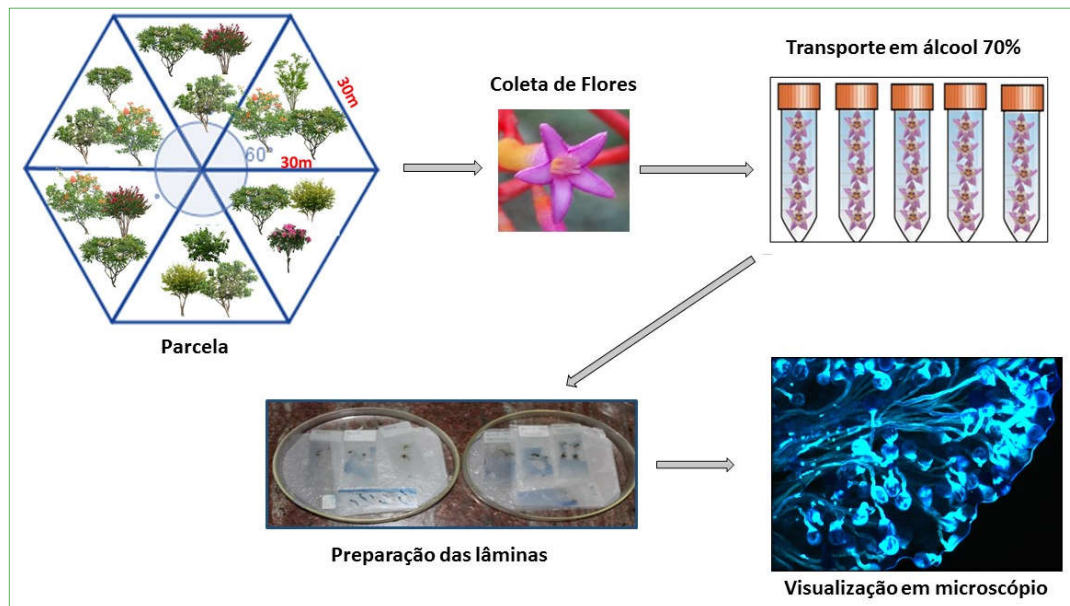


Figura 2: Desenho amostral indicando a seqüência de passos da metodologia da coleta e análise das flores

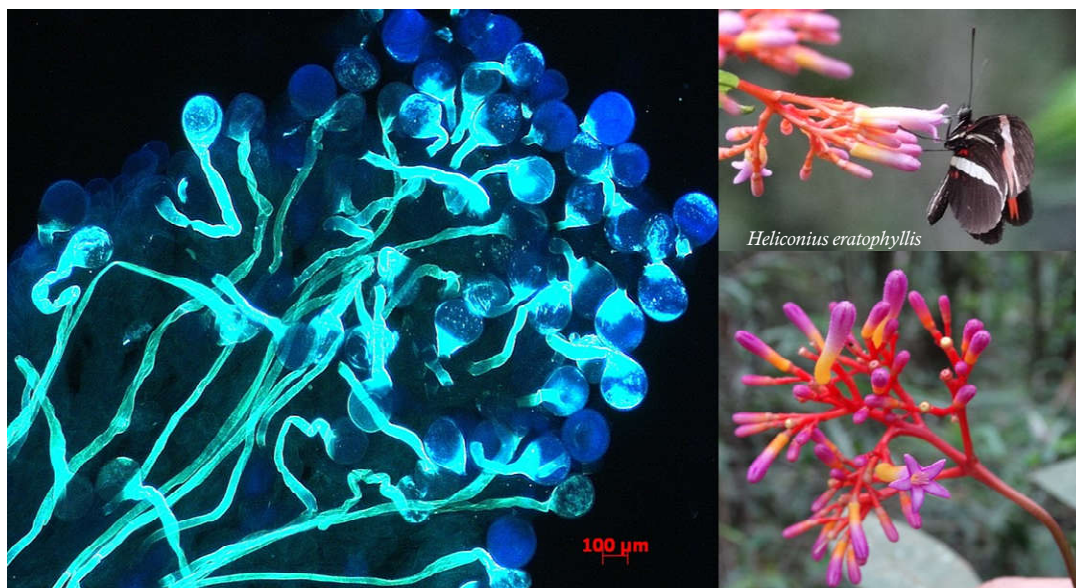


Figura 3: Exemplo de grãos de pólen e tubos polínicos vistos em microscópio de epifluorescência da espécie *Palicourea marcgravii* e processo de polinização observado. Fotos: R. G. S. Soares (2015).

Tais medidas originaram quatro variáveis resposta descritas a seguir:

(a) *Carga de pólen*: consiste no número de grãos de pólen depositados em cada estigma. (ARCEO-GOMEZ et al., 2016). Essa variável é associada a frequência de visitas (SCHUEPP et al., 2013).

(b) *Germinação do pólen*: estimada pela razão entre os tubos polínicos germinados no terço superior do estilete e total de grãos de pólen no estigma. A germinação do pólen é uma das medidas de qualidade do grão de pólen, por indicar pólen co-específico e viável à fertilização (ARCEO-GOMEZ et al., 2016)

(c) *Proporção de flores polinizadas*: corresponde à proporção de flores em cada planta com a razão entre o número de tubos germinados contados na base do estilete e o número de óvulos de cada espécie maior que 0,99. Neste caso, a unidade amostral é cada planta.

(d) *Sucesso da polinização*: consiste na razão entre os tubos germinados até a base do estilete e o número de óvulos em cada flor (razão tubo/óvulo). Esses valores foram analisados nas flores amostradas de duas formas: para todas as flores, incluindo as que não tinha nenhum tubo germinado (análise com os zeros), e somente com as flores nas quais germinaram ao menos um tubo polínico até a base do estilete, (sem os zeros) (HADLEY, et al., 2014; ALONSO et al., 2013).

O número de tubos polínicos germinados até a base do estilete foi padronizado entre espécies por meio da razão entre os tubos polínicos germinados até a base do estilete e o número médio de óvulos por flor na espécie, de forma similar à avaliação pré-zigótica da limitação polínica em ALONSO et al., (2013). Da mesma forma, a variável proporção de flores polinizadas foi proposta para verificar se germinaram tubos polínicos até a base do estilete em número suficiente para fertilizar todos os óvulos em cada espécie (razão tubo/ óvulo maior que 0,99) e conseguir comparar esses valores entre diferentes espécies (ALONSO et al., 2012). Essas variáveis são associadas à limitação polínica (ALONSO et al., 2012).

As medidas de polinização supracitadas, como carga de pólen e germinação de tubos polínicos, estão forte e positivamente relacionadas à expressão do sucesso reprodutivo das plantas em termos de frutos e sementes (AGUILAR et al., 2006). Os tubos polínicos são ainda uma ligação funcional entre a chegada do pólen e a produção de sementes, sendo uma importante medida pré-zigótica da limitação da polinização (ASHMAN et al., 2004). Apresenta-se também como uma alternativa mais simples, quando comparada a estudos que

exigem acompanhamento de mais etapas do ciclo reprodutivo, como a formação de frutos e sementes (ALONSO et al., 2012).

Em estudos de limitação polínica, por exemplo, experimentos que exigem acréscimo manual de pólen podem ser impossíveis de serem aplicados ao nível de comunidades, devido à necessidade de conhecimento da biologia floral, dificuldade de manipulação de flores pequenas e ainda à maior vulnerabilidade a perdas por predação ou danos imprevisíveis (ALONSO et al., 2012). Uma alternativa proposta para estudos de comunidades, é a proporção de tubos polínicos germinados até a base do estilete e o número de óvulos em cada flor, padronizada entre espécies (ALONSO et al., 2012; ARCEO-GOMEZ et al., 2016).

2.6. Análise dos dados

Nas paisagens estudadas a proporção de florestas foi inversamente proporcional à heterogeneidade de usos da terra (Pearson $R = -0,7418344$; $p = 0,001545$). Consideramos então o efeito conjunto da quantidade de floresta e heterogeneidade usos da terra na paisagem. Para isso, utilizamos a análise de PCA (Análise de Componentes Principais - PCA) para transformação dessas duas variáveis em uma, que chamamos de eixo1. O eixo1 representa a reta formada pelos pontos de junção entre os efeitos da heterogeneidade e da proporção de floresta na paisagem, permitindo a análise conjunta dos dois efeitos. Essa variável (eixo1) explicou 87% da variação na quantidade de floresta e heterogeneidade de usos e ocupações da paisagem. A proporção de floresta correlacionou-se negativamente (Pearson $R = -0,94$; $p < 0,001$) e a heterogeneidade de usos da terra correlacionou-se positivamente (Pearson $R = 0,93$; $p < 0,001$) com a variável eixo1.

Para a análise da relação entre as variáveis da paisagem (eixo1) e a polinização, utilizamos Modelos Lineares Mistos Generalizados (ZUUR, et al., 2009). Foram modelados como fatores fixos o número de flores na planta amostrada e a variável eixo1. O número de flores na planta amostrada não faz parte das perguntas deste trabalho, mas foi incluída no modelo com a intenção de controlar estatisticamente o efeito dessa variável de efeito local. Não encontramos efeito da quantidade de flores na planta amostrada em nenhuma das variáveis relacionadas à polinização analisadas (Tabela 4 do Apêndice A2). Foi realizada a seguir uma nova seleção de modelos considerando apenas a variável eixo1 como fator fixo, possibilitando incluir um conjunto de dados para os quais não tínhamos a informação do número de flores na planta amostrada. Consideramos como fator aleatório as flores aninhadas dentro das plantas (indivíduo), e as plantas dentro da espécie. As espécies foram consideradas

como fator aleatório devido à alta diversidade β , pois encontramos poucas espécies compartilhadas entre os fragmentos. Como era impossível ter as mesmas espécies em várias paisagens, optamos por considerar as espécies como blocos randômicos. Assim, a fonte de variação relativa a uma determinada flor pertencer a uma espécie pôde ser estimada estatisticamente e levada em consideração, apesar de não conseguirmos fazer análises por espécie nem modelar espécie como um fator fixo.

Para todas as variáveis foram estimados os componentes da variação a partir dos modelos mistos ajustados. Utilizamos a distribuição binomial (função de ligação logit) para a variável proporção de flores totalmente polinizadas, e a distribuição de Poisson (função de ligação logarítmica) para um único modelo que relacionou a variável sucesso da polinização com o eixo1 e quantidade de flores. Nas demais variáveis: carga de pólen (sem a quantidade de flores como fator fixo), germinação e sucesso da polinização, utilizamos a distribuição binomial negativa (função de ligação logarítmica). As distribuições foram escolhidas a partir do tipo de variável a ser modelado e a inspeção gráfica de resíduos, evitando-se também a superdispersão dos dados (Tabela 4, Apêndice A2 para todos os modelos testados) (ZUUR, et al., 2009).

Os melhores modelos foram selecionados com base no menor valor para o Critério de Informação de Akaike (AIC). O AIC indica, com base nos dados, quais dos modelos são os mais adequados. Consideramos igualmente plausíveis modelos com $\Delta AIC < 2$. Outro critério utilizado foi o peso de evidência (w_i), ou seja, quanto da variação explicada por todos os modelos corresponde a cada modelo entre os modelos concorrentes. As análises foram implementadas utilizando o ambiente estatístico R (<http://www.r-project.org>), pacotes lme4, gplots, bbmle.

3. RESULTADOS

Analisamos 1367 estiletos, que depois de feitas as médias entre as flores de Asteraceae e Rosaceae, resultaram em 1048 unidades amostrais. Essas flores pertenciam a 189 indivíduos de 46 espécies, distribuídos entre as 15 paisagens. Ao longo de três coletas o número de espécies em flor no sub-bosque variou de 1 a 14 com média de 4,6 espécies por paisagem, enquanto o número de flores coletadas variou de 21 a 137 por paisagem (Tabela 3, Apêndice A1).

3.2 Variação intrínseca no sistema polinização

Houve alta variação na composição das espécies estudadas, refletindo a alta diversidade β das paisagens. Entre as 46 espécies coletadas apenas duas foram encontradas em mais do que três áreas: *Palicourea macgravi* (5) e *Psychotria suterella* (5). (Tabela 5, Apêndice A2)

Na comunidade, a germinação do pólen foi a variável com maior amplitude entre os níveis, com a variação entre plantas cerca de duas vezes maior que a variação entre espécies. Para o sucesso de polinização a variação entre plantas foi quase três vezes maior que a variação entre flores da mesma planta, bem próxima da variação entre espécies. Portanto, os dados em geral indicam alta variação no sistema. Mesmo os menores valores de variação entre flores quando considerados juntos com a variação entre plantas equivalem a variação entre espécies (Tabela 2).

Tabela2: Análise dos componentes da variação feitas a partir dos modelos, para as variáveis: Carga de pólen, Germinação do pólen, sucesso na polinização e proporção de flores totalmente polinizadas. Os valores representam os desvios padrão entre os interceptos estimados para cada unidade do respectivo nível

Variável	Níveis		
Variável	Entre espécies	Entre plantas	Entre flores
Carga de pólen	2,7	1,2	0,8
Germinação do pólen	1,1	1,8	0,9
Sucesso na polinização	2,9	2,2	0,7
Proporção de flores totalmente polinizadas	2,2	1.4	-

3.3 O estado atual da polinização nas paisagens

O percentual de flores com razão tubo/óvulo maior do que 0,99 em cada paisagem variou de 2,5 a 71,4%, mas ficou acima de 35% em 10 de 15 paisagens. Nas cinco paisagens em que esse percentual foi menor que 30% (1P7, 2P2, 3P6, 2P4, 2P7), a ausência de pólen e a não germinação, parecem ser o fator de maior impacto nos menores valores de polinização. (Figura 4).

