



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA
BIODIVERSIDADE**

**Qual a influência das alterações antrópicas sobre as interações
formiga-diásporo em florestas?**

Orientadora/e-mail: Eliana Cazetta. E-mail: eliana.cazetta@gmail.com

Nome da candidata/e-mail: Ketlen Bona Bezerra da Costa. E-mail:
bonaketlen@gmail.com

Nível/ano de ingresso: Doutorado/2019.2

Ilhéus, 29/07/2020

RESUMO

A perda de habitat original devido à pressão antrópica tem promovido grandes perdas da biodiversidade em florestas do mundo todo. Como consequência, interações ecológicas que sustentam a estabilidade de funções essenciais para a manutenção de ecossistemas terrestres, como a interação formiga-diásporo, podem ser modificadas ou perdidas. O estudo das interações através de métricas de rede tem desvendado diversos pontos cruciais para a compreensão de como as interações ecológicas estão estruturadas. No entanto, poucos esforços são voltados para entender como as redes de interação entre formigas e diásporos podem ser influenciadas por alterações antrópicas. Aqui, pretendemos revelar como as assembleias de formigas removedoras e suas interações com diásporos em florestas são influenciadas por alterações antrópicas. Para isso, utilizaremos uma abordagem meta-analítica para verificar a influência de diferentes tipos de alterações antrópicas nas interações formiga-diásporo e, posteriormente, realizaremos um experimento em 20 sítios florestais ao longo de um gradiente de perda de cobertura florestal na Mata Atlântica do sul da Bahia. As informações que encontraremos nesse estudo ajudarão a desvendar como interações que envolvem a regeneração de florestas são moldadas pela antropização. Além disso, podem fornecer *insights* para estudos acerca da dispersão secundária de sementes na Mata Atlântica, uma vez que dispersores primários estão cada vez mais sendo perdidos.

INTRODUÇÃO

As alterações no uso da terra e o desmatamento de grandes áreas florestais têm impulsionado a perda de biodiversidade nos ecossistemas terrestres de todo o mundo (Haddad et al. 2015; Decaëns et al. 2018; Rodríguez-Echeverry et al. 2018). Evidências empíricas apontam que alterações antrópicas reduzem a complexidade de florestas remanescentes, induzindo a diminuição local de atributos estruturais fundamentais para as espécies (*e.g.*, diversidade de plantas, disponibilidade de recursos, variabilidade de nicho) (Mishra et al. 2004; Liira et al. 2007; Rocha-Santos et al. 2016). Além disso, alteram condições abióticas (*e.g.*, luminosidade, temperatura) de florestas (Haddad et al. 2015 e lista de referências), o que diminui a presença de espécies mais sensíveis a modificações ambientais. Esses fatores contribuem para a perda tanto de espécies quanto de características funcionais importantes nos ecossistemas. Exemplo disso é a perda de diversidade funcional de plantas mediante o aumento do desmatamento em paisagens (Rocha-Santos et al. 2019), o que pode contribuir para a redução de produção, biomassa e qualidade nutricional de frutos nesses locais (Pessoa et al. 2016, 2017). Em consequência, os poucos frutos existentes em áreas desmatadas são nutricionalmente mais pobres (Pessoa et al. 2016), diminuindo a circulação de agentes dispersores devido à falta de atratividade. Tudo isso compromete a estabilidade dos ecossistemas, uma vez que a perda de espécies reflete na perda de funções essenciais para sua manutenção e funcionamento (Symstad et al. 2006; Naeem et al. 2009).

As interações ecológicas apresentam papel chave nos ecossistemas, sendo as interações animal-plantas uma das mais importantes para a conservação de processos ecológicos essenciais em florestas (Bascompte and Jordano 2007). Exemplo disso, são as interações entre plantas que produzem frutos e animais dispersores. Nessa interação, as plantas se beneficiam mediante redução da competição com o afastamento dos diásporos (*i.e.*, unidade de dispersão; Van der Pijl 1982) da planta mãe e os animais obtêm energia pelo consumo da polpa ou arilo (*i.e.*, parte carnosa) que recobre as sementes (Van der Pijl 1982; Howe and Smallwood 1982). No entanto, as alterações antrópicas apresentam forte efeito de redução dos animais que dispersam as sementes, como aves e mamíferos (Fontúrbel et al. 2015; Bomfim et al. 2018). Além disso, os distúrbios induzidos pelas modificações no uso do solo podem acarretar interações antagonistas, como predação de diásporos, uma vez que há aumento de espécies generalistas e/ou invasoras nos ambientes perturbados (Mack and D'Antonio 1998; Leal et al. 2012).

