

UFRRJ

**INSTITUTO DE FLORESTA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

TESE

**A DIVERSIDADE DE FORMIGAS E SEU PAPEL
FUNCIONAL EM CAFEZAIS NO VALE DO RIO DOCE - ES,
BRASIL**

JOHNATAN JAIR DE PAULA MARCHIORI

2024



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

**A DIVERSIDADE DE FORMIGAS E SEU PAPEL FUNCIONAL EM
CAFEZAIS NO VALE DO RIO DOCE - ES, BRASIL**

JOHNATAN JAIR DE PAULA MARCHIORI

Sob a Orientação do Professor
Dr. Jarbas Marcal de Queiroz
Coorientador: Dr. Anderson Mathias Holtz

Tese submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de **Doutor em**
Ciências Ambientais e Florestais no
programa de pós-graduação em ciências
ambientais e florestais, Área de
Concentração: Conservação da natureza.

Seropédica, RJ
Dezembro, 2024

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M315d Marchiori, Johnatan Jair de Paula, 1991-
A diversidade de formigas e seu papel funcional em
cafezais no Vale do Rio Doce - ES, Brasil / Johnatan
Jair de Paula Marchiori. - Baixo guandu, 2024.
109 f.

Orientador: Jarbas Marcal Queiroz.
Coorientador: Anderson Mathias Holtz.
Tese (Doutorado). -- Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. PPGCAF- Instituto de floresta., 2024.

1. Agroecossistema. 2. artrópodes. 3. cafezais a
pleno sol. 4. manejo agrícola intensivo. 5. mata
atlântica. I. Queiroz, Jarbas Marcal , 1968-, orient.
II. Holtz, Anderson Mathias, -, coorient. III
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. PPGCAF
Instituto de floresta.. IV. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

JOHNATAN JAIR DE PAULA MARCHIORI

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências Ambientais e Florestais**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

TESE APROVADA EM 18/12/2024

Jarbas Marçal de Queiroz. Dr. UFRRJ (Orientador)

Fábio Souto de Almeida. Dr. UFRRJ

Jayme Magalhães Santangelo. Dr. UFRRJ

Jéssica Mayara Coffler Botti. Dr^a.

Mayara Loss Franzin. Dr^a.



TERMO N° 39/2025 - PPGCAF (12.28.01.00.00.00.00.27)

(*Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO*)

(Assinado digitalmente em 03/02/2025 17:14)
FABIO SOUTO DE ALMEIDA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCMA (12.28.01.00.00.00.18)
Matrícula: ###673#8

(Assinado digitalmente em 03/02/2025 12:55)
JARBAS MARCAL DE QUEIROZ
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCAlg (12.28.01.00.00.00.00.29)
Matrícula: ###563#1

(Assinado digitalmente em 03/02/2025 14:36)
JAYME MAGALHAES SANTANGELO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCAlg (12.28.01.00.00.00.00.29)
Matrícula: ###284#6

(Assinado digitalmente em 10/02/2025 09:57)
MAYARA LOSS FRANZIN
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ####.####.717-##

(Assinado digitalmente em 10/02/2025 09:43)
JÉSSICA MAYARA COFFLER BOTTI
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ####.####.987-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/documentos/> informando seu número: 39, ano: 2025, tipo: TERMO, data de emissão: 03/02/2025 e o código de verificação: eb5ec94fee