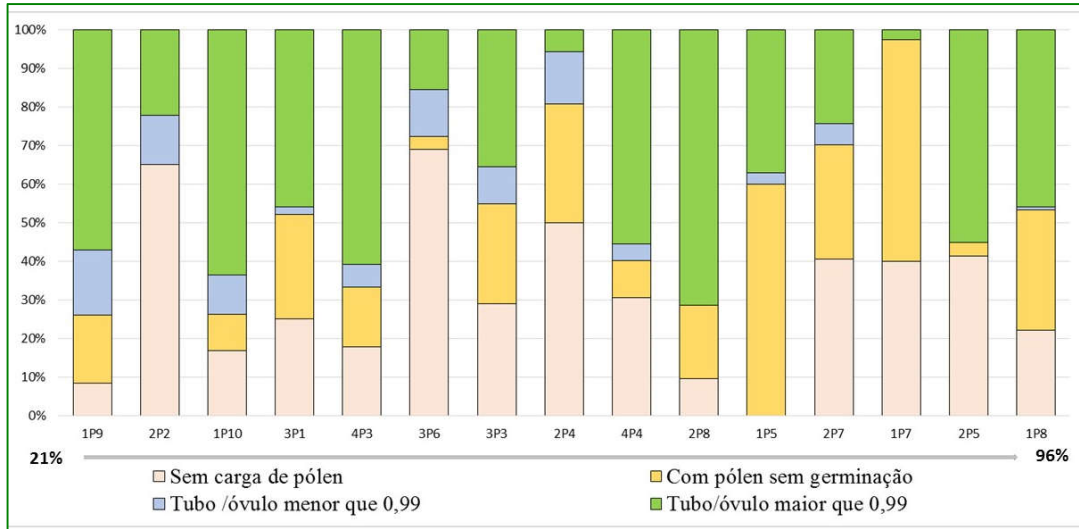


Figura 4: Resultados da polinização nas 15 paisagens. As paisagens estão ordenadas do menor para o maior percentual de floresta

3.4 O efeito da paisagem na polinização

a) Carga polínica e germinação dos grãos de pólen

A carga de pólen foi maior do que o número médio de óvulos por flor na espécie em 56% das flores analisadas (589 de 1030). Em 47% das flores (492 de 1048), mais da metade do pólen depositado germinou formando tubo polínico. A carga de pólen no estigma de cada flor aumentou nas áreas com mais floresta e menos heterogêneas. A taxa de germinação dos grãos de pólen, por sua vez, não apresentou relação com as variáveis da paisagem. (Figura 5, e Tabela 3).

b) Sucesso na polinização e proporção de flores polinizadas

Em 41% (434 de 1048) do total de flores a razão tubo/óvulo foi maior que 0,99, indicando a germinação em número suficiente para a fertilização de todos os óvulos em cada flor. O sucesso na polinização e a proporção de flores polinizadas não apresentaram relação com o gradiente da paisagem (Figura 6A, Tabela 3). No entanto, quando consideramos apenas as flores nas quais germinou ao menos um tubo (análise sem os zeros) observa-se um aumento da magnitude da relação tubo/óvulo nas áreas com mais floresta e menor heterogeneidade. Nessas áreas, as flores apresentaram, para cada óvulo, cerca de dois tubos polínicos germinados até a base do estilete (Figura 6 B, Tabela 3).

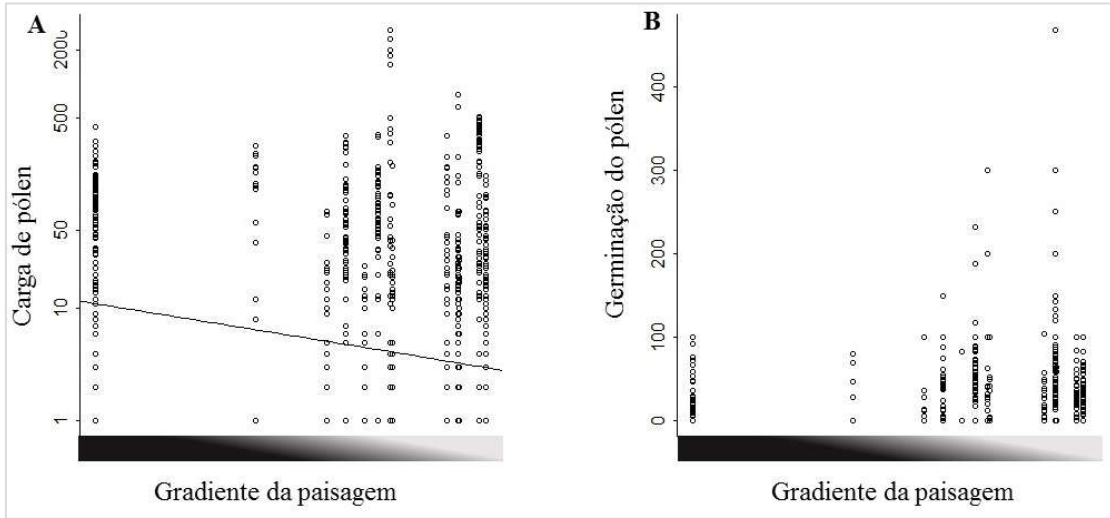


Figura 5: Relação entre o gradiente da paisagem nas variáveis: **A:** carga de pólen. Cada ponto representa a quantidade de pólen no estigma de uma flor, observa aumento nas áreas com mais floresta e menos heterogeneidade (cinza escuro). **B:** Germinação do pólen. Cada ponto representa a taxa de germinação do pólen em uma flor. Observa-se não relação com o gradiente da paisagem.

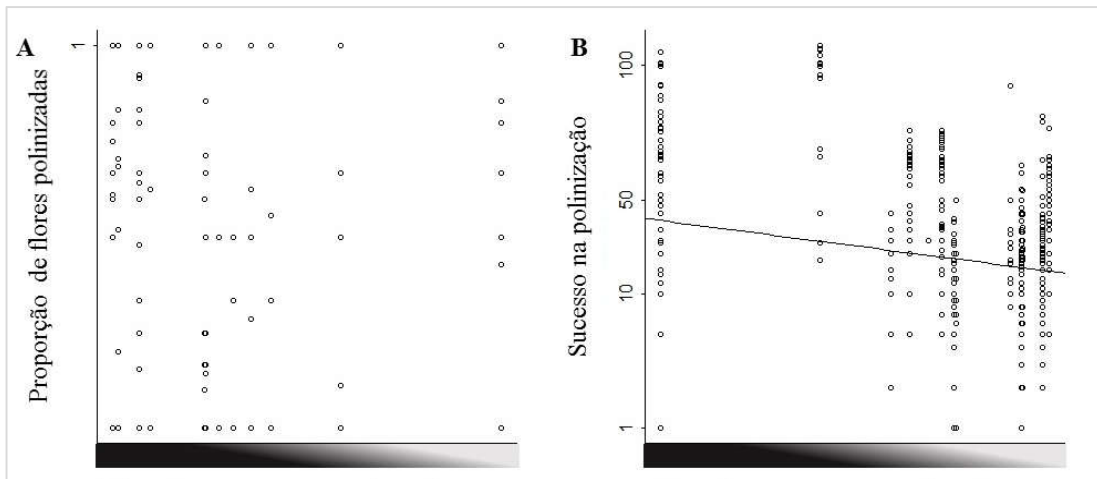


Figura 6: Relação entre o gradiente da paisagem nas variáveis: **A:** proporção de flores polinizadas. Cada ponto representa o percentual de flores com razão tubo/óvulo > 0,99 em uma planta. Não se observa efeito da paisagem. **B:** Sucesso de polinização nas flores em que germinaram ao menos 1 tubo até a base do estilete. Cada ponto representa uma flor. Observa-se maior percentual de tubos germinados para cada óvulo na flor nas áreas de maior cobertura floresta em menor heterogeneidade (cinza escuro).

Tabela 3: Comparação entre os principais modelos testados para o efeito da paisagem representado pela variável eixo1 (quantidade de floresta e heterogeneidade da paisagem) e as variáveis respostas: carga de pólen (quantidade de pólen depositado); germinação do pólen (razão entre tubos germinados no terço superior do estilete e o número de grãos de pólen), sucesso na polinização (razão entre os tubos germinados até a base do estilete e o número de óvulo) e proporção de flores polinizadas (percentual de flores com razão tubo/óvulo > 0,99 em cada planta. Os modelos com menores valores de AIC ($\Delta AIC \leq 2$) e maior peso de evidência (w_i) referentes as variáveis testadas estão destacados em cinza.

Modelo	K	AIC	ΔAIC	w_i
1. Carga de pólen (n=1030)				
eixo1	5	7914,62	0,0	0,86
Nulo	4	7918,28	3,7	0,14
2. Germinação do pólen (n=1030)				
eixo1	5	4602,91	0,0	0,54
Nulo	3	4603,22	0,3	0,46
2. Sucesso na polinização (n= 1047) com zeros				
eixo1	5	6060,05	0,7	0,59
Nulo	4	6059,35	0,0	0,41
2.1 Sucesso na polinização (n=525) sem zero				
eixo1	5	4617,98	0,0	0,98
Nulo	4	4625,95	7,9	0,02
3. Prop. de flores polinizadas (tubo/ov > 0,99; n=189)				
eixo1	3	676,24	1,4	0,33
Nulo	2	674,86	0,0	0,67

3. 4. Análise qualitativa da paisagem

Ao todo as áreas de floresta das 15 paisagens são compostas por 139 fragmentos somando floresta inicial e floresta secundária intermediária. A maioria, 64,7% destes fragmentos, tem menos que 5ha; 23,7% entre 5 e 49ha; e apenas 7,9% são maiores que 49ha. Apesar da maioria dos fragmentos serem pequenos, o percentual de floresta fica acima de 50% em 7 paisagens, e entre 32 a 45% em 4. Nas 4 paisagens restantes entre 21 a 28%.

Esses resultados indicam níveis intermediários a altos de cobertura florestal, em ao menos 11 entre as 15 paisagens em contexto e de floresta nas paisagens estudadas, ainda é alto o nível de fragmentação.

A análise da qualidade e diversidade dos usos da terra associados a essas áreas de floresta nativa, indica que o percentual de cobertura da terra por usos que fornecem algum tipo de contribuição para manutenção de polinizadores é maior do que 50% em 14 das 15 paisagens (Figura 8).

Além das áreas de floresta os usos mais comuns foram o pasto, seguido por pasto não manejado, floresta de eucalipto e floresta em fase inicial de regeneração. Quando consideramos somente os usos antrópicos, as áreas de pasto e agrícolas (incluindo plantações de eucalipto) são os que ocupam maior área nas paisagens. No entanto, entre os tipos de cultivo considerados agrícolas (Lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991), o cultivo de alimentos ocupa menos que 12% de área e se mantém em apenas 6 das paisagens. Outro ponto importante são os tipos de alimentos cultivados. Nas áreas adjacentes aos fragmentos há plantio de uvas, pêssego, cítricos, lichia, chuchu, pomares e hortas familiares. Associadas à diversidade e pequena proporção de área ocupada, as características dessas culturas como possíveis fontes de recurso alimentar para polinizadores, apresentam um cenário mais favorável à polinização quando comparado ao cenário com predominância de áreas de pasto (FERREIRA, 2015).

Observa-se, portanto, que nas paisagens estudadas a atividade econômica de maior proporção de área ocupada são as plantações de eucalipto e de pasto para agropecuária. Comparando essas duas classes de uso vemos que as plantações de eucalipto quando em estágio avançado, têm um certo grau de uso por polinizadores, podendo fornecer recurso intermitente em épocas de florada, resinas, e melhora nas condições de microclima, favorecendo deslocamento de espécies entre áreas com habitats de melhor qualidade (CALVIÑO-CANCELA, et al., 2012). Estudos tem registrado também a importância do sub-bosque em regeneração nessas plantações, quando não manejadas (CALVIÑO-CANCELA, et al., 2012). No entanto esses recursos e condições são restritos a plantações em estágio avançado, sendo a mudança brusca de condições ambientais nas ocasiões de colheita outro grande impacto dessas plantações para a fauna que circula por esse ambiente (MOSCA, 2008). Apesar de fornecer recurso para algumas espécies, o plantio de eucalipto gera impactos não discutidos nessa análise, como a invasão de espécies exóticas, por exemplo, e não substitui o papel da floresta na conservação da biodiversidade como um todo (CALVIÑO-CANCELA, et al., 2012; FERREIRA, 2015).

As áreas de pasto são ainda mais impactantes do que as plantações de eucalipto (FERREIRA, 2015). Com maior proporção de área ocupada, podem representar áreas inóspitas para polinizadores, devido à ausência de recurso floral e alto impacto da espécie exótica adotada sobre as espécies de plantas nativas.

Portanto, em geral, a análise de contribuições das classes de usos nas paisagens e o percentual de cobertura florestal, em sua maioria acima de 30%, condizem com os valores

intermediários de polinização encontrados. A combinação desses dois fatores, (quantidade de floresta e qualidade dos demais usos e ocupações) tornam as paisagens funcionalmente mais semelhantes na perspectiva de espécies de polinizadores que forrageiam fora do ambiente de floresta.

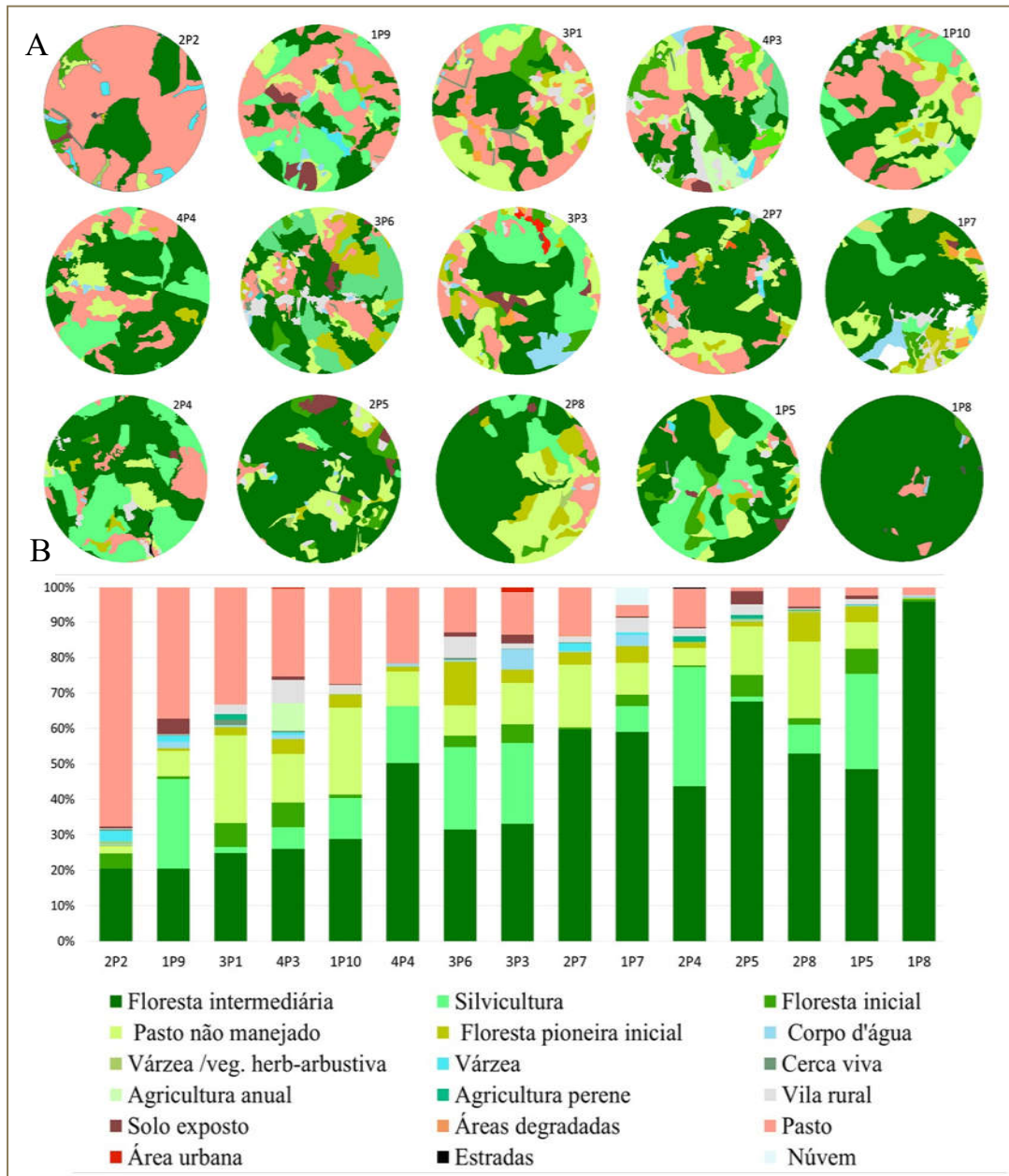


Figura 7: A) Distribuição das classes de uso e ocupação em cada paisagem; B) Percentual de cada uso e ocupação nas paisagens, organizadas em ordem crescente de proporção de usos que podem apresentar algum tipo de recurso ou condição favorável a polinizadores (ilustrados em tons de verde). Observa-se que, com exceção de uma paisagem, os valores somados de cobertura de áreas com potencial de uso por polinizadores ficam acima de 58% chegando a 90% em 3 paisagens.