As formigas participam de diversas funções ecológicas e são apontadas como o principal grupo animal responsável pela redistribuição de recursos em florestas (Griffiths et al. 2018). Entre esses recursos, estão os diásporos caídos no solo de florestas após manuseio ou não de dispersores primários (*e.g.*, aves), as quais são consideradas importantes dispersoras secundárias (Rico-Gray and Oliveira 2007; Christianini and Oliveira 2009). Essas interações entre formigas e diásporos, que envolvem a dispersão (mutualismo) ou a predação de sementes (antagonismo), apresentam grande importância para a dinâmica populacional das espécies de plantas, sendo consideradas funções-chave nos ecossistemas terrestres (Arnan et al. 2012; Leal et al. 2015). Devido à ampla distribuição e diversidade, à sensibilidade a alterações e funções essenciais desempenhadas, as formigas são utilizadas como modelo animal para estudos que envolvem o

monitoramento de ambientes degradados (Del Toro et al. 2012; Tiede et al. 2017). Contudo, poucos esforços têm sido direcionados para a compreensão de como as diferentes interações entre formigas e diásporos são estruturadas mediante abordagem em redes de interação (mas veja Anjos et al. 2018, 2019) e como essas interações são moldadas por alterações antrópicas (mas veja Leal et al. 2014).

Nesse contexto, o objetivo desse estudo é avaliar a influência das alterações antrópicas locais e na paisagem sobre as interações entre assembleias de formigas removedoras e diásporos em florestas. Especificamente, pretendemos responder as seguintes perguntas: i) Qual a influência de diferentes tipos de alterações antrópicas sobre as assembleias de formigas removedoras e a remoção de diásporos? ii) Qual a influência da perda de cobertura florestal em escala de paisagem e estrutura da floresta em escala local nas assembleias de formigas removedoras de diásporos da Mata Atlântica e no tipo de interação formiga-diásporo? iii) Como a perda de cobertura florestal afeta a estrutura das redes de interação formiga-diásporo na Mata Atlântica?

OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar a influência das alterações antrópicas sobre as interações formiga-diásporo em florestas. Especificamente, esse projeto será dividido em três partes relacionadas com os seguintes objetivos específicos:

Capítulo 1

Objetivos específicos:

- Avaliar, mediante abordagem meta-analítica, a influência de diferentes tipos de alterações antrópicas sobre a riqueza de formigas removedoras de diásporos;
- Avaliar a influência de alterações antrópicas sobre a remoção de diásporos por formigas;
- Avaliar se as alterações antrópicas promovem o aumento da riqueza de formigas removedoras de diásporos que ocorrem, preferencialmente, em ambientes abertos (*i.e.*, especialistas de savana).

Hipóteses:

Nesse capítulo testaremos as seguintes hipóteses: alterações antrópicas i) reduzem a riqueza de espécies de formigas removedoras de diásporos e ii) os eventos de remoção de diásporos por formigas; iii) impulsionam o aumento da riqueza de formigas removedoras de diásporos generalistas e especialistas de savana.

Capítulo 2

Objetivos específicos:

- Avaliar como a cobertura florestal em escala de paisagem afeta a complexidade local de florestas na Mata Atlântica e se essas alterações interferem na estrutura das assembleias de formigas removedoras de diásporos e na remoção dos mesmos;
- Avaliar como a perda de cobertura florestal influencia o tipo de interação (*i.e.*, predação e remoção) formiga-diásporo;
- Avaliar se a perda de cobertura florestal induz o aumento do número de espécies de formigas removedoras de diásporos generalistas e especialistas de savana.

Hipóteses:

Neste capítulo testaremos as seguintes hipóteses: a perda de cobertura florestal i) reduz a complexidade local, e isso, por sua vez contribui para as alterações na estrutura das assembleias de formigas removedoras de diásporos e eventos de remoção; ii) reduz a riqueza e a similaridade da composição de espécies de formigas removedoras de diásporos quando comparada com paisagens com maior cobertura florestal; iii) reduz os eventos de remoção de diásporos por formigas e, em contrapartida, aumenta os eventos de predação; iv) reduz o número de espécies de formigas removedoras de diásporos especialistas de floresta e aumenta e induz o aumento de generalistas e especialistas de savana.