Dedico esta pesquisa, primeiramente, a Deus, o arquiteto do meu destino e a fonte inesgotável de força e sabedoria. Em cada passo desta caminhada, Ele esteve ao meu lado, preenchendo minha alma com serenidade nas dificuldades e renovando minha esperança diante dos desafios. Sua promessa em Isaías 41 guiou meu coração: "*Não tema, pois estou com você; não tenha medo, pois sou o seu Deus. Eu o fortalecerei e o ajudarei; eu o segurarei com a minha mão direita vitoriosa.*" Essas palavras não foram apenas inspiração; foram uma união que me manteve firme e determinada. Que este trabalho seja um tributo a Deus que transforma o impossível em realidade e ao poder da fé que nos move a alcançar o extraordinário.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pela força que me sustentou em cada etapa desta jornada. Obrigado por me ensinar a importância de errar, aprender e crescer, por sua infinita misericórdia, amor e presença constante. Nos momentos mais difíceis, quando o peso parecia insuportável, senti sua mão me levantando e me mostrando que os maiores desafios trazem as maiores recompensas. "Entrega o teu caminho ao Senhor, confia nele, e o mais Ele fará" (Salmos 37:5). À minha querida esposa, minha companheira de todas as horas, por sua paciência, seu amor incondicional e por acreditar em mim até mesmo quando eu duvidava de mim mesmo. Você esteve ao meu lado em cada batalha, oferecendo conforto, encorajamento e luz. Sou grato por compartilhar esta caminhada com você. Estendo meu agradecimento ao meu amigo/afilhado Engenheiro agrônomo Luan Luciano pela amizade e auxílio nas atividades em campo.

Aos produtores rurais que possibilitaram a realização deste estudo em seus cafezais, especialmente à família Rizzi, pelo acolhimento e apoio inestimáveis, representados pelo senhor Helder Xisto Rizzi e por seu filho, meu grande amigo Natan Rizzi, cuja dedicação e esforços foram indispensáveis nesta jornada. Aos colegas da EEEF Primo Bitti, representados pela diretora Sandra Regina Scalzer, agradeço a toda a equipe de gestão, professores e colaboradores pelo incentivo, amizade e palavras que tornaram os dias mais leves e significativos. Com vocês, aprendi a valorizar e enxergar o melhor de cada pessoa. Estendo meu agradecimento ao programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais (PPGCAF).

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

Agradeço profundamente ao meu orientador, Jarbas Marcal de Queiroz, por sua orientação inestimável, paciência e dedicação ao longo desta jornada. Sua sabedoria, apoio e disponibilidade foram fundamentais para que eu pudesse superar os desafios e alcançar este objetivo. Estendo meu agradecimento ao IFES *Campus Itapina*, na pessoa do Doutor Anderson Holtz, no qual permitiu a utilização de seu laboratório, e ao INMA na pessoa do Doutor Jorge no qual foram realizadas as devidas identificações das espécies de formigas. E um agradecimento a banca avaliadora pelo enriquecimento deste estudo.

Gostaria de prestar uma homenagem ao professor Acácio, meu orientador inicial, que infelizmente faleceu durante o processo de elaboração desta tese. Que sua memória permaneça viva e inspire todos que tiveram o privilégio de conhecê-lo. A todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta conquista se tornasse realidade, meu sincero agradecimento. Cada gesto, cada palavra de apoio e cada momento compartilhado foram fundamentais para que eu chegassem até aqui. O conhecimento tem o poder de transformar nossas vidas e o mundo ao nosso redor. Que esta conquista seja apenas o início de um caminho de realizações e impacto positivo na vida de outras pessoas.

"Se você quer algo que nunca teve, precisa fazer algo que nunca fez" (Thomas Jefferson).

Por fim, recordo as palavras de São Pio de Pietrelcina: "A sabedoria consiste em duvidar de si mesmo." Ao longo desta jornada, aprendi que a dúvida não é um obstáculo, mas uma oportunidade de crescimento. Foi ela que me desafiou a buscar o melhor de mim, a me

superar e a não desistir, mesmo diante das adversidades. Que essa dúvida seja sempre o motor que nos impulsiona a sermos melhores a cada dia, com humildade e perseverança, lembrando que as maiores conquistas nascem dos maiores desafios.

RESUMO GERAL

MARCHIORI, Johnatan Jair de Paula. A diversidade de formigas e seu papel funcional em cafezais no Vale do Rio Doce - ES, Brasil 2024. 110p. Tese (Doutorado em Ciências ambientais e florestais). Instituto de floresta, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2024.