4. DISCUSSÃO

As características da paisagem influenciam a polinização, a depender da relação entre a quantidade de áreas naturais e qualidade dos usos adjacentes (PREVEDELLO, VIEIRA, 2010; WILLIAMS, WINFREE 2013; BOSCOLO et al., 2017a). Nossa análise leva em conta as inter-relações das áreas de floresta e demais usos da terra com a polinização. Contribui assim com o entendimento de como essa função ecossistêmica se mantém em comunidades de plantas de sub-bosque florestal em paisagens tropicais, com histórico de transformação de áreas de floresta em áreas para uso antrópico.

Apesar de grande variação no sistema planta-polinizador, as paisagens com maior proporção de floresta e menor heterogeneidade de usos e ocupações apresentaram maior deposição de grãos de pólen nos estigmas das flores. Adicionalmente, considerando apenas as flores com ao menos um tubo polínico germinado, nestas paisagens também se formaram mais tubos para cada óvulo.

Nosso trabalho relaciona características e processos que influenciam o ciclo de vida destas plantas em diferentes níveis: as características da paisagem e o crescimento de tubos polínicos em cada flor. Logo, para entender estes resultados é necessário considerar os atributos do sistema com suas múltiplas fontes de variação. Partindo da análise da variação no sistema, discutiremos essas relações conforme a sequência natural de acontecimentos, partindo da chegada do grão de pólen à germinação até a base do estilete.

4.1 Variação intrínseca no sistema

A variação foi bastante grande em todas as etapas da polinização medidas. Dentre estas, o processo de germinação do pólen apresentou maior variação entre plantas da mesma espécie do que entre espécies. Nas demais medidas, a variação combinada entre flores da mesma planta e entre plantas da mesma espécie foi equivalente àquela entre espécies. Um dos fatores que contribui para essa variação é a diferença entre espécies de polinizadores na eficiência da polinização (HERRERA, 1987; MURCIA, FEINSINGER, 1996; LOPES, BUZATO, 2007), no que se refere à qualidade (pólen coespecífico) e quantidade do pólen depositado. Esse aspecto é fortemente associado a diferenças nas eficiências dos polinizadores e de suas respostas comportamentais à variação de recursos florais em cada nível. Quanto a este aspecto, a variação na polinização entre diferentes espécies vegetais, pode ocorrer por

conta da quantidade de recursos disponibilizados, que podem ser relacionados à variações na morfologia e no tempo de vida da flor (KNIGHT et al 2005; ASHMAN, SCHOEN, 1994; GHAZOUL 2005), no tamanho, na densidade e fenologia das plantas (NASON, HAMRICK, 1997; TSCHAPKA, 2004; LOPES BUZATO, 2005) e nas relações de competição ou facilitação com outras espécies na comunidade (GHAZOUL 2005), ou ainda com as condições abióticas do habitat (ANTONINI, et al., 2005). Na natureza, todas essas características encontram-se inter-relacionadas e se refletem nos níveis hierárquicos inferiores do sistema.

Entre plantas da mesma espécie, por exemplo, além dos fatores supracitados, a polinização pode ser influenciada por fatores como o número de flores em cada planta, e pela distância da fonte de pólen coespecífico mais próxima (KUNIN 1997; HERRERA 1987; GHAZOUL 2005). Por fim temos a variação entre flores da mesma planta principalmente na quantidade de recursos (ASHMAN 2004; KNIGHT et al., 2005), e fatores associados como tamanho da flor (KNIGHT et al., 2005) e coloração (YAN et al., 2015).

Neste estudo a análise dos componentes da variação indica que as características das espécies estão entre os fatores determinantes nas diferentes repostas às variáveis ambientais, como já indicado na literatura (KNIGHT et al 2005, WOLOWSKI et al., 2013; ALONSO et al., 2013; ARCEO-GOMEZ 2016). No entanto, o sistema apresenta grandes magnitudes de variação em todos os níveis como já relatado em outros estudos (KNIGHT et al 2005, WOLOWSKI et al., 2013; ARCEO-GOMEZ 2016; ALONSO et al., 2013), indicando ser esta uma característica inerente ao sistema.

4.2 O estado atual da polinização nas paisagens

Consideramos como moderado o estado atual da polinização ao longo do gradiente de paisagens, pois todas as variáveis apresentaram valores entre 41% a 56% de êxito. A carga de pólen, por exemplo, foi em quantidade suficiente para a fertilização de todos os óvulos em 56% das flores amostradas. Esses valores de deposição de pólen se refletiram em valores igualmente moderados das taxas de germinação, e do número de tubos polínicos na base do estilete.

Em estudos de polinização as medidas de limitação polínica em geral se referem às variáveis pós-zigóticas principalmente a produção de frutos e sementes, de forma que não existem dados comparativos para a medida pré-zigótica de limitação polínica adotada neste estudo. Em vista disso, nossa análise comparativa se refere a estudos de medidas pós-

zigóticas de limitação polínica feitos para fragmentos da Mata Atlântica em geral. Sobre essa questão, em um estudo de revisão com 85 espécies, os autores encontraram que 58% apresentaram limitação polínica e por meio da comparação com outros sistemas concluem que os processos de polinização nos fragmentos da Mata Atlântica estão bem conservados (FREITAS et al., 2010). Ainda com espécies da Mata Atlântica, um estudo de meta-análise encontrou magnitude de limitação polínica interpretada pelos autores como moderada, para 129 das 132 espécies analisadas (WOLOWSKI et al., 2014). Vemos, portanto, que os resultados moderados de polinização encontrados neste estudo para a comunidade por meio de medida pré-zigótica, coincidem com avaliações anteriores para fragmentos da Mata Atlântica em geral.

Um dos fatores que pode estar contribuindo para manutenção dos serviços de polinização nas paisagens apesar das diferenças na quantidade floresta, é a qualidade e diversidade dos usos adjacentes aos fragmentos. Em sua maioria, os usos antrópicos nas paisagens fornecem algum tipo de recurso e/ou condições que favorecem polinizadores que forrageiam fora do ambiente de floresta.

Essa constatação se baseia em estudos que mediram a influência da qualidade de áreas adjacentes a fragmentos de florestas, e indicam que a quantidade de recurso presentes é associado ao aumento da permeabilidade da paisagem, refletindo em maior dispersão de pólen entre fragmentos via polinizador (GUILLER et al., 2016), e a produção de frutos e sementes (STEFFAN-DEWENTER, TSCHARNTKE 1999; ASHMAN et al., 2004; HADLEY, et al., 2014). No entanto apesar de alguns polinizadores serem capazes de transportar pólen a longas distâncias (NASON, HAMRICK, 1997; BYRNE et al., 2007) é mais comum um efeito mais forte na vizinhança da planta (GHAZOUL, 2005). Com isso, o efeito da permeabilidade da paisagem nas plantas se dá mais frequentemente de forma indireta, via favorecimento da maior disponibilidade de polinizadores. Tal fluxo possibilita maior frequência de visitas, e a partir disso, a maior probabilidade de recebimento de pólen nas plantas (CUNNINGHAM, 2000; CRAMMER, et al., 2012; GUILLER et al., 2016).

Nas paisagens estudadas, grande parte dos usos da terra se referem a áreas com cobertura vegetal que favorece a ocorrência de espécies ruderais, como várzeas com vegetação, campos não manejados e áreas de floresta em estágio inicial de regeneração. Observamos, nestes ambientes, alta frequência de visita e grande riqueza de flores que foram associados à maior abundância e riqueza de polinizadores (FERREIRA et al., dados não publicados).

Portanto inferimos que esse resultado moderado da polinização pode ser devido à interação das áreas de floresta nativa com a qualidade e diversidade de usos das demais áreas na paisagem. A qualidade da polinização pode estar sendo mantida nas paisagens com menos floresta e maior heterogeneidade devido ao fornecimento e diversidade de recursos complementares dos usos da terra adjacentes, associado a uma quantidade de floresta acima de um valor mínimo necessário (FAHRIG et al., 2011, HADLEY et al., 2014; WILLIAMS, WINFREE, 2013; BOSCOLO et al., 2017a).

4.3 Efeito da paisagem na polinização

a) carga de pólen

Um dos principais resultados desse estudo, é que a deposição de grãos de pólen aumentou nas paisagens com mais floresta e menor heterogeneidade de usos e ocupações. A chegada de grãos de pólen é condição fundamental para a reprodução sexuada das plantas, uma vez que o sucesso das demais etapas do ciclo reprodutivo depende da quantidade e qualidade do pólen que chega ao estigma (ALONSO et al., 2013).

Este estudo evidencia a influência do aumento da quantidade de floresta e diminuição da heterogeneidade da paisagem na chegada de pólen nos estigmas. Indica, portanto, que mesmo em paisagens com histórico de intenso impacto antrópico, o aumento da quantidade de floresta é condição importante de favorecimento da polinização na comunidade de plantas de sub-bosque, corroborando a importância da quantidade de floresta nativa nesse processo (PREVEDELLO, VIERA, 2010; FAHRIG, 2013; KENNEDY et al. 2013; BANKS-LEITE, et al. 2014).

O aumento da carga de pólen, pode estar associado ao efeito positivo da quantidade e conectividade das áreas de floresta nativa na paisagem. Áreas com mais floresta possibilitam o aumento das populações de plantas, pelo simples efeito de maior disponibilidade de habitat (LIENERT, 2004; HADLEY et al., 2014). Já a conectividade da paisagem estaria associada ao favorecimento da dispersão de pólen, e principalmente da disponibilidade de polinizadores (GUILLER et al., 2016; CRANMER et al., 2012). Tais circunstâncias favorecem a manutenção da diversidade genética (BYRNE et al., 2007; LIENERT, 2004; HONNAY et al., 2005), por meio de um processo que se inicia com o aumento da disponibilidade de recurso ao polinizador, e com o aumento da taxa de visitação (WINFREE et al., 2007), refletindo na

quantidade e qualidade do pólen recebido (BLOIS et al. 2002; LIENERT. 2004; AIZEN, FEINSINGER, 1994).

Com base na literatura podemos associar esse efeito de maior quantidade de floresta nativa na carga de pólen a dois cenários possíveis. O mais esperado é o aumento da diversidade, abundância, e riqueza de polinizadores nestas áreas com mais floresta, como encontrado em muitos estudos (LIENERT, 2004; HADLEY et al., 2014; HOPFENMULLER, et al., 2014; KREMEN et al., 2007; HADLEY et al., 2014; FERREIRA et al., 2015). No entanto, outros estudos indicam diminuição da riqueza, abundância e diversidade de polinizadores com o aumento da quantidade de floresta nativa (WINFREE 2009, WILLIAMS, WINFREE, 2013). Uma constatação comum nestes estudos que encontraram menos polinizadores em áreas com mais floresta, é que as características da paisagem afetam de forma diferente os grupos de polinizadores. A depender do histórico de uso, a formação da comunidade pode ter se dado com as espécies que conseguiram se manter em ambiente mais degradado já tendo sido perdidas as espécies mais sensíveis. Dessa forma o efeito de aumento na riqueza e diversidade observado, se refere apenas às espécies que conseguiram se adaptar a essa condição de degradação estabelecida (WEINER, et al., 2014, CUNNINGHAM, 2000; STEFFAN-DEWENTER, TSCHARNTKE 1999, WILLIAMS, WINFREE, 2013).

Ainda sobre essa circunstância o de diminuição de polinizadores com o aumento da floresta, a maior deposição de grãos de pólen observada poderia estar associada à maior eficiência na polinização das espécies presentes nas áreas com mais floresta (CUNNINGHAM, 2000). Pode ainda se referir à associação entre espécies de plantas e polinizadores favorecidas pela condição uso da terra estabelecida, uma vez que os polinizadores mais afetados por alterações na qualidade do habitat podem ser os que estabelecem interações com plantas mais sensíveis a essas alterações (WEINER et al., 2014).

Em relação à heterogeneidade de usos da terra, alguns estudos verificaram aumento da abundância, da riqueza e da diversidade nas redes de interação planta-polinizador e de alguns grupos de polinizadores em áreas com distúrbio antrópico moderado, por meio da complementariedade de recursos (WINFREE et al., 2009; HOPFENMULLER et al., 2014; MOREIRA et al., 2015). Tais estudos discutem um efeito conjunto, de uma proporção de floresta acima de um valor mínimo, associada à maior heterogeneidade no favorecimento de espécies capazes de utilizar áreas além da floresta nativa. Neste estudo observamos o efeito de aumento da deposição de pólen nas áreas menos heterogêneas.