Capítulo 3

Objetivos específicos:

- Avaliar como a perda de cobertura florestal afeta a estrutura das redes de interação formiga-diásporo.
- Avaliar como a qualidade nutricional dos diásporos influencia as interações entre formigas-diásporos

Hipóteses:

Neste capítulo propomos três modelos teóricos (Figura 1) para avaliar as interações entre formigas e diásporos em um gradiente de cobertura florestal da paisagem. Em todos os modelos consideramos que os diásporos ricos são um fator limitante em florestas da Mata Atlântica, sendo o recurso mais procurado nos cenários **I** e **II**. Nos modelos, também consideramos que a riqueza de formigas removedoras diminui conforme a quantidade de floresta na paisagem diminui. Desta forma, nós prevemos que à medida que a porcentagem de cobertura florestal diminui: **I**. a disponibilidade de diásporos ricos diminua e de diásporos pobres permaneça constante. Isso levará ao maior número de interações com diásporos ricos em relação a diásporos pobres, uma vez que esse recurso é escasso nos ambientes mais desmatados, mas ausência de diferença ao longo do gradiente de cobertura florestal. Por outro lado, haverá diminuição de interações entre formigas e diásporos pobres, uma vez que a riqueza de formigas é reduzida com a diminuição de cobertura florestal na paisagem; **II**. a disponibilidade de diásporos ricos diminua e de diásporos pobres aumente. Isso induzirá um maior número de interações com diásporos ricos em relação a diásporos pobres, entretanto essa relação será neutra em ambos os tipos de diásporos ao longo do gradiente de desmatamento; e **III**. respostas nulas de riqueza de espécies de formigas removedoras e disponibilidade de recursos ricos e pobres à redução da cobertura florestal não afetarão o número de interações formiga-diásporo.

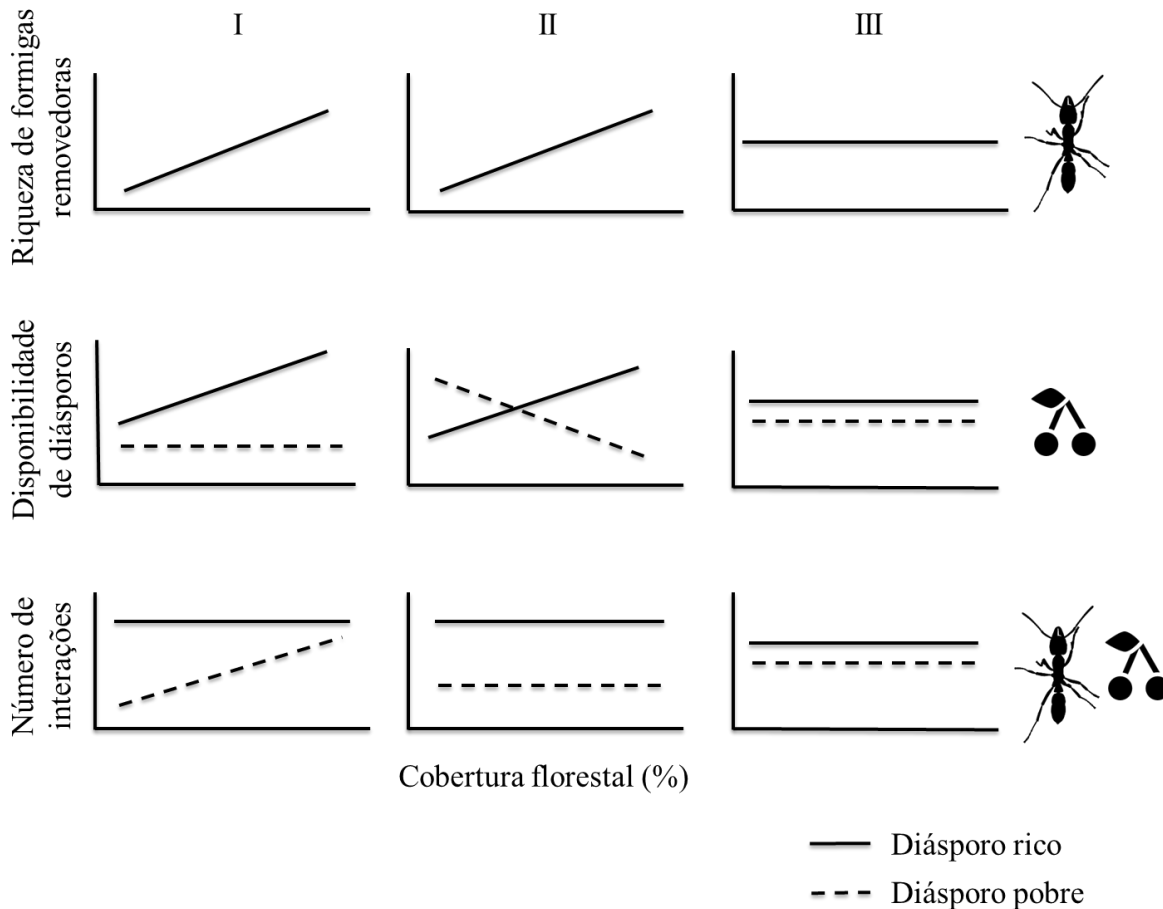


Figura 1. Modelos teóricos considerando a riqueza de formigas removedoras, a disponibilidade de diásporos e o número de interações formiga-diásporo ao longo de um gradiente de cobertura florestal na paisagem. Nos cenários **I** e **II**, a riqueza de formigas removedoras de diásporos mantém relação positiva com a cobertura florestal na paisagem.