O avanço da agricultura intensiva tem gerado profundas alterações na biodiversidade, especialmente em áreas tropicais como o bioma Mata Atlântica. Embora os estudos em cafezais sombreados tenham avançado, pouco se sabe sobre os efeitos do manejo intensivo em sistemas a pleno sol, como nos cafezais do Espírito Santo. Este estudo buscou preencher essa lacuna ao analisar os efeitos de fatores locais (como profundidade da serapilheira e presença de cochonilhas) e fatores de paisagem (como cobertura florestal) na biodiversidade de formigas e no risco de predação em agroecossistemas de café. As coletas foram realizadas entre dezembro de 2022 e janeiro de 2023, em 108 plantas de café no total de 9 cafezais (propriedades) de *Coffea canephora*, utilizando iscas atrativas (compostas por sardinha e mel), armadilhas de queda (*pitfall*) e 216 modelos artificiais de lagartas para avaliar o risco de predação em ramos isolados e não isolados. Foram identificadas 32 espécies de formigas, distribuídas em sete subfamílias, com predominância de *Myrmicinae* e *Formicinae*. Análises estatísticas realizadas no software R mostraram que a profundidade da serapilheira teve impacto significativo na abundância de formigas, enquanto espécies generalistas, como *Ectatomma brunneum* e *Dorymyrmex biconis*, dominaram as amostras. Espécies especializadas, como *Cephalotes pusillus* e *Neivamyrmex pseudops*, foram raras, evidenciando o impacto do manejo intensivo na redução da heterogeneidade ambiental. O risco de predação era maior em ramos não isolados e associado à presença de cochonilhas, cujas secreções ricas em carboidratos atraíram formigas e vespas predadoras. Os resultados destacam a serapilheira como recurso essencial para a abundância de formigas, além da importância das interações tróficas promovidas por cochonilhas na funcionalidade ecológica dos agroecossistemas. Conclui-se que práticas agrícolas que promovem a biodiversidade funcional, como a manutenção da serapilheira, são essenciais para promover serviços ecossistêmicos e melhorar a sustentabilidade em sistemas agrícolas intensivos. Além disso, os resultados indicam que a transição para uma cafeicultura mais regenerativa, que integra princípios ecológicos e valoriza a diversidade biológica, é crucial para mitigar os impactos negativos do manejo intensivo e promover agroecossistemas mais resilientes. Este estudo reforça a relevância de práticas de manejo que considera tanto fatores locais quanto de paisagem para a conservação da biodiversidade em agroecossistemas tropicais.

Palavras-chave: agroecossistema, artrópodes, biodiversidade, manejo intensivo,

GENERAL ABSTRACT

MARCHIORI, Johnatan Jair de Paula. The diversity of ants and their functional role in coffee plantations in the Rio Doce Valley - ES, Brazil 2024. 110p. Thesis (Phd in Environmental and Forestry Sciences). Forest Institute, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2024.

The advance of intensive agriculture has generated profound changes in biodiversity, especially in tropical areas such as the Atlantic Forest biome. Although studies in shaded coffee plantations have advanced, little is known about the effects of intensive management in full-sun systems, such as in the coffee plantations of Espírito Santo. This study sought to fill this gap by analyzing the effects of local factors (such as litter depth and presence of scale insects) and landscape factors (such as forest cover) on ant biodiversity and predation risk in coffee agroecosystems. Collections were carried out between December 2022 and January 2023, in 108 coffee plants in a total of 9 coffee plantations (properties) of *Coffea canephora*, using attractive baits (composed of sardines and honey), pitfall traps and 216 artificial caterpillar models to assess predation risk in isolated and non-isolated branches. Thirty-two ant species were identified, distributed in seven subfamilies, with a predominance of *Myrmicinae* and *Formicinae*. Statistical analyses performed in the R software showed that litter depth had a significant impact on ant abundance, while generalist species, such as *Ectatomma brunneum* and *Dorymyrmex biconis*, dominated the samples. Specialized species, such as *Cephalotes pusillus* and *Neivamyrmex pseudops*, were rare, evidencing the impact of intensive management in reducing environmental heterogeneity. The risk of predation was higher in non-isolated branches and associated with the presence of scale insects, whose carbohydrate-rich secretions attracted ants and predatory wasps. The results highlight litter as an essential resource for ant abundance, in addition to the importance of trophic interactions promoted by scale insects in the ecological functionality of agroecosystems. It is concluded that agricultural practices that promote functional biodiversity, such as litter maintenance, are essential to promote ecosystem services and improve sustainability in intensive agricultural systems. Furthermore, the results indicate that the transition to a more regenerative coffee farming, which integrates ecological principles and values biological diversity, is crucial to mitigate the negative impacts of intensive management and promote more resilient agroecosystems. This study reinforces the relevance of management practices

that consider both local and landscape factors for biodiversity conservation in tropical agroecosystems.