Esse resultado deve ser interpretado considerando que a heterogeneidade nas paisagens e a proporção de floresta estão inversamente correlacionadas, o que significa que parte do efeito observado com a diminuição da heterogeneidade de usos da terra também pode se referir ao aumento da quantidade de floresta. Essa constatação é corroborada por outros estudos que defendem que a proporção de floresta e isolamento são os principais determinantes de parâmetros ecológicos na paisagem (PREVEDELLO, VIEIRA, 2010; FAHRIG, 2013). Apesar desse efeito conjunto e oposto, ainda é possível observar o favorecimento da deposição de grão de pólen com o aumento da cobertura florestal, o que nos indica que o efeito da quantidade de floresta pode ser ainda maior do que o observado. Esta parece ser, portanto, uma característica da paisagem importante na conservação do processo de polinização das espécies estudadas.

Outro aspecto importante é o nível de organização em nossa análise. O favorecimento da polinização é observado para toda a comunidade de plantas de sub-bosque apesar da variação nas características das espécies, que sabemos que respondem de forma diferente a alterações na qualidade ambiental. (LIENERT, 2004). Considerando a comunidade, houve um efeito positivo da cobertura florestal na deposição de grãos de pólen, mesmo nesta região onde os demais usos da terra apresentam boa qualidade para os visitantes florais.

Com base em nossos resultados, podemos dizer que existe um efeito da paisagem na deposição de grãos de pólen e inferir que este ocorre via influência na assembleia de plantas e polinizadores. Nesta perspectiva, a quantidade de floresta e heterogeneidade pode estar associada ao aumento de áreas de habitat e maior conectividade tanto para plantas quanto para polinizadores.

b) A germinação do pólen (in vivo)

A taxa de germinação do pólen pode ser usada para avaliar a qualidade do pólen depositado, medida fortemente associada ao sucesso reprodutivo das plantas (ALONSO et al., 2012; SCHUPPER et al., 2017; AGUILAR, et al., 2006). A ausência de influência da paisagem na taxa de germinação encontrada pode indicar semelhança na qualidade do pólen depositado ao longo do gradiente, tendo, portanto, igual probabilidade de germinação até o terço superior do estilete. Os resultados indicam ainda que nas paisagens o pólen depositado corresponde principalmente a pólen coespecífico de boa qualidade.

A germinação do pólen pode ser influenciada por fatores que modulam a deposição do pólen, e também por fatores adicionais. No caso dessa variável pode haver também influência de fatores emergentes das interações entre os grãos de pólen na superfície do estigma. Uma alta carga de pólen depositado pode gerar, por exemplo, um efeito de clogging que impede a germinação de todo o pólen depositado (WASER; FUGATE, 1986). Esse pode ser um dos fatores responsáveis pela não correspondência entre o efeito de aumento da carga de pólen nas áreas de mais floresta e a germinação.

c) Proporção de flores polinizadas e Sucesso na polinização

O crescimento de tubos até o terço inferior do estilete é tido como uma das variáveis pré-zigóticas mais importantes no sucesso reprodutivo das plantas (ALONSO et al., 2012). Apesar dessa análise indicar qualidade moderada de polinização, não apresenta evidências de efeito da paisagem nas variáveis proporção de flores polinizadas e sucesso na polinização quando consideradas todas as flores. Porém, nas flores com germinação de ao menos um tubo, encontramos nas áreas com maior quantidade de floresta e menor heterogeneidade aumento da quantidade de tubos germinado para cada óvulo (sucesso na polinização).

A ausência de efeito da paisagem no percentual de flores polinizadas em cada planta na quantidade de flores com sucesso da polinização, pode ser melhor entendida pela análise qualitativa dessas paisagens quanto à inferência sobre sua capacidade de manter a função de polinização nas comunidades estudadas. As paisagens estudadas, têm em comum, com apenas duas exceções, percentuais de floresta acima de 30% e alto percentual de cobertura por usos da terra que oferecem algum tipo de recurso para polinizadores, o que as torna funcionalmente mais semelhantes em sua capacidade de manutenção da polinização. Desse modo, espera-se um efeito maior da quantidade de floresta se as diferenças entre as paisagens abrangessem um gradiente de maior amplitude de quantidade de floresta e maior variação na qualidade de usos não florestais nativos, incluindo valores abaixo de 20% (PARDINI 2010, JOLY et al. 2014, BANKS-LEITE et al. 2014).

Exceto por duas paisagens que possuem 21,4 e 24,7 % de floresta, as demais encontram-se entre níveis intermediários a altos de cobertura florestal com metade do gradiente com valores acima de 50%. Em áreas de Mata Atlântica quantidades de floresta maiores que 30%, têm sido avaliadas como de alto potencial para a manutenção de elevados níveis de biodiversidade e resiliência ecológica. Valores críticos menores que esses percentuais têm sido apontados como determinantes para vários grupos de espécies incluindo

plantas, mamíferos e anfíbios (PARDIN et al 2010; MARTENSEN et al., 2012; JOLY et al., 2014). Um dos maiores estudos relacionando cobertura florestal e composição de espécies abrangeu 212 espécies de pássaros, mamíferos e anfíbios ao longo de 79 paisagens da Mata Atlântica variando de 5 a 100% de cobertura florestal. As análises combinadas dos três grupos indicaram percentuais de limiar em torno de 30% (BANKS-LEITE et al., 2014;). Também fica em torno de 30% o percentual indicado como de maior potencial para ações de conservação, por possuir uma quantidade mínima de floresta que ainda sustenta certa diversidade quando comparada a paisagens com maiores níveis de antropização (JOLY et al 2014; PARDIM et al., 2010).

Além da cobertura florestal, outro aspecto importante é a boa qualidade dos demais usos da terra com alta proporção de usos que de alguma forma podem favorecer os polinizadores. É comum nas áreas a existência de usos da terra que proporcionam o crescimento de espécies ruderais com abundância de flores e alta taxa de visitação de polinizadores (HADLEY et al., 2014 e WINFREE et al 2007; FERREIRA, dados não publicados), como pastos não manejados, alguns cultivos agrícolas e áreas em estágio inicial de regeneração. Estas áreas podem contribuir com recursos complementares favorecendo a polinização na comunidade de plantas estudadas.

Alguns estudos apresentam fortes evidências de que várias espécies da fauna que dependem da floresta podem utilizar e/ou se manter em áreas de não floresta, especialmente quando estas se assemelham a áreas naturais quanto ao fornecimento de recurso e estrutura, como sub-bosque de plantações de eucaliptos, por exemplo, ou determinados cultivos (WINFREE et al 2007; JOLY et al 2014). Nestes casos, essas áreas disponibilizam habitats de menor qualidade, atuando como paisagem complementar e aumentando também a permeabilidade da paisagem (FAHRIG, et al., 2011; 2014; WILLIAN, WINFREE, 2013; JOLY et al., 2014; BOSCOLO et al., 2017a, 2017b).

Essa influência da qualidade dos usos adjacentes a áreas de floresta nativa no sucesso reprodutivo das plantas é uma das explicações dos resultados encontrados por WILLIAMS, WINFREE (2013) de aumento de riqueza e abundância de polinizadores com a diminuição da cobertura florestal. Os autores argumentam que a existência de jardins e manchas de vegetação podem fornecer recurso para polinizadores, compensando parcialmente a perda de floresta em paisagens antropizadas. Há, no entanto, a necessidade de avaliar a características das espécies e o histórico da paisagem. No caso de nosso estudo assim como no de WILLIAMS E WINFREE (2013) tratam-se de florestas secundárias associadas a áreas de

agricultura e agropecuária. Portanto, vale também aqui a reflexão feita pelos autores de que as espécies existentes podem ser as que sobreviveram ao processo de transformação antrópica da paisagem sofrido, mais especificamente os polinizadores capazes de se beneficiar com o fornecimento de recursos das áreas não ocupadas por floresta nativa na paisagem.

Em vista disso, os tipos de usos adjacentes aos fragmentados pode ser um dos fatores determinantes na definição dos grupos de espécies mais ou menos beneficiados (WILLIAMS, WINFREE, 2013; PREVEDELLO, VIEIRA, 2010). Espécies de polinizadores podem ser mantidas em paisagens fragmentadas devido à interação com plantas generalistas resilientes (AIZEN et al., 2012, NEWMAN et al., 2013). Por outro lado, esse mesmo grupo de polinizadores generalistas pode contribuir com o sucesso de plantas especialistas que ocorrem em manchas isoladas (HADLEY et al., 2012). Tal assimetria na interação confere robustez ao sistema planta-polinizador quando considerado ao nível de comunidade, conferindo-lhe resiliência (ASHWORTH et al., 2004), um outro fator que pode estar sustentando os processos de polinização nestas paisagens.

Em resumo, apesar de ser necessária uma análise mais detalhada das características das espécies envolvidas, podemos hipotetizar que a qualidade moderada da polinização e o não efeito da paisagem na limitação polínica ocorrem devido à robustez da rede de interação entre plantas polinizadores e da interação entre a quantidade de floresta e os usos funcionalmente complementares para polinizadores.

Nós apresentamos evidências que comprovam qualidade moderada da polinização das espécies de plantas de sub-bosque, conhecimento importante na avaliação dessas paisagens quanto à sustentabilidade dessa função e às suas implicações econômicas e sociais.

Outro resultado importante é o efeito de maior percentual de floresta e menor heterogeneidade da paisagem no aumento da quantidade de tubos germinados para cada óvulo (sucesso de polinização), quando analisamos apenas para as flores que tiveram ao menos um tubo germinado. O excedente de tubos polínicos em relação ao número de óvulos, pode resultar em maior sucesso reprodutivo (WINSOR, STEPHENSON, 1987). BJORKMAN (1995), por exemplo, encontrou um aumento de 40% no peso das sementes relacionados ao aumento da carga de pólen e germinação de tubos. O autor defende que a competição do pólen para a formação dos tubos resulta em maior vigor da semente. O aumento de polinização em áreas com maior proporção de floresta naturais pode se refletir ainda em maior produção de frutos e sementes (AIZEN, FEINSINGER, 1994; CUNNINGHAM, 2000).

Nosso estudo confirma a alta variação no sistema planta-polinizador e indica que, ao nível da comunidade, as paisagens estudadas sustentam moderada qualidade da polinização. Verificamos também a influência da quantidade de floresta e heterogeneidade em aspectos da qualidade da polinização. Indica, portanto, a relevância de considerar a quantidade de floresta nativa e a interação entre os diferentes usos da terra, na avaliação de processos ecossistêmicos chave, em paisagens com histórico de alteração antrópica intensa, sobre áreas de floresta nativa.

4.4. Considerações sobre a gestão da paisagem

O cenário mais favorável à polinização encontrado nesse estudo, apesar da forte pressão antrópica, parece ser consequência de várias políticas de conservação que vêm sendo implementadas, devido à sua importância ecológica, econômica e social da região.

Ao longo dos anos foram criadas, nessa região, várias unidades de conservação de uso sustentável e proteção integral, como monumento natural, parques e reservas particulares do patrimônio natural (RPPNs). Por exemplo, apenas duas paisagens não estão incluídas na zona de amortecimento e conectividade da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da cidade de São Paulo. Recentemente, toda a região foi considerada área prioritária para restauração da vegetação nativa, incluída na categoria muito alta, por Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA-SMA Nº 07/2017). Outras políticas de proteção da região incluem ainda a classificação como inadequada pelo zoneamento agroambiental para o setor sucroalcooleiro, o que significa o não estabelecimento de monoculturas de cana-de-açúcar, mais nocivos a polinizadores por não possuírem flores.

Apesar desses avanços, quando consideramos a totalidade das áreas de Mata Atlântica, vemos que as áreas protegidas representam somente 9% dos remanescentes florestais e apenas 1% da cobertura original (JOLY et al., 2014, RIBEIRO et al., 2009). Portanto ainda que as políticas protetivas tenham diminuído o avanço do desmatamento, no Estado de São Paulo, e as ações de restauração tenham aumentado a cobertura vegetal, o número de espécies de plantas e animais ameaçados aumentou de 656, nas avaliações de 2003/2004 (fauna) e 2008 (flora), para as atuais 2.131 espécies (SILVA, 2016). Fica evidente, então a necessidade de intensificar ações protetivas da biodiversidade e dos processos ecológicos nesta formação florestal.

Temos como evidências desse estudo, o aumento da deposição de grãos de pólen e aumento da magnitude da relação tubo/óvulo nas áreas com maior cobertura de floresta nativa e menor heterogeneidade. Atribuímos essas repostas a um efeito conjunto da quantidade de floresta e alta qualidade de usos da terra, com uma tendência para maior importância da quantidade de floresta. Os usos antrópicos, mesmo contribuindo potencialmente com a manutenção dos polinizadores não se equiparam às áreas de floresta quanto a esta função.

Encontramos também qualidade moderada da taxa de germinação e quantidade de flores com tubos germinados suficientes para a fertilização de todos os óvulos na flor. Neste caso, atribuímos a semelhança entre as paisagens à boa qualidade de usos da terra associada a valores entre intermediários a altos de cobertura vegetal.

Portanto considerando esses resultados, para a conservação do processo de polinização indicamos que seja priorizado, nas ações de gestão, o aumento das áreas de floresta nativa. Em contextos de ocupação consolidada, que se promovam usos da terra que complementem de alguma forma as áreas de floresta na promoção da conservação de polinizadores.

4.5 Perspectivas

Nosso estudo parece ser o primeiro a analisar a polinização incluindo toda a comunidade de plantas de sub-bosque em ambiente de floresta tropical. Apesar da grande variação no sistema e das diferentes respostas dos polinizadores e plantas às características da paisagem, tais estudos fornecem uma primeira avaliação da comunidade, que podem direcionar investigações mais precisas em nível de espécie.

Avaliações complementares em nível de espécies podem informar mais sobre o estado de conservação das áreas por considerarem o papel dessas espécies vegetais na manutenção dos serviços ecossistêmicos e sustentação da biodiversidade, bem como sua representatividade na qualidade ambiental dessas paisagens para toda a comunidade.

Devido à alta diversidade beta, há pouco compartilhamento de espécies, fato que dificulta a comparação do desempenho de uma mesma espécie entre áreas. Por outro lado, estudos com espécies abundantes em todas as áreas em geral se restringem a uma população, dizendo pouco sobre o estado da comunidade. Ademias há dificuldade, em estudos de populações de espécies naturalmente raras, ou as que se tornam raras por serem mais sensíveis aos efeitos da fragmentação.