METODOLOGIA

Capítulo 1

Realizaremos uma revisão sistemática de literatura em nível global por estudos que investigaram a relação entre qualquer tipo de distúrbio antrópico e a diversidade de formigas que removem diásporos e remoção de diásporos pelas formigas. Nossas pesquisas serão realizadas nas bases de dados SCOPUS (www.scopus.com), Web of Science (www.webofknowledge.com) e, também, Google Scholar (<https://scholar.google.com.br>) para complementar nosso conjunto de dados com uma pesquisa mais ampla para incluir também estudos da literatura cinza (e.g., teses e dissertações).

Usaremos as seguintes palavras-chave para filtrar referências no título, resumo e palavras-chave dos estudos: “ant diaspore” OR “ant fruit interaction” OR “ant removal” AND fragment* OR “patch size” OR “habitat loss” OR “land-use change” OR “degradation” OR “alteration” OR “disturbance” OR “perturbation” OR “forest loss” OR “deforestation” OR “edge effects” OR “edge influence” OR “urban” OR “agriculture” OR “mineration” OR “mining” OR “dam” OR “fire disturbance”. Posteriormente, realizaremos um processo de triagem dos estudos mediante critérios de inclusão e exclusão

pré-estabelecidos.

Capítulos 2 e 3

Área de estudo

Este estudo será realizado na Mata Atlântica do sul do Estado da Bahia ($15^{\circ}0' - 16^{\circ}0'S$ e $39^{\circ}0' - 39^{\circ}30'O$), em paisagens que apresentam diferentes tipos de usos da terra (e.g., pastagens, agroflorestas de *Theobroma cacao*, monoculturas de *Eucalyptus* sp.) e, conseqüentemente, diferentes proporções de cobertura florestal. Essa região da Mata Atlântica é considerada a segunda região mais preservada dentro do bioma, a qual possui grandes fragmentos florestais (Ribeiro et al. 2009), com florestas maduras e similares tipos de solo, topografia e composição florística (Mori et al. 1983). A região apresenta temperatura média anual de $24^{\circ}C$ e precipitação média anual de ~ 2.000 mm, com menos eventos de chuvas entre os meses de dezembro a março (Mori et al. 1983).

Serão utilizados 20 fragmentos florestais que contemplam estudos da Rede SISBIOTA, os quais apresentam gradiente de cobertura florestal devido alterações antrópicas na paisagem.

Amostragem de formigas removedoras de diásporos

Em cada fragmento florestal, estabeleceremos um transecto de 300 m, com 10 pontos amostrais, distantes 30 m entre si (Figura 2). Neste estudo, faremos uso de diásporos artificiais, tendo em vista a necessidade de grande quantidade de diásporos durante o período de execução do experimento. O uso de modelos artificiais é recomendado, uma vez que a quantidade, tamanho e maturação variável e período de frutificação pode inviabilizar o uso de diásporos naturais (Bieber et al. 2014; Angotti et al. 2018). Para este estudo, confeccionaremos dois tipos diásporos artificiais, diásporos com alta e baixa concentração de lipídeos (i.e., ricos e pobres, respectivamente). O lipídeo presente em diásporos é um dos principais componentes químicos atrativos para agentes dispersores (Santana et al. 2013; Bello et al. 2017). Assim, mimetizaremos diásporos ricos e pobres substituindo a parte sólida do diásporo por miçangas com tamanho de ~ 3 mm e peso de $\sim 0,05$ g, as quais serão anexadas a uma massa similar à parte carnosa de diásporos naturais (veja Raimundo et al. 2004; Rabello 2014; Bieber et al. 2014) que apresentarão diferentes concentrações de lipídeo.

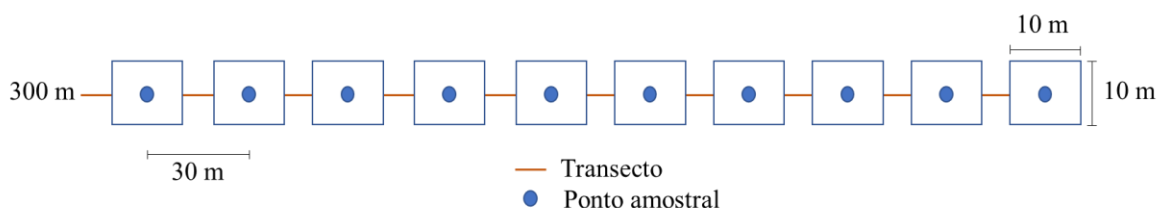


Figura 2. Disposição dos pontos para a amostragem de formigas removedoras e medições de variáveis de complexidade local no centroide de cada um dos 20 sítios de coleta com diferentes porcentagens de cobertura florestal na Mata Atlântica do sul da Bahia.