Keywords: agroecosystem, arthropods, biodiversity, intensive management.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lista de espécies e frequência de ocorrência de formigas (Hymenoptera: Formicidae) coletadas em cafezais no Vale do Rio Doce, no Município de Governador Lindenberg, Estado do Espírito Santo. Fonte: Marchiori, J.J.P.....	42
Tabela 2: Distribuição da infestação de cochonilhas (número de plantas infestadas) e altura média da serapilheira (em cm \pm erro padrão) em cafezais no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Fonte: Marchiori, J.J.P.....	48
Tabela 3: Regressão de Poisson entre a Riqueza (S), abundância e Diversidade (H) de formigas em cafezais em relação as variáveis independentes: cobertura florestal, cochonilha e serapilheira, no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Fonte: Marchiori, J.J.P.....	49
Tabela 4: Tabela Comparativa de Estudos sobre Riqueza e Diversidade de Formigas em Diferentes Sistemas de Manejo de Cafezais. Adaptado de: Marchiori, J.J.P.....	52
Tabela 5: Estimativas dos Parâmetros do GLMM para o Efeito de Cochonilha, Ramo não isolado, Cobertura Florestal e Serapilheira m cafezais estudados no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Fonte: Marchiori, J.J.P.....	82

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa do Brasil indica a localização do experimento realizado no Vale do Rio Doce, no município de Governador Lindenberg, Espírito Santo. A área em **cinza claro** representa o território brasileiro, enquanto a área em **cinza** destaca o estado do Espírito Santo. O ponto em **verde** marca o local do estudo, situado no distrito de Novo Brasil, em uma região de cafezais. O mapa inclui escala gráfica e utiliza o sistema de regiões geográficas SIRGAS 2000. Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. Fonte: Marchiori, J.J.P.....10
- Figura 2.** Vista de um dos cafezais estudados, localizado próximo a um fragmento de mata nativa. A imagem ilustra a interface entre o sistema agrícola e o ambiente florestal, destacando a paisagem típica da área de pesquisa, localizado no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Fonte: Marchiori, J.J.P.....12
- Figura 3.** Desenho experimental onde foi avaliado 12 plantas de café conilon em cada cafezal, totalizando 108 plantas, localizado no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Fonte: Marchiori, J.J.P.....35
- Figura 4.** Armadilha tipo isca atrativa no ramo plagiotrópico no cultivo de café conilon localizado no estado do Espírito Santo no município de Governador Lindenberg – ES. Fonte: Marchiori, J.J.P.....35
- Figura 5.** Sacos plásticos vedados com iscas atrativas e devidamente identificados localizado no estado do Espírito Santo no município de Governador Lindenberg – ES. Fonte: Marchiori, J.J.P.....36
- Figura 6.** (A) Armadilha de queda (*pitfall*) montada na base de uma planta de café (*C. canephora*) em área experimental; (B) Procedimento de retirada do material coletado no campo, transferido para um recipiente tipo Nalgan para posterior análise. As imagens destacam as metodologias empregadas na coleta de artrópodes (formigas) localizado no estado do Espírito Santo no município de Governador Lindenberg – ES. Fonte: Marchiori, J.J.P.....37
- Figura 7.** Palhas de café em decomposição em cafezais localizado no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Fonte: Marchiori, J.J.P.....38
- Figura 8.** (A) estagio produtivo com grãos verdes e rosetas bem concentradas; (B) rosetas com infestação de cochonilhas. Fonte: Marchiori, J.J.P.....39
- Figura 9.** Representação dos cafezais estudados e sua configuração da paisagem. Ordem crescente com enfase no raio de 150 metros. Legenda: Verde escuro (cafezal), azul claro (mata), laranja (Pastagem), rosa (residência), rosa pêssego (cacau), azul escuro (eucalipto), roxo (poço de água). Cada buffer (círculo) representa um raio, de 50 a 500 metros. Elaboração com auxílio do software Qgis 3.30. Fonte: Marchiori, J.J.P.....40
- Figura 10.** Riqueza observada e estimada (Chao2) das espécies de formigas nos nove cafezais estudados. O eixo X representa os cafezais analisados, enquanto o eixo Y indica o número de espécies. As barras azuis correspondem à riqueza observada, as barras laranja mostram a riqueza estimada (Chao2) e as barras cinza indicam o número de espécies não amostradas. Fonte: Marchiori, J.J.P.....44
- Figura 11.** Padrão de distribuição de abundância das espécies de formigas nos nove cafezais estudados no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Eixo X (Rank): Representa a abundância de espécies. Eixo Y (Abundance): Mostra a abundância relativa de cada espécie. Bolinha (○): Representa os dados observados da abundância de espécies em diferentes cafezais. Fonte: Marchiori, J.J.P.....45
- Figura 12.** Perfil de diversidade de espécies de formigas nos nove cafezais estudados no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. O eixo X representa os índices de diversidade,