O estudo da comunidade gera uma visão mais ampla do sistema incluindo toda a sua variação. Trata-se de conhecimento mais abrangente sobre a qualidade da polinização na paisagem e de sustentação desse processo para a toda a comunidade vegetal. Informações como estas podem ser uma primeira base para ações de gestão considerando a conservação da biodiversidade como um todo. Contribuem também com o conhecimento sobre a relação entre o processo de polinização que ocorre no sub-bosque da floresta para comparações futuras com o equivalente no dossel. Uma vez que é desconhecida essa relação, a avaliação da polinização aqui apresentada acrescenta parte da informação necessária no entendimento do sistema. Estabelece assim, um importante parâmetro inicial de comparação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, Ramiro et al. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. **Ecology letters**, v. 9, n. 8, p. 968-980, 2006.

AHRNE, Karin; BENGTSSON, Jan; ELMQVIST, Thomas. Bumble bees (*Bombus* spp) along a gradient of increasing urbanization. **PLoS One**, v. 4, n. 5, p. e5574, 2009.

AIZEN, Marcelo A.; ASHWORTH, Lorena; GALETTO, Leonardo. Reproductive success in fragmented habitats: do compatibility systems and pollination specialization matter? **Journal of Vegetation Science**, v. 13, n. 6, p. 885-892, 2002.

AIZEN, Marcelo A.; FEINSINGER, Peter. Forest fragmentation, pollination, and plant reproduction in a Chaco dry forest, Argentina. **Ecology**, v. 75, n. 2, p. 330-351, 1994.

AIZEN, Marcelo A.; SABATINO, Malena; TYLIANAKIS, Jason M. Specialization and rarity predict nonrandom loss of interactions from mutualist networks. **Science**, v. 335, n. 6075, p. 1486-1489, 2012.

ALONSO, Conchita et al. Among-species differences in pollen quality and quantity limitation: implications for endemics in biodiverse hotspots. **Annals of botany**, p. mct213, 2013.

ALONSO, Conchita; HERRERA, Carlos M.; ASHMAN, Tia-Lynn. A piece of the puzzle: a method for comparing pollination quality and quantity across multiple species and reproductive events. **New Phytologist**, v. 193, n. 2, p. 532-542, 2012.

ANTONINI, Yasmine et al. Diversidade e comportamento dos insetos visitantes florais de *Stachytarpheta glabra* Cham. (Verbenaceae), em uma área de campo ferruginoso, Ouro Preto, MG. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 4, p. 555-564, 2005.

ARCEO-GÓMEZ, Gerardo et al. Patterns and sources of variation in pollen deposition and pollen tube formation in flowers of the endemic monoecious shrub *Cnidoscolus souzai* (Euphorbiaceae). **Plant Biology**, 2016.

ARCEO-GÓMEZ, Gerardo; ASHMAN, Tia-Lynn. Heterospecific pollen deposition: does diversity alter the consequences? **New Phytologist**, v. 192, n. 3, p. 738-746, 2011.
ASHMAN, Tia-Lynn et al. Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences. **Ecology**, v. 85, n. 9, p. 2408-2421, 2004.

ASHMAN, Tia-Lynn; SCHOEN, Daniel J. How long should flowers live?. **Nature**, v. 371, n. 6500, p. 788-791, 1994.

ASHWORTH, Lorena et al. Why do pollination generalist and specialist plant species show similar reproductive susceptibility to habitat fragmentation?. **Journal of Ecology**, v. 92, n. 4, p. 717-719, 2004.

ATLÂNTICA, SOS Mata. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica—período 2008-2010. **São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica**, 2011.

BJÖRKMAN, Thomas. The effect of pollen load and pollen grain competition on fertilization success and progeny performance in *Fagopyrum esculentum*. **Euphytica**, v. 83, n. 1, p. 47-52, 1995.

BOSCOLO, Danilo et al. Positive responses of flower visiting bees to landscape heterogeneity depend on functional connectivity levels. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15, n. 1, p. 18-24, 2017.

BOSCOLO, Danilo; FERREIRA, Patricia Alves; LOPES, Luciano Elsinor. Da Matriz a Matiz—Em busca de uma abordagem funcional para a ecologia de paisagens. **Filos e História da Biol**, v. 11, p. 157-187, 2016.

BRASIL LEI Nº 8.171, De 17 de Janeiro De 1991, Dispõe sobre a Política Agrícola.

BREITBACH, Nils et al. Influence of habitat complexity and landscape configuration on pollination and seed-dispersal interactions of wild cherry trees. **Oecologia**, v. 168, n. 2, p. 425-437, 2012.

BYRNE, M. et al. Extensive pollen dispersal in a bird-pollinated shrub, *Calothamnus quadrifidus*, in a fragmented landscape. **Molecular Ecology**, v. 16, n. 6, p. 1303-1314, 2007.

CALVIÑO-CANCELA, María; RUBIDO-BARÁ, Margarita; VAN ETTEN, Eddie JB. Do eucalypt plantations provide habitat for native forest biodiversity?. **Forest Ecology and Management**, v. 270, p. 153-162, 2012.

CEPAGRI. Centro de pesquisas meteorológicas e climáticas aplicadas à agricultura. Clima dos municípios paulistas, 2016. Disponível em: Acesso em: 31 de abril de 2016.

CHAPLIN-KRAMER, Rebecca et al. Global malnutrition overlaps with pollinator-dependent micronutrient production. In: **Proc. R. Soc. B**. The Royal Society, 2014. p. 20141799.

COSTANZA, Robert et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, n. 6630, p. 253-260, 1997.

CRANMER, Louise; MCCOLLIN, Duncan; OLLERTON, Jeff. Landscape structure influences pollinator movements and directly affects plant reproductive success. **Oikos**, v. 121, n. 4, p. 562-568, 2012.

CUNNINGHAM, Saul A. Depressed pollination in habitat fragments causes low fruit set. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 267, n. 1448, p. 1149-1152, 2000.

DATA-GEO, SISTEMA AMBINETAL PAULISTA, Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo–(IDEA-SP), 2017. Disponível em: <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/> Acesso em abril de 2017.

DE BLOIS, Sylvie; DOMON, Gérald; BOUCHARD, André. Landscape issues in plant ecology. **Ecography**, v. 25, n. 2, p. 244-256, 2002.

EBELING, Anne et al. How does plant richness affect pollinator richness and temporal stability of flower visits?. **Oikos**, v. 117, n. 12, p. 1808-1815, 2008.

EILERS, Elisabeth J. et al. Contribution of pollinator-mediated crops to nutrients in the human food supply. **PLoS one**, v. 6, n. 6, p. e21363, 2011.

FAHRIG, Lenore et al. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. **Ecology letters**, v. 14, n. 2, p. 101-112, 2011.

FAHRIG, Lenore. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v. 34, n. 1, p. 487-515, 2003.

FAHRIG, Lenore. Rethinking patch size and isolation effects: the habitat amount hypothesis. **Journal of Biogeography**, v. 40, n. 9, p. 1649-1663, 2013.

FEINSINGER, P. Effects of plant species on each other's pollination: is community structure influenced. **Trends in Ecology and Evolution** v. 2, p. 123-126, 1987.

FERREIRA, Patrícia A. et al. Responses of bees to habitat loss in fragmented landscapes of Brazilian Atlantic Rainforest. **Landscape Ecology**, v. 30, n. 10, p. 2067-2078, 2015.

FERREIRA, Bruno. Manual de boas práticas agrícolas: conservação e manejo de polinizadores para uma agricultura sustentável / Bruno Ferreira. – Rio de Janeiro: Funbio, 2015.

FONSECA, Lorena Coutinho Nery; ALMEIDA, Elisângela Medeiros de; ALVES, Maria Alice Santos. Fenologia, morfologia floral e visitantes de *Psychotria brachypoda* (Müll. Arg.) Britton (Rubiaceae) em uma área de Floresta Atlântica, Sudeste do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 2008.

FREITAS, Leandro; WOLOWSKI, Marina; SIGILIANO, Maria Isabel. Ocorrência de limitação polínica em plantas de Mata Atlântica. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 1, p. 251-265, 2010.

GALINDO-LEAL, C., CÂMARA, I.G., eds. **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. Fundação SOS Mata Atlântica — Belo Horizonte: Conservação Internacional, 2005.

GARIBALDI, Lucas A. et al. Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. **Ecology letters**, v. 14, n. 10, p. 1062-1072, 2011.

GESLIN, Benoît et al. Plant pollinator networks along a gradient of urbanisation. **PloS one**, v. 8, n. 5, p. e63421, 2013.

GHAZOUL, Jaboury. Pollen and seed dispersal among dispersed plants. **Biological Reviews**, v. 80, n. 3, p. 413-443, 2005.

GUILLER, Clémence et al. How do field margins contribute to the functional connectivity of insect-pollinated plants? **Landscape Ecology**, v. 31, n. 8, p. 1747-1761, 2016.

HADLEY, Adam S. et al. Tropical forest fragmentation limits pollination of a keystone understory herb. **Ecology**, v. 95, n. 8, p. 2202-2212, 2014.

HADLEY, Adam S.; BETTS, Matthew G. The effects of landscape fragmentation on pollination dynamics: absence of evidence not evidence of absence. **Biological Reviews**, v. 87, n. 3, p. 526-544, 2012.

HANLEY, Nick et al. Measuring the economic value of pollination services: Principles, evidence and knowledge gaps. **Ecosystem services**, v. 14, p. 124-132, 2015.

HANSBAUER, Miriam M. et al. Landscape perception by forest understory birds in the Atlantic Rainforest: black-and-white versus shades of grey. **Landscape ecology**, v. 25, n. 3, p. 407-417, 2010.

HERRERA, Carlos M. Components of pollinator" quality": comparative analysis of a diverse insect assemblage. **Oikos**, p. 79-90, 1987.

HERRERA, Carlos M. Components of pollinator" quality": comparative analysis of a diverse insect assemblage. **Oikos**, p. 79-90, 1987.

HONNAY, Olivier et al. Forest fragmentation effects on patch occupancy and population viability of herbaceous plant species. **New Phytologist**, v. 166, n. 3, p. 723-736, 2005.

HOPFENMUELLER, Sebastian; STEFFAN-DEWENTER, Ingolf; HOLZSCHUH, Andrea. Trait-specific responses of wild bee communities to landscape composition, configuration and local factors. **PloS one**, v. 9, n. 8, p. e104439, 2014.

JOLY, Carlos A.; METZGER, Jean Paul; TABARELLI, Marcelo. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, v. 204, n. 3, p. 459-473, 2014.

JOLY, Carlos A.; METZGER, Jean Paul; TABARELLI, Marcelo. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, v. 204, n. 3, p. 459-473, 2014.

KALUZA, Benjamin F. et al. Urban gardens promote bee foraging over natural habitats and plantations. **Ecology and evolution**, v. 6, n. 5, p. 1304-1316, 2016.

KEARNS, C.A., INOUE, D.W. Techniques for pollination biologists. Niwot: University Press of Colorado. 1st Ed. 583 pp, 1993.

KENNEDY, Christina M. et al. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. **Ecology letters**, v. 16, n. 5, p. 584-599, 2013.

KEVAN, Peter G.; VIANA, Blandina F. The global decline of pollination services. **Biodiversity**, v. 4, n. 4, p. 3-8, 2003.

KLEIN, Alexandra-Maria et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 274, n. 1608, p. 303-313, 2007.

KNIGHT, Tiffany M. et al. Pollen limitation of plant reproduction: pattern and process. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, v. 36, p. 467-497, 2005.

KREMEN, Claire et al. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. **Ecology letters**, v. 10, n. 4, p. 299-314, 2007.

KREMEN, Claire et al. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. **Ecology letters**, v. 10, n. 4, p. 299-314, 2007.

KUNIN, W.E. Population size and density effects in pollination: pollinator foraging and plant reproductive success in experimental arrays of *Brassica kaber*, **Journal of Ecology**, v. 85, p. 225-234, 1997.

LEBRIJA-TREJOS, Edwin et al. Functional traits and environmental filtering drive community assembly in a species-rich tropical system. **Ecology**, v. 91, n. 2, p. 386-398, 2010.

LIENERT, Judit. Habitat fragmentation effects on fitness of plant populations—a review. **Journal for nature conservation**, v. 12, n. 1, p. 53-72, 2004.

LIHOREAU, Mathieu; CHITTKA, Lars; RAINE, Nigel E. Trade-off between travel distance and prioritization of high-reward sites in traplining bumblebees. **Functional Ecology**, v. 25, n. 6, p. 1284-1292, 2011.

LOPES, Luciano E.; BUZATO, Silvana. Biologia reprodutiva de *Psychotria suterella* Muell. Arg.(Rubiaceae) e a abordagem de escalas ecológicas para a fenologia de floração e frutificação. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n. 4, p. 785-795, 2005.

LOPES, Luciano E.; BUZATO, Silvana. Variation in pollinator assemblages in a fragmented landscape and its effects on reproductive stages of a self-incompatible treelet, *Psychotria suterella* (Rubiaceae). **Oecologia**, v. 154, n. 2, p. 305-314, 2007.

MARTENSEN, Alexandre Camargo et al. Associations of forest cover, fragment area, and connectivity with neotropical understory bird species richness and abundance. **Conservation Biology**, v. 26, n. 6, p. 1100-1111, 2012.

MARTIN, F.M. Staining and observing pollen tubes by means of fluorescence. *Stain Technology* v. 34, p. 436-437, 1959.

MATSON, Pamela A. et al. Agricultural intensification and ecosystem properties. **Science**, v. 277, n. 5325, p. 504-509, 1997.

MOREIRA, Eduardo Freitas; BOSCOLO, Danilo; VIANA, Blandina Felipe. Spatial heterogeneity regulates plant-pollinator networks across multiple landscape scales. **PloS one**, v. 10, n. 4, p. e0123628, 2015.

MORELLATO L.P.C, HADDAD C.F.B., Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. **Biotropica**, v. 32: p. 786–792, 2000.

MOREIRA, et al., Spatial Heterogeneity Regulates PlantPollinator Networks across Multiple Landscape Scales, **PLOS ONE** v. 10(4), p. 1-19, 2015.

MOSCA, Andreia Arruda de Oliveira. **Avaliação dos impactos ambientais de plantações de eucalipto no Cerrado com base na análise comparativa do ciclo hidrológico e da sustentabilidade da paisagem em duas bacias de segunda ordem**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MURCIA, Carolina; FEINSINGER, Peter. Interspecific pollen loss by hummingbirds visiting flower mixtures: effects of floral architecture. **Ecology**, v. 77, n. 2, p. 550-560, 1996.

MYERS, Norman et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NASON, J. D.; HAMRICK, J. L. Reproductive and genetic consequences of forest fragmentation: two case studies of neotropical canopy trees. **Journal of Heredity**, v. 88, n. 4, p. 264-276, 1997.