Disponibilizaremos 60 diásporos artificiais (i.e., 30 diásporos ricos e 30 diásporos pobres) em cada ponto amostral, totalizando 600 diásporos por fragmento. Observaremos cada ponto por 30 minutos, totalizando cinco horas de experimento em cada fragmento

(*i.e.*, início 9:00 h e término 14:00 h). Coletaremos todas as formigas que interagirem com os diásporos e registraremos todas as interações de remoção ou predação de diásporos. Aqui, consideraremos um evento de remoção quando a formiga transportar o diásporo por distância igual ou superior a 30 cm do local de origem (Christianini and Oliveira 2010). Por outro lado, consideraremos um evento de predação quando a formiga retirar o conteúdo lipídico do diásporo artificial no local, uma vez que isso acaba refletindo em um trapaceio no mutualismo (Leal 2010). Registraremos todos os diásporos removidos e/ou predados por formigas para posterior cálculo da porcentagem de ambos os tipos de interação. Armazenaremos as formigas coletadas em recipientes devidamente identificados quanto ao tipo de interação (*i.e.*, remoção ou predação) e tipo do diásporo (*i.e.*, rico ou pobre), contendo solução de álcool 92% para posterior montagem e identificação em laboratório. As coletas serão realizadas no fim do período chuvoso, uma vez que esse é o melhor período para amostragens de formigas (Rabello et al. 2015).

Após montagem das formigas coletadas, identificaremos as formigas em menor nível taxonômico possível, com o auxílio de chaves taxonômicas presentes em Baccaro et al. (2015), consultas a taxonomistas e com base em comparações com os exemplares da coleção mirmecológica do Laboratório de Mirmecologia da Universidade Estadual de Santa Cruz.

Cobertura florestal na paisagem

A partir do ponto central de cada fragmento florestal será estabelecido um buffer de 500 m, o qual é relatado como o tamanho da área em que as comunidades de formigas respondem às paisagens (Spiesman and Cumming 2008). Esse tamanho se deve à dispersão por voo de formigas adultas em reprodução (Hölldobler and Wilson 1990). Além disso, para verificar se nossos resultados respondem de acordo com o relatado em estudos de paisagens com formigas (veja Ahuatzin et al. 2019; Corro et al. 2019), faremos complementarmente uma análise de efeito com diferentes tamanhos de raio (*i.e.*, 100 a 1000 m). As amostragens serão realizadas no centroide de cada paisagem.

Para quantificar a porcentagem de cobertura florestal de cada paisagem, analisaremos imagens de satélites RapidEye de 2009 a 2010, QuickBird e World View de 2009 a 2011 (Rocha-Santos et al. 2019; Morante-Filho et al. 2015), as quais serão confirmadas a partir de imagens mais recentes. Assim, calcularemos o percentual de habitat florestal disponível em relação à área total de cada paisagem (*i.e.*, 785.000 m²) usando o software ArcGIS.

Complexidade local dos sítios amostrais

Em cada ponto amostral, estabeleceremos uma parcela de 10×10 m (100 m²; Figura 2) para as medições de variáveis da estrutura horizontal e vertical da vegetação e número de espécies arbóreas (Tabela 1).

Tabela 1. Descritores da complexidade local que serão mensuradas em cada ponto amostral de 20 sítios de coleta com diferentes porcentagens de cobertura florestal na Mata Atlântica do sul da Bahia.

Variável	Mensuração	Unidade
Abertura de dossel	Abertura física do dossel obtida a partir de fotografia hemisférica.	Porcentagem de abertura (%)
Densidade arbórea	Contagem de árvores com diâmetro à	Número de

Densidade de troncos caídos	altura do peito (DAP) \geq 10 cm. Contagem de todos os troncos de árvores mortas caídos dentro da parcela.	indivíduos/ha Número de indivíduos/ha
Variável	Mensuração	Unidade
Espessura da serapilheira	Medidas de espessura da camada de serapilheira obtidas em 10 pontos equidistantes 1 m entre si.	Centímetros (cm)
Riqueza de espécies arbóreas	Contagem do número de espécies na parcela.	Número de espécies

Classificação de formigas removedoras quanto à preferência de habitat

Para a classificação de formigas removedoras de diásporos quanto a afinidade de habitat, utilizaremos a classificação proposta por Vasconcelos et al. (2018), na qual as espécies de formigas são classificadas como especialistas de savana (*i.e.*, ocorrem predominantemente em habitats abertos), especialistas de floresta (*i.e.*, ocorrem principalmente em habitat de floresta) e generalistas (*i.e.*, não apresentam associação forte de habitat). As espécies não enquadradas nos grupos estabelecidos serão alocadas naqueles que apresentarem a maioria dos representantes do gênero em questão ou através de consulta com o autor.