enquanto o eixo Y mostra os valores de diversidade associados. Fonte: Marchiori, J.J.P.....	46
Figura 13. Efeito de escala da cobertura florestal em 10 extensões espaciais (50 a 500 metros) para riqueza de formigas. Representação da escala de efeito no eixo x onde caracteriza a extensão espacial em relação ao maior R ² no eixo y; os slopes representados no eixo x onde caracteriza a extensão espacial em relação ao coeficiente estimado no eixo y. Com auxílio do software R studio. Fonte: Marchiori, J.J.P.....	47
Figura 14. Efeito de escala da cobertura florestal em 10 extensões espaciais (50 a 500 metros) para diversidade de formigas. Representação da escala de efeito no eixo x onde caracteriza a extensão espacial em relação ao maior R ² no eixo y; slopes representados no eixo x caracteriza a extensão espacial em relação ao coeficiente estimado no eixo y. Com auxílio do software R studio. Fonte: Marchiori, J.J.P.....	47
Figura 15. Efeito de escala da cobertura florestal em 10 extensões espaciais (50 a 500 metros) para abundância de formigas. Representação da escala de efeito no eixo x onde caracteriza a extensão espacial em relação ao maior R ² no eixo y; os slopes representados no eixo x onde caracteriza a extensão espacial em relação ao coeficiente estimado no eixo y. Com auxílio do software R studio. Fonte: Marchiori, J.J.P.....	48
Figura 16. Relação entre a altura da serapilheira (eixo x) e a abundância de formigas (eixo y). Os pontos representam observações individuais, enquanto a linha verde indica a tendência ajustada com intervalo de confiança. O gradiente de cores representa a densidade da serapilheira (em cm). Gráfico gerado com auxílio do software R Studio. Fonte: Marchiori, J.J.P.....	50
Figura 17. Espremedor de limão utilizado para confeccionar os modelos artificiais (lagartas), posteriormente utilizado nos nove cafezais localizado no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES Fonte: Marchiori, J.J.P.....	76
Figura 18. Fixação do modelo de lagarta artificial com uso de plasticilina verde atóxica em ramo plagiotropico com livre acesso em cafezais localizado no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Fonte: Marchiori, J.J.P.....	77
Figura 19: No eixo x temos as propriedades estudadas, no eixo y temos o número de marcas nos modelos artificiais de lagartas em galhos isolados e não isolados variando de 0 a 12 respectivamente, em cafezais estudados no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Fonte: Marchiori, J.J.P.....	80
Figura 20. (A). Marcas que indicam a presença de possível predação de vespas. (B) Presença de vespas na área experimental. Fonte: Marchiori, J.J.P.....	81
Figura 21. Escala de efeito da cobertura florestal em 10 extensões espaciais (50 a 500 metros) para marcas de predação em lagartas artificiais. Representação da escala de efeito no eixo x onde caracteriza a extensão espacial em relação ao maior R ² no eixo y. Com auxílio do software R studio. Fonte: Marchiori, J.J.P.....	81
Figura 22. No eixo y temos a probabilidade de ataques em lagartas artificiais em galhos isolados e não isolados em função dos níveis de infestações de cochonilhas em cafezais (eixo x) estudados no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Bolinha verde representa os ramos isolados com vaselina e a cor laranja o ramo não isolado. Fonte: Marchiori, J.J.P.....	83