NASON, J.D., HAMRICK, J.L., Reproductive and Genetic Consequences of Forest Fragmentation: Two Case Studies of Neotropical Canopy Trees, *Journal of Heredity*, v. 88, p. 264-276, 1997.

NEWMAN, B.J. et al., Effects of habitat fragmentation on plant reproductive success and population viability at the landscape and habitat scale, **Biological Conservation**, v.159, p.16–23, 2013.

NEWMAN, Belinda J. et al. Effects of habitat fragmentation on plant reproductive success and population viability at the landscape and habitat scale. **Biological Conservation**, v. 159, p. 16-23, 2013.

PARDINI, Renata et al. Beyond the fragmentation threshold hypothesis: regime shifts in biodiversity across fragmented landscapes. **PloS one**, v. 5, n. 10, p. e13666, 2010.

POTTS, Simon G. et al. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. **Nature**, v. 540, n. 7632, p. 220-229, 2016.

PREVEDELLO, Jayme Augusto; VIEIRA, Marcus Vinícius. Does the type of matrix matter? A quantitative review of the evidence. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, n. 5, p. 1205-1223, 2010.

RAMALHO, Mauro. Stingless bees and mass flowering trees in the canopy of Atlantic Forest: a tight relationship. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n. 1, p. 37-47, 2004.

RATHCKE, B.J. Competition and facilitation among plants for pollination. In: Real, L. (ed.). **Pollination Biology**. Academic Press, London. p. 305-329, 1983.

RIBEIRO, Milton Cezar et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

ROCHA-SANTOS, Larissa et al. Functional decay in tree community within tropical fragmented landscapes: Effects of landscape-scale forest cover. **PLoS One**, v. 12, n. 4, p. e0175545, 2017.

SÃO PAULO–Governo do Estado, Secretaria Municipal de Meio Ambiente -Resolução SMA N° 7, de 18 de janeiro de 2017.

SÃO PAULO–Governo do Estado, Secretaria Municipal de Meio Ambiente -Resolução SMA N° 32, de 18 de janeiro de 2017.

SARTORELLO, Ricardo. Interações em estudos para conservação: conceitos e técnicas para análises geográficas e ecológicas da paisagem. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2014.

SCHÜEPP, Christof; HERZOG, Felix; ENTLING, Martin H. Disentangling multiple drivers of pollination in a landscape-scale experiment. In: **Proc. R. Soc. B.** The Royal Society, 2014. p. 20132667.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA) /Coordenadoria de Planejamento Ambiental, **Modelo Digital de Elevação (MDE) do Estado de São Paulo**, 2017. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/modelo-digital-de-elevacao-mde-do-estado-de-sao-paulo/>Acesso em abril 2017.

SLANCAROVA, J., et al., Does the surrounding landscape heterogeneity affect the butterflies of insular grassland reserves? A contrast between composition and configuration. **J. Insect. Conserv.**, v. 18, p.1–12, 2014.

SILVA, 2016. PINTO, Luiz; HIROTA, Márcia; BEDÊ, Lúcio; TABARELLI, Marcelo, **Capítulo V: Conservação da Mata Atlântica brasileira - um balanço dos últimos dez anos** p. 434 in: Metamorfoses florestais: Culturas, ecologias e as transformações históricas da Mata Atlântica, org: Diogo de Carvalho Cabral, Ana Goulart Bustamante, ed. Prismas. Ed. 1 p.458. São Paulo, 2016

STEFFAN-DEWENTER, Ingolf et al. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. **Ecology**, v. 83, n. 5, p. 1421-1432, 2002.

STEFFAN-DEWENTER, Ingolf; TSCHARNTKE, Teja. Effects of habitat isolation on pollinator communities and seed set. **Oecologia**, v. 121, n. 3, p. 432-440, 1999.

TSCHAPKA, Marco. Energy density patterns of nectar resources permit coexistence within a guild of Neotropical flower-visiting bats. **Journal of Zoology**, v. 263, n. 1, p. 7-21, 2004.

WEINER, Christiane Natalie et al. Land-use impacts on plant–pollinator networks: interaction strength and specialization predict pollinator declines. **Ecology**, v. 95, n. 2, p. 466-474, 2014.

WHATELY, Marussia; CUNHA, Pilar. Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo. Instituto Socioambiental, 2007.

WILCOCK, Chris; NEILAND, Ruth. Pollination failure in plants: why it happens and when it matters. **Trends in plant science**, v. 7, n. 6, p. 270-277, 2002.

WILLIAMS, Neal M.; WINFREE, Rachael. Local habitat characteristics but not landscape urbanization drive pollinator visitation and native plant pollination in forest remnants. **Biological conservation**, v. 160, p. 10-18, 2013.

WINFREE, Rachael et al. A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. **Ecology**, v. 90, n. 8, p. 2068-2076, 2009.

WINFREE, Rachael et al. Native bees provide insurance against ongoing honeybee losses. **Ecology letters**, v. 10, n. 11, p. 1105-1113, 2007.

WINSOR, J. A.; Davis, L. E.; STEPHENSON, g. the relationship between pollen load and fruit maturation and the effect of pollen load on offspring vigor in cucurbita pepo. **The American Naturalist**, v. 129, p. 643-656, 1987.

WOLOWSKI, Marina; ASHMAN, Tia-Lynn; FREITAS, Leandro. Community-wide assessment of pollen limitation in hummingbird-pollinated plants of a tropical montane rain forest. **Annals of botany**, p. mct140, 2013.

WOLOWSKI, Marina; ASHMAN, Tia-Lynn; FREITAS, Leandro. Meta-analysis of pollen limitation reveals the relevance of pollination generalization in the Atlantic forest of Brazil. **PloS one**, v. 9, n. 2, p. e89498, 2014.

WASER, Nickolas M.; FUGATE, Michael L. Pollen precedence and stigma closure: a mechanism of competition for pollination between *Delphinium nelsonii* and *Ipomopsis aggregata*. *Oecologia*, v. 70, n. 4, p. 573-577, 1986.

YAN, Juan et al. Pollinator responses to floral colour change, nectar, and scent promote reproductive fitness in *Quisqualis indica* (Combretaceae). **Scientific reports**, v. 6, 2016.

ZUUR, A. et al., **Mixed effects models and extensions in ecology with R**. Springer 579 p, 2009.

8. APÊNDICES

APÊNDICE A1 – PAISAGENS

1. MUNICÍPIOS SEDE DAS PAISAGENS

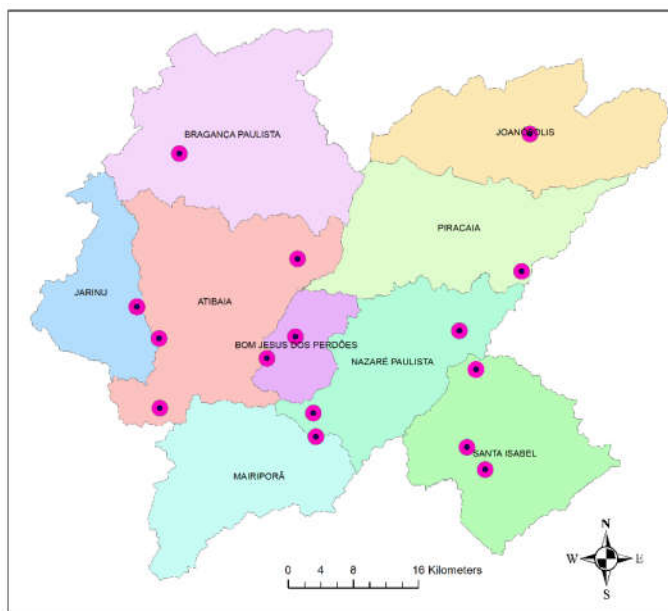


Figura 1: Detalhe dos municípios da área de estudo com a localização das paisagens

2. PROPRIEDADES DAS IMAGENS UTILIZADAS

Tabela 1: Propriedades das imagens utilizadas na digitalização dos usos e ocupações da terra (Res=resolução)

Ponto	Imagem	Descrição	Data	Res (M)	Acurácia (M)	Coordenadas (HEXÁGONO)	
						X	Y
1P9	DigitalGlobe	GE01	6/3/2015	0.46	10.2	-46.218050994	-23.092951997
2P2	DigitalGlobe	GE01	4/7/2014	0.46	10.2	-46.627127196	-22.958807819
4P3	DigitalGlobe	GE01	2/8/2015	0.46	10.2	-46.653990994	-23.163326
1P10	DigitalGlobe	WV02	20/08/2013	0.5	10.2	-46.206754993	-22.94085
3P1	DigitalGlobe	GE01	30/06/2015	0.46	10.2	-46.486778994	-23.076808997
3P3	DigitalGlobe	GE01	2/8/2015	0.46	10.2	-46.680128994	-23.128077998
3P6	DigitalGlobe	WV02	3/8/2015	0.5	4.23	-46.653975994	-23.240616998
2P4	DigitalGlobe	WV02	25/05/2015	0.5	10.2	-46.293415222	-23.158214157
4P4	DigitalGlobe	WV02	25/05/2015	0.5	10.2	-46.273920754	-23.201307944
2P8	DigitalGlobe	GE01	30/02/2015	0.46	10.2	-46.490272994	-23.163053998
1P7	DigitalGlobe	WV02	14/08/2015	0.5	4.23	-46.285545994	-23.287441998
1P5	DigitalGlobe	WV02	30/08/2015	0.5	4.23	-46.466823994	-23.274074997
2P7	DigitalGlobe	WV02	14/08/2015	0.5	4.23	-46.263843538	-23.312313428
2P5	DigitalGlobe	WV02	30/08/2015	0.5	4.23	-46.469698993	-23.247922998
1P8	DigitalGlobe	WV02	21/06/2015	0.5	10.2	-46.524696994	-23.186798998

3. CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

A correlação entre as variáveis explicativas foi de -0.7418344 , ($p\text{-value} = 0.001545$) considerando um intervalo de confiança de 95%. (Figura 4)

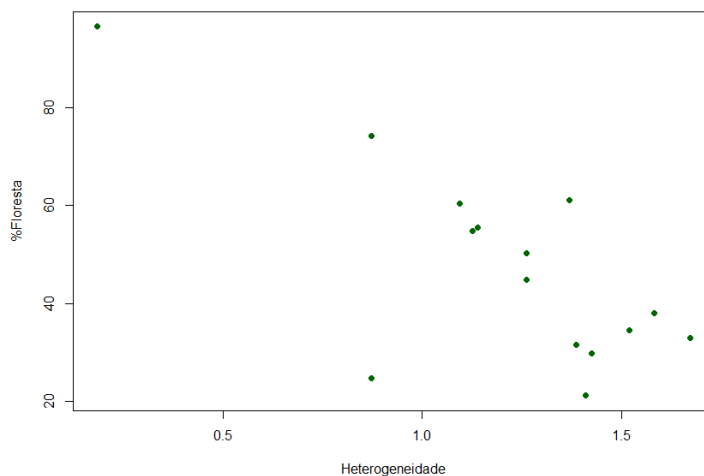


Figura 2: Correlação entre as variáveis explicativas, indicando correlação negativa entre a heterogeneidade e proporção de floresta

3.1 Análise de componentes principais na formação da variável eixo1 (todos os dados)

Gráfico ilustrativo da relação entre o eixo1 formado, pela junção entre as variáveis proporção de floresta e heterogeneidade, e cada uma dessas variáveis separadamente. A correlação Pearson's entre o eixo1 e a variável proporção de floresta foi -0.9366319 ($p\text{-value} < 2.2e-16$) e para a variável Heterogeneidade foi 0.9366319 , ($p\text{-value} < 2.2e-16$) ambos considerando o intervalo de 95% de confiança. (Figura 3).

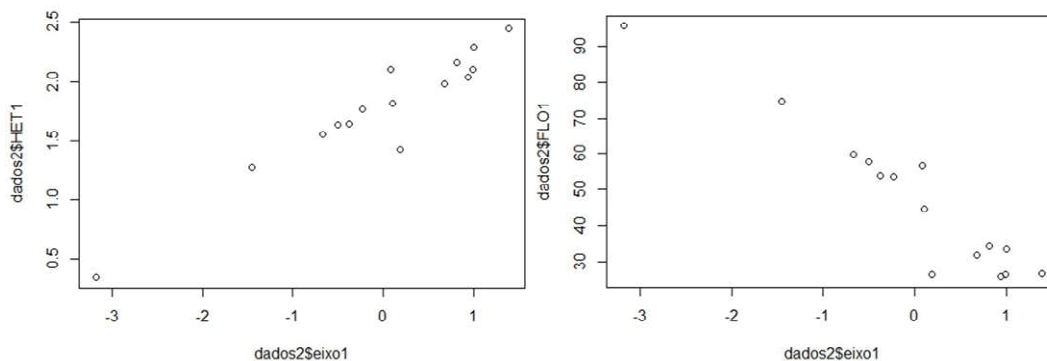


Figura 3: Análise da correlação entre o eixo e as variáveis da paisagem: Heterogeneidade a esquerda e proporção de floresta a direita.

4. GRÁFICOS ILUSTRATIVO DO GRADIENTE DE PROPORÇÃO DE FLORESTA E HETEROGENEIDADE NAS ÁREAS DE ESTUDO.

3. 2: Todas as paisagens estudadas.

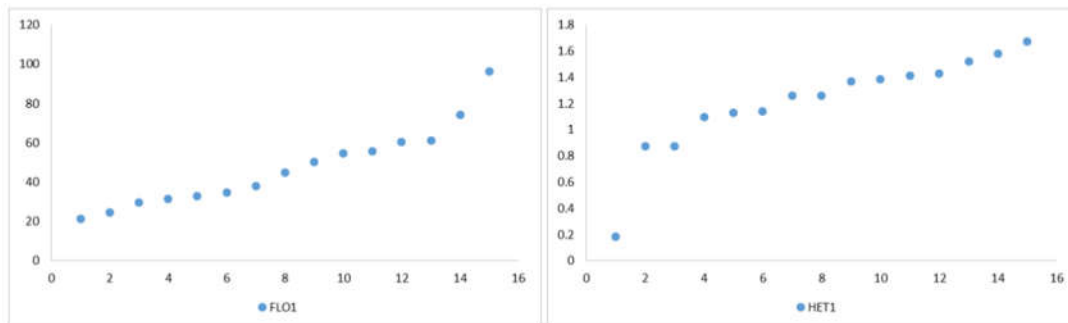


Figura 4 Gradientes de valores da diversidade *Shannon* da paisagem e (b) proporção de floresta em cada uma das 15 paisagens amostradas.