ANÁLISE DOS DADOS

Capítulo 1

Para avaliar meta-analiticamente se diferentes tipos de alterações antrópicas reduzem a riqueza geral de formigas removedoras, a porcentagem de remoção de diásporos por formigas e aumentam a ocorrência de formigas especialistas de savana, nós calcularemos o tamanho de efeito médio entre os estudos. Para avaliar possíveis determinantes da heterogeneidade entre estudos, realizaremos uma meta-regressão. Os moderadores serão definidos posteriormente, mas inicialmente iremos incluir o tipo de distúrbio e a classificação das formigas quanto ao uso do habitat. O viés de publicação será avaliado pelo teste de Rosenthal e método Trill & Fill.

Capítulo 2

Utilizaremos Modelos Lineares Generalizados (GLM; Crawley 2012a) para avaliar se a perda de cobertura florestal da paisagem (variável explicativa) reduz a complexidade da vegetação local (*i.e.*, variáveis mensuradas em cada ponto amostral; veja Tabela 1) (variável resposta) em cada paisagem.

Para avaliar se a perda de cobertura florestal da paisagem (variável explicativa) reduz a riqueza de formigas removedoras de diásporos (variável resposta), aplicaremos GLM com distribuição Poisson como distribuição de erros do modelo, uma vez que o número de espécies é um dado de contagem. E para avaliar se a perda de cobertura florestal da paisagem reduz a similaridade da composição de espécies de formigas removedoras de diásporos, realizaremos uma Análise Multivariada Permutacional de Variância (PerMANOVA; Anderson 2001), com medida de similaridade de Jaccard (*i.e.*, presença e/ou ausência).

Para avaliar se a perda de cobertura florestal da paisagem promove a redução da porcentagem de remoção e o aumento da porcentagem de predação de diásporos por formigas, aplicaremos GLMs com distribuição binomial, uma vez que a porcentagem de remoção e predação de diásporos é um dado de proporção.

Para avaliar se a perda de cobertura florestal da paisagem promove o aumento do número de espécies de formigas especialistas de savana e generalistas e a redução do número de formigas especialistas de floresta, realizaremos GLM com distribuição de Poisson. Aqui, a porcentagem de cobertura florestal será a variável explicativa e o número de espécies classificadas em cada tipo preferencial de habitat (*i.e.*, especialista de savana, generalista e especialista de floresta) mediante literatura será a variável resposta.

Capítulo 3

Para comparar o número de interações entre formigas e diásporos ricos e diásporos pobres ao longo de um gradiente de perda de cobertura florestal, realizaremos uma Análise de Covariância (ANCOVA; Crawley 2012b). Aqui, o número de interações será a variável resposta, o tipo de diásporo (*i.e.*, rico e pobre) será o fator (variável categórica) e a cobertura florestal será a variável explicativa (covariável contínua).

IMPACTOS DO ESTUDO PARA A CONSERVAÇÃO

Ao final deste estudo, esperamos determinar se as alterações antrópicas interferem nas assembleias de formigas removedoras de diásporos e na forma como ocorrem e estão estruturadas essas interações. Essa informação enriquecerá os conhecimentos a respeito da influência das modificações no habitat original sobre mudanças em importantes funções ecossistêmicas, como aquelas relacionadas aos processos regenerativos em florestas. Além disso, fornecerá um novo método de analisar redes de interação formiga-diásporo a partir da utilização de diásporos artificiais, o que pode facilitar a amostragem e reduzir tempo e custo em pesquisas. Portanto, esperamos com este estudo fornecer informações que facilitem a elaboração de estratégias de monitoramento e conservação de formigas que participam ativamente de funções relacionadas com a regeneração natural de florestas e restauração de ambientes degradados. Em paisagens nas quais há perda significativa de agentes dispersores de grande porte devido aos distúrbios antrópicos, as formigas podem ser essenciais para que a função de dispersão de sementes não seja totalmente perdida.