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	1
AREA DE ESTUDO.....	9
REFERENCIAS BILIOGRAFICAS.....	13
CAPITULO I EFEITO DE FATORES LOCAIS E DE PAISAGEM SOBRE A DIVERSIDADE DE FORMIGAS EM CAFEZAIS NO VALE DO RIO DOCE - GOVERNADOR LINDENBERG, ES, BRASIL	28
RESUMO.....	29
ABSTRACT.....	30
1 INTRODUÇÃO.....	31
2 MATERIAL E METODOS.....	34
2.1 Coleta de dados.....	34
2.1.1 Experimento sobre a coleta de formigas.....	34
2.1.2 fatores locais.....	37
2.1.3 Cobertura florestal da paisagem.....	39
2.2 ANÁLISE DE DADOS.....	41
4. RESULTADOS.....	42
4.1 Análise da amostragem, perfil de diversidade e distribuição de abundância e para as comunidades de formigas.....	44
4.2 Análise das relações entre a riqueza, abundância e diversidade das espécies de formigas e as variáveis ambientais.....	46
5. DISCUSSÃO.....	50
6. CONCLUSÕES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	61
CAPÍTULO II EFEITO DE FATORES LOCAIS E DE PAISAGEM SOBRE FUNÇÕES ECOLÓGICAS EM AGROSSISTEMAS: AVALIAÇÃO DO RISCO DE PREDAÇÃO ATRAVÉS DO USO DE MODELOS ARTIFICIAS DE PRESAS EM CAFEZAIS NO VALE DO RIO DOCE - GOVERNADOR LINDENBERG, ES, BRASIL.....	70
RESUMO.....	71
ABSTRACT.....	72
1 INTRODUÇÃO.....	73
2 MATERIAL E METODOS.....	75
2.1 Coleta de dados.....	75
2.1.1 Área de estudo.....	75
2.1.2 Experimento sobre potencial de predação.....	75
2.1.3 Fatores ambientais locais.....	77
2.1.4. Fator ambiental de paisagem.....	78
2.2 ANÁLISE DOS DADOS.....	79
3. RESULTADOS	79
4. DISCUSSÃO.....	83
6 CONCLUSÃO.....	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	88

INTRODUÇÃO GERAL

As características dos ecossistemas influenciam de forma relevante a sustentação e manutenção da biodiversidade, afetando inclusive a sobrevivência e a perpetuação das espécies. O Brasil possui grande diversidade de fauna e flora, destacando-se em relação aos outros países por possuir elevadas taxas de endemismo e biomas múltiplos, sendo ecossistemas complexos e interconectados, nos quais as espécies vegetais e animais interagem entre si e com o ambiente físico para formar uma rede intricada de relações e processos (IBGE, 2014). O Brasil possui diferentes biomas que desempenham um papel fundamental na manutenção dos ciclos biogeoquímicos, na regulação do clima regional e global, na provisão de serviços ecossistêmicos e na sustentabilidade da vida na Terra, como é o caso, por exemplo, da Mata Atlântica, que por sua vez é uma prioridade mundial para a conservação, tendo como característica a formação de uma floresta densa e fechada e possuindo alta biodiversidade entre os biomas brasileiros (Myers, 2000).