5. MÉTRICAS DA PAISAGEM

5.1 Shannon-Wiener da paisagem

O índice de diversidade da paisagem foi calculado por meio da extensão V_LATE do Arc gis. Os usos do solo foram agrupados em classes de acordo com suas semelhanças na funcionalidade para polinizadores (Tabela 2).

Tabela 2. Agrupamento e descrição das classes de paisagem de acordo com suas semelhanças funcionais para polinizadores

CLASSES	AGRUPAMENTO DE CLASSES	DESCRIÇÃO DA CLASSE
Água	1	Lagos, Corpos d'água
Floresta inicial	2	Floresta Inicial, mais homogênea na imagem, sem árvores testemunhas, que se sobressaem no dossel
Floresta intermediária		Floresta Intermediária, com a presença de árvores mais altas e testemunhas, as quais tornam a imagem mais rugosa
Floresta pioneira inicial	3	Processo inicial de sucessão ecológica, com árvores esparsas
Pasto não manejado		Pasto sujo, com espécies herbáceas e arbustivas na maioria das vezes
Agricultura anual	4	Cultivos coletados e replantados anualmente
Agricultura perene		Cultivos perenes
Silvicultura	5	Plantações de eucalipto e pinus, no caso das paisagens a grande maioria se refere a eucalipto.
Cerca viva		Área de vegetação linear delimitando espaços, ou jardins próximo as construções.
Solo exposto	6	Solo sem cobertura vegetal não pavimentado
Pasto		Áreas de pasto utilizadas para agropecuária

Área degradada		Áreas degradadas, como mineração, voçorocas etc..
Várzea	7	Área alagada
Várzea com vegetação herbácea-arbustiva		Área alagada com vegetação herbácea –arbustiva (brejos)
Vila rural	8	Condomínios com baixo adensamento de construções
Áreas urbanizadas		Cidades, áreas com impermeabilização do solo e alto adensamento de construções.
Estradas e rodovias		Estradas de terra ou pavimentadas

APÊNDICE A2 – RESULTADOS

Tabela 3: Descrição geral dos resultados em cada paisagem

Ponto	FLO1	Shannon	Flores	indiv	sp	m_tubovPonto	%Flor com pólen	% tub/ov>0.99
1P9	21.20048	1.411	119	13	5	1.85	94%	57%
2P2	24.76978	0.872	149	23	8	0.622690121	36%	22%
1P10	29.76062	1.426	137	30	14	1.8399	83%	64%
3P1	31.60953	1.387	48	7	4	1.5398	77%	46%
4P3	33.02538	1.674	84	22	4	2.8	83%	61%
3P6	34.62	1.52	58	10	3	0.3008	28%	16%
3P3	37.96515	1.582	31	3	2	1.0887	74%	35%
2P4	44.79872	1.261	52	12	4	0.21749	46%	6%
4P4	50.24579	1.261	72	11	5	4.48	69%	56%
2P8	54.81689	1.127	21	6	1	4.119047619	90%	71%
1P5	55.58281	1.14	35	6	2	2.81	100%	37%
2P7	60.34524	1.095	37	5	4	0.527	59%	24%
1P7	61.18475	1.37	39	9	2	0.0625	287%	3%
2P5	74.27047	0.872	29	8	6	20.9	59%	55%
1P8	96.50503	0.184	136	24	6	4.262104227	77%	46%

Tabela 4: Comparação entre todos os modelos testados para o efeito da paisagem representado pela variável eixo1 (quantidade de floresta e heterogeneidade da paisagem) e as variáveis respostas: carga de pólen (quantidade de pólen depositado); germinação do pólen (razão entre tubos germinados no terço superior do estilete e o número de grãos de pólen), sucesso na polinização (razão entre os tubos germinados até a base e o número de óvulo) e proporção de flores totalmente polinizadas (percentual de flores com razão tubo/óvulo >0,99 em cada planta).

Modelo	K	AIC	Δ AIC	wi	Família
CARGA DE PÓLEN/Nº de grãos de pólen					
• Carga de pólen (n=795)					
• Dados com a quantidade de flores					
eixo1 + Qt_flor +(1 Especie/Planta)	5	70535,33	0,0	0,49	Poisson
Eixo1+(1 Especie/Planta)	4	70534,28	1,1	0,29	
Null	3	70535,79	1,5	0,23	
• Com todos os dados (n=1030) com os zeros					
Eixo1	5	7914,623	0,0	0,86	Binominal negativa
Nulo	4	7918,281	3,7	0,14	
• Apenas com as flores receberam ao menos 1 grão de pólen (n=700) (sem os zeros)					
eixo1 + Qt_flor +(1 Especie/Planta) (n=518)	6	5251,314	1,5	0,30	Binomial negativa
Eixo1+(1 Especie/Planta)	5	5249,806	0,0	0,65	
Null	4	5255,495	5,7	0,03	
eixo1	5	6839,055	0,0	0,98	Binomial negativa
Null	4	6847,635	8,6	0,01	
GERMINAÇÃO/ (Tubos_sup /nº de polen*100)					
• Dados com a quantidade de flores n=533					
eixo1 + Qt_flor +(1 Especie/Planta)	6	3285,445	3,5	0,08	Binomial negativa
Qt_flor +(1 Especie/Planta)	5	3283,600	1,7	5 0,216	
Eixo1+(1 Especie/Planta)	5	3283,766	1,8	5 0,199	
Null	4	3281,918	0,0	0,500	
• Todos os dados com quantidade de pólen (n=1030)					
eixo1	5	4602,909	0,0	0,54	Binomial negativa
Null	3	4603,220	0,3	0,46	
SUCESSO NA POLINIZAÇÃO/ total de flores com razão tub/ov>0,5)*10					
• Sucesso na polinização / apenas dados com quantidade de flores registradas (n=807)					
eixo1 + Qt_flor +(1 Especie/Planta)	6	4439,273	0,8	0,26	Binominal negativa
Eixo1+(1 Especie/Planta)	5	4438,630	0,1	0,36	
Null	4	4438,499	0,0	0,38	
• Sucesso na polinização / todos os dados (1047) com zeros					
Eixo1+(1 Especie/Planta)	5	6060,048	0,7	0,59	Binominal negativa
Null	4	6059,350	0,0	0,41	
• Sucesso na polinização / dados com as flores que germinaram ao menos 1 tubo incluindo apenas as com quantidade de flores registradas (n=362) sem zeros					
eixo1 + Qt_flor +(1 Especie/Planta)	6	3388,060	2,0	0,56	Binominal negativa
eixo1 +(1 Especie/Planta)	5	3386,089	0,0	0,21	
Null	4	3387,868	1,8	0,23	

<ul style="list-style-type: none"> Sucesso na polinização/ dados com o total de flores nas quais germinaram ao menos 1 tubo (n=525) sem zero 					
Eixo1+(1 Especie/Planta)	5	4617,978	0,0	0,981	Binominal negativa
Null	4	4625,900	7,9	0,019	
PROPORÇÃO DE FLORES TOTALMENTE POLINIZADAS					
<ul style="list-style-type: none"> Prop de flores totalmente polinizadas (n=188) 					
var,suc~eixo1+ Qt_flor +(1 Especie/Planta)	5	411,1559	0,0	0,450	Binomial
Qt_flor +(1 Especie/Planta)	4	411,1220	0,0	0,457	
eixo1+ (1 Especie/Planta)	3	415,7967	4,7	0,049	
Null	2	415,5898	4,5	0,044	
var,suc~eixo1+(1 Especie/Planta) (n=188)	4	683,1685	0,0	0,7	Binomial
Null	3	681,4430	1,7	0,3	
Null	1	80,05158	5,6	0,058	

TABELA DE VALORES MÉDIOS DA POLINIZAÇÃO ENCONTRADOS PARA CADA ESPÉCIE

Tabela 5: Espécies analisadas, número de flores e indivíduos e valores de polinização. NI (não identificado)

Paisagem	Família	Espécies/Morfotipos	Nº indivíduos	Nº de flores	Habito	Recurso	Óvulos	Med/pólen	Méd/Germinação	Méd/Tubo/óvulo
2P4	Asteraceae	Asteraceae1	1	3	herbáceo	pólen/néctar	1	7.74	1.66	1.66
1P10	Asteraceae	Asteraceae2	1	5	herbáceo	pólen/néctar	4	13,08	3,46	0
4P4; 1P8	Commelinaceae	<i>Dichorisandra thyrsiflora</i>	7	20	herbáceo	pólen/néctar	12	43,5	9,8	0,75
2P2;4P4; 1P8	Heliconiaceae	Heliconiaceae1	10	76	herbáceo	pólen/néctar	3	2,18	1	0
4P4	Acanthaceae	<i>Justicia carnea</i>	1	7	herbáceo	pólen/néctar	4	0	0	0
1P10	Malvaceae	Malvaceae1	1	4	arbustiva	pólen/néctar	5	10,5	6	0,5
2P5	Melastomataceae	Melastomataceae1	1	1	herbáceo	pólen	1044	0	0	0
1P10	Melastomataceae	Melastomataceae2	1	1	herbáceo	pólen	324	0	0	0
3P3	Melastomataceae	Melastomataceae3	1	5	herbáceo	pólen	64	5	2	0
1P10	Melastomataceae	Melastomataceae4	1	5	herbáceo	pólen	840	0	0	0
4P4;4P3	Melastomataceae	Melastomataceae5	2	17	herbáceo	pólen	150	85,3	60,2	0,21
2P4	Orchidaceae	<i>Galeandra beyrichii</i>	4	20	herbácea	nenhum	1008	0	0	0
3P6	Orchidaceae	<i>Mesadenella cuspidata</i>	1	5	herbáceo	néctar	2250	634	634	0,28
2P2	Orchidaceae	Orquidaceae1	3	12	herbáceo	pólen	940	0	0	0
2P2	Commelinaceae	Commelinaceae1	6	51	herbáceo	pólen/néctar	2010	1666	1333	0,66

1P5;1P7;2P8;2P5;4P4	Rubiaceae	<i>Palicourea marcgravi</i>	18	93	arbustivo	pólen/néctar	2	80	20	5,2
4P3;1P9	Rubiaceae	<i>Psychotria_sp1</i>	21	56	arbustiva	pólen/néctar	2	38,6	10,52	3,8
1P8; 3P6	Rubiaceae	<i>Psychotria ruellifolia</i>	6	45	arbustiva	pólen/néctar	2	1,4	0,65	0,36
1P7;2P7;1P8;4P3;2P4	Rubiaceae	<i>Psychotria suterella</i>	17	99	arbustiva	pólen/néctar	2	26,9	3,56	1,71
1P10	Rosaceae	<i>Rubus rosifolius</i>	4	12	herbáceo	pólen/néctar	1	6,45	4,8	0,90
2P5; 1P8;1P10	Verbenaceae	Lantana1	7	58	arbustiva	pólen/néctar	2	132,36	56	25,5
1P9	Myrtaceae	Myrtaceae1	5	76	arbóreo	pólen/néctar	38	316	91	1,9
1P9	Myrtaceae	Myrtaceae2	4	13	arbóreo	pólen/néctar	755	3,14	93,3	0,06
1P9	Myrtaceae	Myrtaceae3	1	25	arbóreo	pólen/néctar	2	28	6,34	2,98
3P1	Rubiaceae	Rubiaceae1	1	1	trepadeira	pólen/néctar	2	348	58	35
2P7;3P1	Malvaceae	Malvaceae2	3	21	arbustiva	pólen/néctar	6	76,5	10,8	1,3
1P10	Lamiaceae	Lamiaceae1	3	11	herbácea	pólen/néctar	1	14,7	8,1	6,4
1P10	Lamiaceae	Lamiaceae2	1	18	herbácea	pólen/néctar	4	2,8	2,8	0,88
3P6	Commelinaceae	Commelinaceae2	4	17	herbácea	pólen/néctar	4200	14	14	0,04
2P4; 1P10	Malvaceae	Malvaceae3	12	42	herbácea	pólen/néctar	7	21,4	9,1	1,1
3P3	NI	sp1	2	25	herbácea	pólen/néctar	8	11,7	1,2	1,2
1P8	Rubiaceae	Rubiaceae2	1	6	herbáceo	pólen/néctar	2	6,6	0	0
2P2	Rubiaceae	Rubiaceae3	5	32	arbustiva	pólen/néctar	2	2,6	0,58	0,37
2P2	Acanthaceae	Acanthaceae1	3	8	herbácea	pólen/néctar	4	0,6	0,75	0,15
2P5	Ochnaceae	Ochnaceae1	1	9	NI	NI	5	1,2	1	0,2

2P5	Rubiaceae	Rubiaceae4	1	2	herbácea	pólen/néctar	2	0	0	0
1P10	Malvaceae	Malvaceae4	4	13	herbácea	pólen/néctar	12	3,6	3,5	0,31
2P2;3P1	Rubiaceae	Rubiaceae5	2	14	arbustiva	pólen/néctar	5	28	8,9	1,7
2P2	Malvaceae	Malvaceae3	2	5	arbustiva	pólen/néctar	5	45,8	14,25	2,04
1P10	Fabaceae	Fabaceae1	2	4	herbácea	pólen/néctar	6	2	0,25	0,004
1P10	Rubiaceae	Psychotria_sp2	1	2	herbácea	pólen/néctar	10	82	40	2,9
1P10	Verbenaceae	Verbenaceae1	3	38	herbácea	pólen/néctar	2	5,7	3,6	1,5
2P7;3P1;4P3	Marantaceae	Marantaceae1	5	42	herbácea	pólen/néctar	3	1,73	0,29	0,14
2P2	Marantaceae	Marantaceae2	3	22	herbácea	pólen/néctar	3	1,7	1,7	0,57
1P9	Rubiaceae	Rubiaceae5	1	2	arbustiva	pólen/néctar	2	39,5	0	0
1P5;1P10	Campanulaceae	Campanulaceae1	1	5	herbácea	pólen/néctar	2	6,8	6,4	2,2

ANÁLISE QUALITATIVA DA PAISAGEM

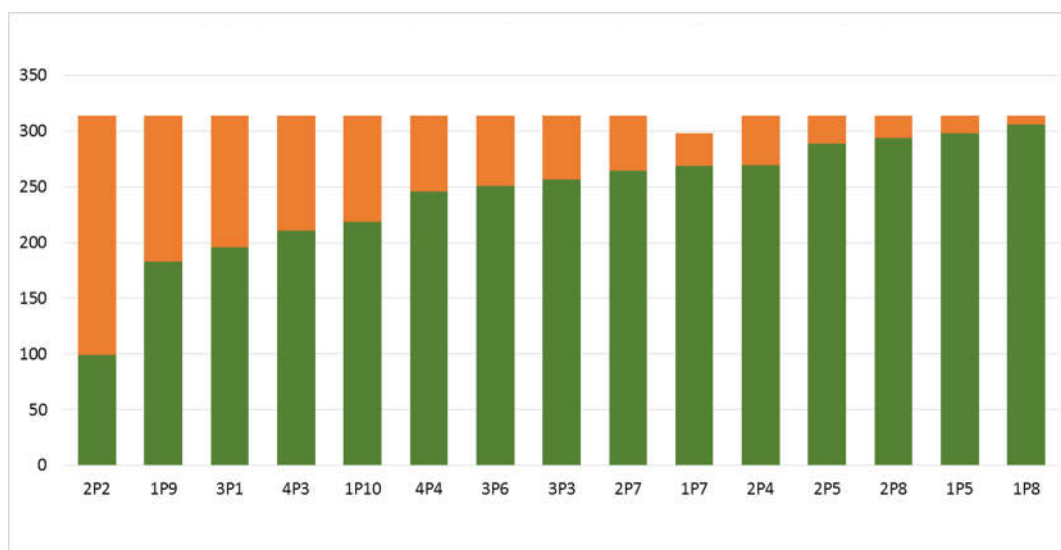


Figura 5: Quantidade de área ocupada com usos que proporcionam algum tipo de recurso ou condições para polinizadores (área verde). As paisagens estão ordenadas conforme o gradiente de proporção de cobertura vegetal. A menor área na paisagem 1P7 corresponde a região coberta por nuvem.