REFERÊNCIAS

- Ahuatzin DA, Corro EJ, Jaimes AA, et al (2019) Forest cover drives leaf litter ant diversity in primary rainforest remnants within human-modified tropical landscapes. *Biodivers Conserv* 28:1091–1107. doi: 10.1007/s10531-019-01712-z
- Anderson MJ (2001) A new method for non parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol* 26:32–46. doi: 10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x
- Angotti MA, Rabello AM, Santiago GS, Ribas CR (2018) Seed removal by ants in Brazilian savanna: optimizing fieldwork. *Sociobiology* 65:155–161. doi: 10.13102/sociobiology.v65i2.1938
- Anjos D, Dáttilo W, Del-Claro K (2018) Unmasking the architecture of ant–diaspore networks in the Brazilian Savanna. *PLoS One* 13:1–17. doi: 10.1371/journal.pone.0201117
- Anjos D V., Luna P, Borges CCR, et al (2019) Structural changes over time in individual-based networks involving a harvester ant, seeds, and invertebrates. *Ecol*

- Entomol 44:753–761. doi: 10.1111/een.12764
- Arnan X, Molowny-Horas R, Rodrigo A, Retana J (2012) Uncoupling the effects of seed predation and seed dispersal by granivorous ants on plant population dynamics. *PLoS One* 7:. doi: 10.1371/journal.pone.0042869
- Baccaro FB, Feitosa RM, Fernandez F, et al (2015) Guia para os gêneros de formigas do Brasil
- Bascompte J, Jordano P (2007) Plant-Animal Mutualistic Networks: The Architecture of Biodiversity. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 38:567–593. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095818
- Bello C, Galetti M, Montan D, et al (2017) Atlantic frugivory: a plant-frugivore interaction data set for the Atlantic Forest. *Ecology* 98:1729–1729. doi: 10.1002/ecy.1818
- Bieber AGD, Silva PSD, Sendoya SF, Oliveira PS (2014) Assessing the impact of deforestation of the Atlantic rainforest on ant-fruit interactions: A field experiment using synthetic fruits. *PLoS One* 9:1–9. doi: 10.1371/journal.pone.0090369
- Bomfim JA, Guimarães PR, Peres CA, et al (2018) Local extinctions of obligate frugivores and patch size reduction disrupt the structure of seed dispersal networks. *Ecography (Cop)* 41:1899–1909. doi: 10.1111/ecog.03592
- Christianini A V., Oliveira PS (2009) The relevance of ants as seed rescuers of a primarily bird-dispersed tree in the Neotropical cerrado savanna. *Oecologia* 160:735–745. doi: 10.1007/s00442-009-1349-2
- Christianini A V, Oliveira PS (2010) Birds and ants provide complementary seed dispersal in a neotropical savanna. *J Ecol* 573–582. doi: 10.1111/j.1365-2745.2010.01653.x
- Corro EJ, Ahuatzin DA, Jaimes AA, et al (2019) Forest cover and landscape heterogeneity shape ant–plant co-occurrence networks in human-dominated tropical rainforests. *Landsc Ecol* 34:93–104. doi: 10.1007/s10980-018-0747-4
- Crawley MJ (2012a) Generalized Linear Models. In: *The R Book*, 2nd edn. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, pp 557–578
- Crawley MJ (2012b) Analysis of Covariance. In: *The R Book*, 2nd edn. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, pp 537–556
- Decaëns T, Martins MB, Feijoo A, et al (2018) Biodiversity loss along a gradient of deforestation in Amazonian agricultural landscapes. *Conserv Biol* 32:1380–1391. doi: 10.1111/cobi.13206
- Del Toro I, Ribbons RR, Pelini S (2012) The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News* 17:133–146
- Fontúrbel FE, Candia AB, Malebrán J, et al (2015) Meta-analysis of anthropogenic habitat disturbance effects on animal-mediated seed dispersal. *Glob Chang Biol* 21:3951–3960. doi: 10.1111/gcb.13025
- Griffiths HM, Ashton LA, Walker AE, et al (2018) Ants are the major agents of resource removal from tropical rainforests. *J Anim Ecol* 87:293–300. doi: 10.1111/1365-2656.12728
- Haddad NM, Brudvig LA, Clobert J, et al (2015) Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth’s ecosystems. *Sci Adv* 1:e1500052. doi: 10.1126/sciadv.1500052
- Hölldobler B, Wilson EO (1990) *The Ants*. Harvard University Press, Cambridge
- Howe HF, Smallwood J (1982) Ecology of Seed Dispersal. *Annu Rev Ecol Syst* 13:201–228. doi: 10.1146/annurev.es.13.110182.001221
- Leal IR, Filgueiras BKC, Gomes JP, et al (2012) Effects of habitat fragmentation on ant