Foto: R.G.S. Soares



Foto: R.G.S. Soares

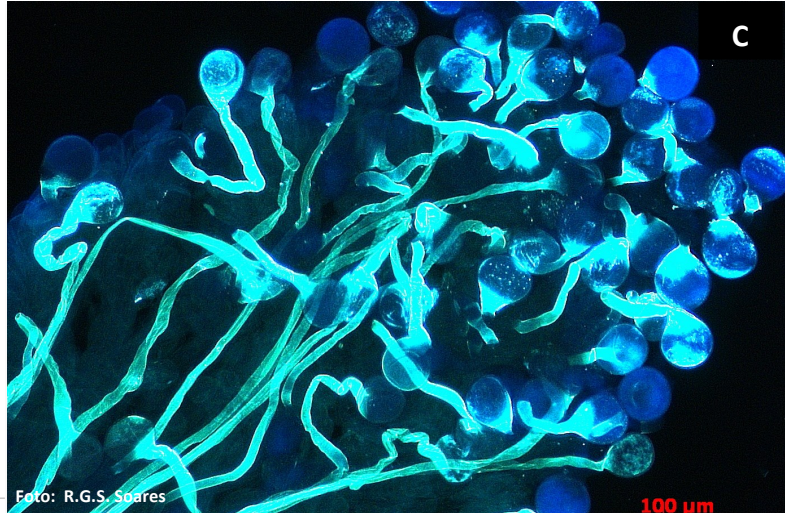


Foto: R.G.S. Soares

Espécie:
Palicourea marcgravii
A: Flor; B: Polinização; C: grãos de pólen germinados e tubos



Espécie:
Psychotria suterella
A: Flor; B tubos na base do estilete; C: tubos na região superior do estilete; D: grãos de pólen germinados

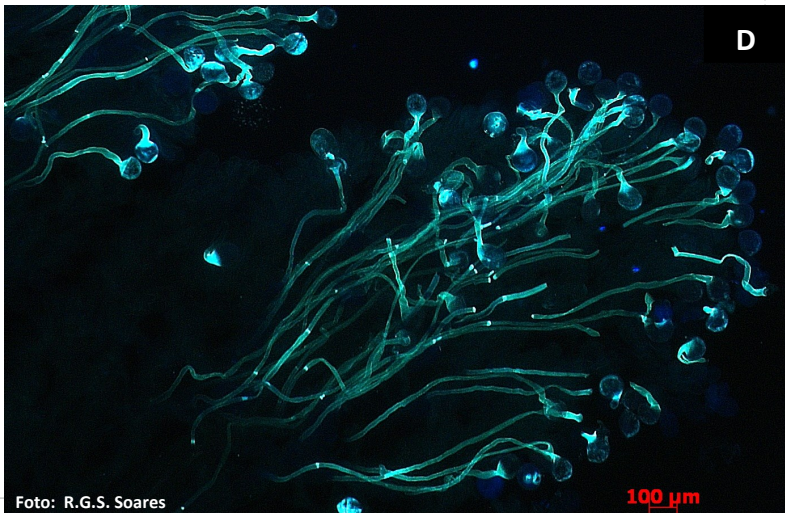
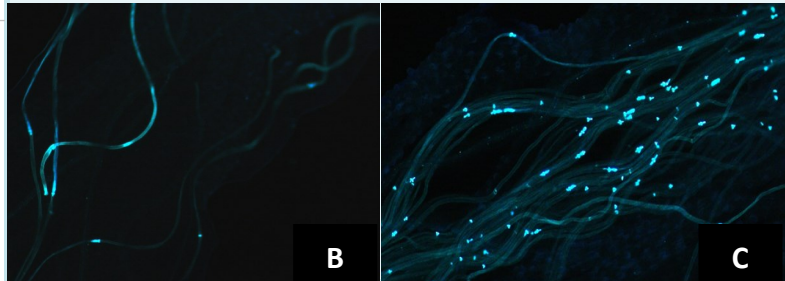
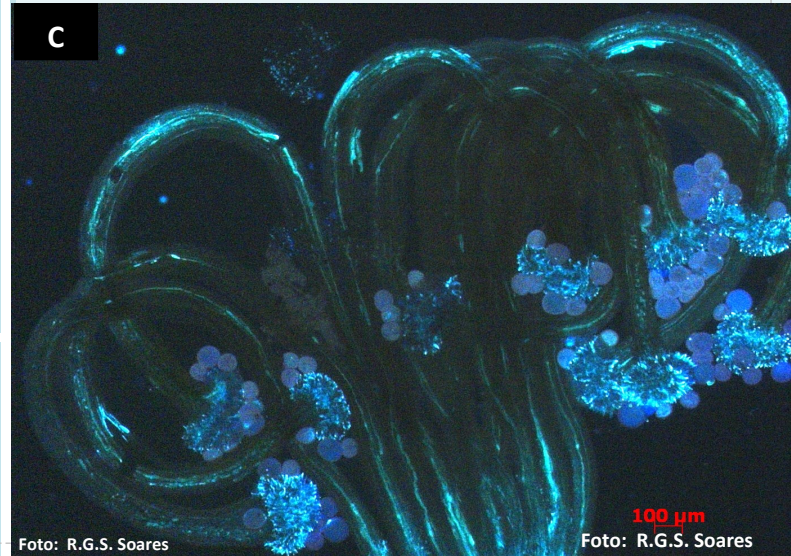
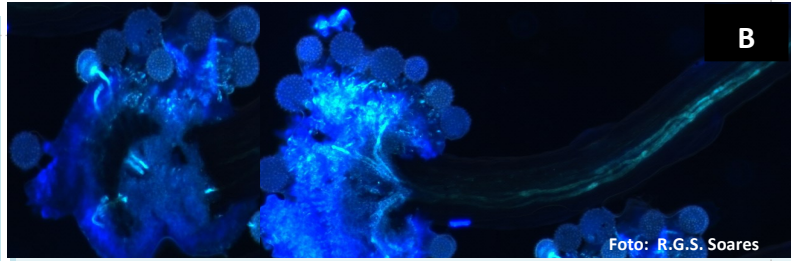


Foto: R.G.S. Soares



Família
Malvaceae

A: Flor; **B:** Detalhe do pólen;
C: grãos de pólen germinados e tubos



Família
Melastomataceae

A: Flor; **B:** tubos na base do estilete; **C:** tubos na região superior do estilete; **D:** grãos de pólen germinados

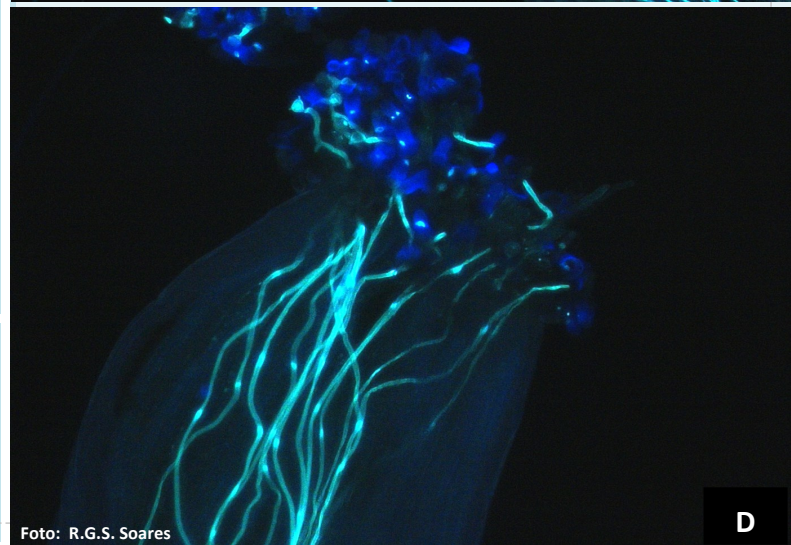
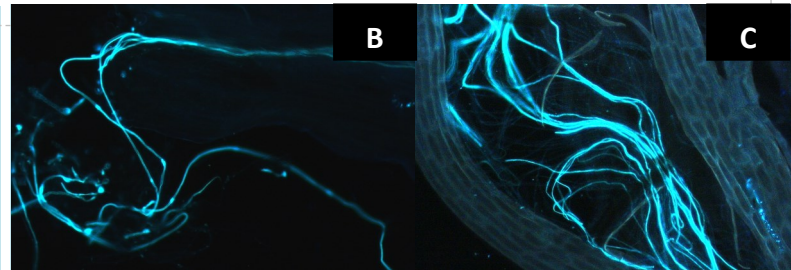




Foto: Juliana Takata

Espécie:

Rubus rosifolius

A: Flor; **B:** grãos de pólen germinados e tubos

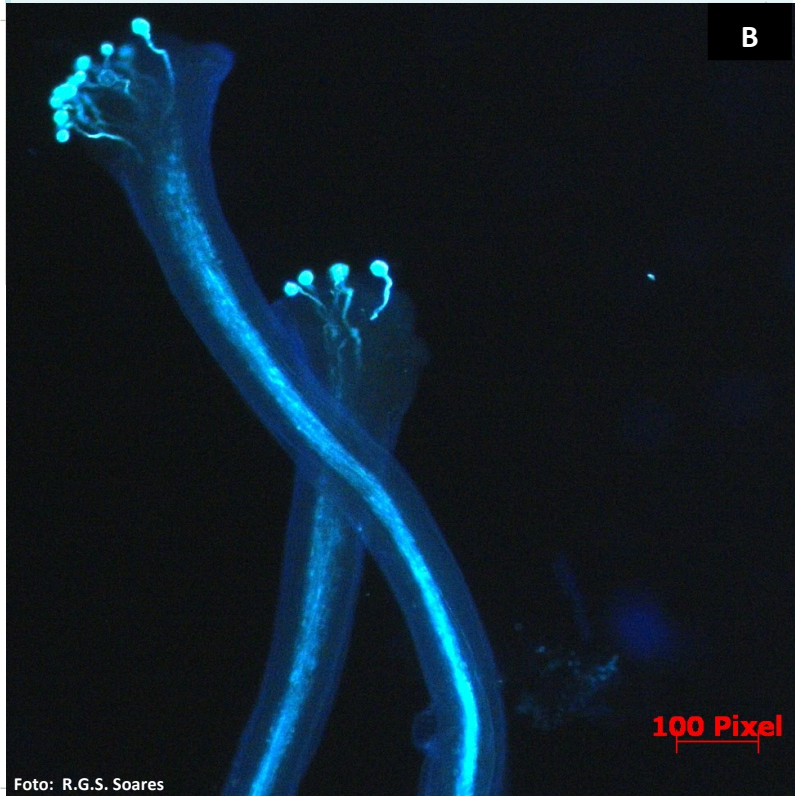


Foto: R.G.S. Soares



Foto: Juliana Takata

Espécie:

Dichorisandra thysiflora

A: Flor; e folhas **B** tubos na parte superior e na base do

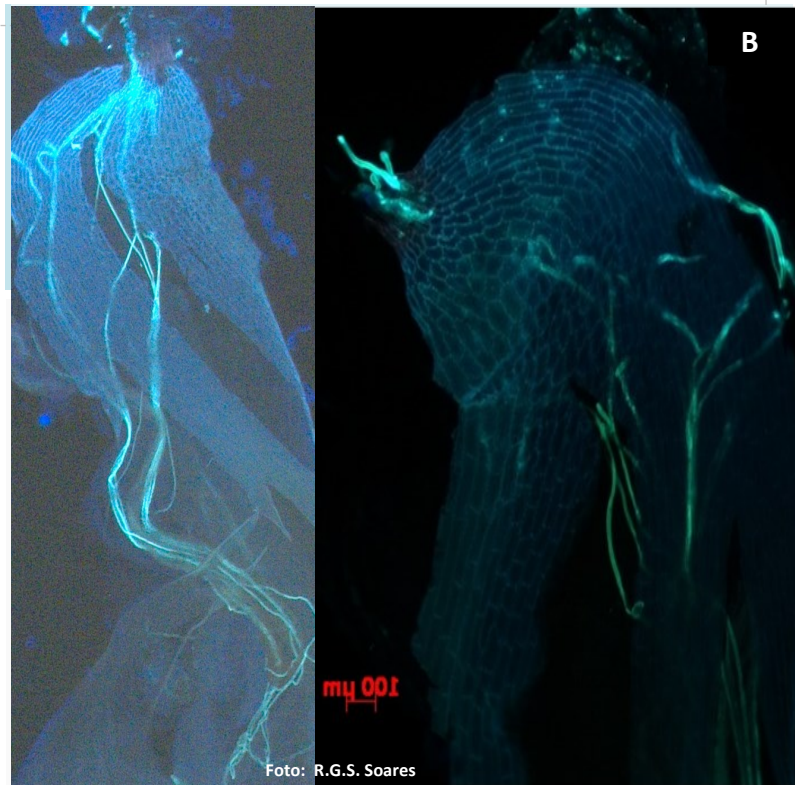


Foto: R.G.S. Soares