- richness and functional composition in Brazilian Atlantic forest. *Biodivers Conserv* 21:1687–1701. doi: 10.1007/s10531-012-0271-9
- Leal IR, Leal LC, Andersen AN (2015) The benefits of myrmecochory: A matter of stature. *Biotropica* 47:281–285. doi: 10.1111/btp.12213
- Leal LC (2010) Características dos elaiossomos de sementes de Euforbiaceae e suas influências na atratividade de agentes dispersores no semi-árido nordestino. Universidade Federal de Pernambuco
- Leal LC, Andersen AN, Leal IR (2014) Anthropogenic disturbance reduces seed-dispersal services for myrmecochorous plants in the Brazilian Caatinga. *Oecologia* 174:173–181. doi: 10.1007/s00442-013-2740-6
- Liira J, Sepp T, Parrest O (2007) The forest structure and ecosystem quality in conditions of anthropogenic disturbance along productivity gradient. *For Ecol Manage* 250:34–46. doi: 10.1016/j.foreco.2007.03.007
- Mack MC, D'Antonio CM (1998) Impacts of biological invasions on disturbance regimes. *Trends Ecol Evol* 13:195–198. doi: 10.1016/S0169-5347(97)01286-X
- Mishra BP, Tripathi OP, Tripathi RS, Pandey HN (2004) Effects of anthropogenic disturbance on plant diversity and community structure of a sacred grove in Meghalaya, northeast India. *Biodivers Conserv* 13:421–436. doi: 10.1023/B:BIOC.0000006509.31571.a0
- Mori SA, Boom BM, Carvalho AM, Santos TS (1983) Southern Bahian moist forests. *Bot Rev* 49:155–232. doi: 10.1007/BF02861011
- Naeem S, Bunker DE, Hector A (2009) Biodiversity, ecosystem functioning, and human wellbeing: an ecological and economic perspective. Oxford University Press, New York
- Pessoa MS, Hambuckers A, Benchimol M, et al (2017) Deforestation drives functional diversity and fruit quality changes in a tropical tree assemblage. *Perspect Plant Ecol Evol Syst* 28:78–86. doi: 10.1016/j.ppees.2017.09.001
- Pessoa MS, Rocha-Santos L, Talora DC, et al (2016) Fruit biomass availability along a forest cover gradient. *Biotropica* 49:45–55. doi: 10.1111/btp.12359
- Rabello AM, Bernardi LFO, Ribas CR (2014) Testing an artificial aril as a new ant-attractant. *Rev Biociências* 20:86–90
- Rabello AM, Queiroz ACM, Lasmar CJ, et al (2015) When is the best period to sample ants in tropical areas impacted by mining and in rehabilitation process? *Insectes Soc* 62:227–236. doi: 10.1007/s00040-015-0398-2
- Raimundo RLG, Guimarães PR, Almeida-Neto M, Pizo MA (2004) The influence of fruit morphology and habitat structure on ant-seed interactions: A study with artificial fruits. *Sociobiology* 44:261–270
- Ribeiro MC, Metzger JP, Martensen AC, et al (2009) The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biol Conserv* 142:1141–1153. doi: 10.1016/j.biocon.2009.02.021
- Rico-Gray V, Oliveira PS (2007) The ecology and evolution of ant-plant interactions. University of Chicago Press, Chicago
- Rocha-Santos L, Mayfield MM, Lopes A V., et al (2019) The loss of functional diversity: A detrimental influence of landscape-scale deforestation on tree reproductive traits. *J Ecol* 108:212–223. doi: 10.1111/1365-2745.13232
- Rocha-Santos L, Pessoa MS, Cassano CR, et al (2016) The shrinkage of a forest: Landscape-scale deforestation leading to overall changes in local forest structure. *Biol*

- Conserv 196:1–9. doi: 10.1016/j.biocon.2016.01.028
- Rodríguez-Echeverry J, Echeverría C, Oyarzún C, Morales L (2018) Impact of land-use change on biodiversity and ecosystem services in the Chilean temperate forests. *Landsc Ecol* 33:439–453. doi: 10.1007/s10980-018-0612-5
- Santana FD, Cazetta E, Delabie JHC (2013) Interactions between ants and non-myrmecochorous diaspores in a tropical wet forest in southern Bahia, Brazil. *J Trop Ecol* 29:71–80. doi: 10.1017/S0266467412000715
- Spiesman BJ, Cumming GS (2008) Communities in context: The influences of multiscale environmental variation on local ant community structure. *Landsc Ecol* 23:313–325. doi: 10.1007/s10980-007-9186-3
- Symstad AJ, Tilman D, Willson J, Knops JMH (2006) Species loss and ecosystem functioning: effects of species identity and community composition. *Oikos* 81:389. doi: 10.2307/3547058
- Tiede Y, Schlautmann J, Donoso DA, et al (2017) Ants as indicators of environmental change and ecosystem processes. *Ecol Indic* 83:527–537. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.01.029
- Van der Pijl L (1982) *Principles of Dispersal in Higher Plants*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
- Vasconcelos HL, Maravalhas JB, Feitosa RM, et al (2018) Neotropical savanna ants show a reversed latitudinal gradient of species richness, with climatic drivers reflecting the forest origin of the fauna. *J Biogeogr* 45:248–258. doi: 10.1111/jbi.13113