De acordo com Da Fonseca (2017), as florestas configuram-se como centros globais de extrema importância para a biodiversidade. Neste contexto, o Brasil se destaca como possuidor da segunda maior cobertura florestal em todo o mundo (Higa, 2014). A Mata Atlântica se expande por uma grande extensão do litoral brasileiro, bem como pelo interior do continente, incluindo áreas do Paraguai e Argentina (Morellato; Haddad, 2000; Ribeiro et al., 2009). Diversos estudos têm evidenciado a elevada diversidade de espécies e níveis significativos de endemismo na região, além de destacar a forte influência antrópica associada (Ribeiro et al., 2009).

Tais influências antrópicas que já aconteciam ao longo do tempo, foram intensificadas com a chegada dos colonizadores europeus no século XVI na América do Sul. A exploração da madeira, foi a principal atividade econômica que impulsionou o desmatamento da floresta, seguido depois pelo plantio de monoculturas, como cana de açúcar e café, aliado ao crescente aumento da população urbana (Milaré, 2020). As mudanças se intensificaram a partir do século XIX, com a expansão da produção de café. Houve um aumento significativo do desmatamento da Mata Atlântica para a criação de novas áreas de plantação, formando assim novos mosaicos de paisagens com a perda de vegetação nativa, elevando o risco da perda parcial ou total de muitas espécies da fauna e flora (Mello, 2021).

A Mata Atlântica possui distribuição em 17 estados brasileiros e acumula 2/3 de todas as espécies ameaçadas de extinção no país (Tnc, 2021). Devido a cobertura florestal ter sido

substituída por um mosaico de usos da terra com graus variados de interferência humana, é possível que muitos organismos se movimentem entre os diversos ambientes atrás das condições e recursos necessários para sua sobrevivência e reprodução. Esse fenômeno natural é chamado de transbordamento de organismos, que ocorre quando, por exemplo, há muitos indivíduos em uma determinada área da floresta e eles se movem para uma área agrícola ou urbanizada seja em busca de alimento ou de condições ecológicas (Landis et al., 2000; Krauss et al., 2004).

De acordo com Tscharntke (2012), o transbordamento é um fenômeno que envolve o movimento de indivíduos, tanto por dispersão quanto por forrageamento, entre diferentes tipos de habitat, tendo um impacto significativo na estrutura da comunidade em toda a paisagem, oferecendo serviços ecossistêmicos como controle biológico de populações e polinização. Esse movimento também pode ocorrer de forma contraria sendo de um cultivo agrícola para a mata ou que pode ser causado por diversos fatores, como mudanças climáticas, aumento da temperatura ou umidade, ou até mesmo pela falta de alimento na área original e atividades antrópicas (Ries et al., 2004; Tubelis et al., 2004; Clough et al., 2005; Schmidt & Tscharntke, 2005a, b; Bianchi et al., 2006; Rand et al., 2006; Hendrickx et al., 2007; Ricketts et al., 2008; Collinge, 2009; Gardiner et al., 2009 a,b; Blitzer et al., 2012). Em ambos os casos, o transbordamento de indivíduos da floresta para o cultivo agrícola ou vice-versa pode ter impactos positivos ou negativos para as populações envolvidas e para os ecossistemas em que habitam, a depender do estágio fenológico do cultivo e das características destas populações, bem como do ecossistema em que estão inseridos (Sandwers et al., 2016).

Desta forma, para entender a dinâmica de interações dos organismos em um agroecossistema é importante considerar o contexto ambiental em que esses sistemas estão inseridos (Kennedy & Marra, 2010; Perfecto & Vandermeer, 2010). O conhecimento do ambiente de estudo e as paisagens do entorno se torna crucial para qualquer os estudos ecológicos (TScharntke, 2012).

AGROSSISTEMA DE CAFÉ

O café é produzido em diversos países ao redor do mundo, principalmente em regiões tropicais e subtropicais. Alguns dos principais produtores de café incluem o Brasil, Vietnã, Colômbia, Indonésia, Etiópia, Honduras, Índia, Uganda, México, Peru e Costa Rica. Além desses países, existem muitos outros que produzem café em menor quantidade, como Quênia,

Guatemala, El Salvador, Nicarágua, Tanzânia, Camarões, República Dominicana, entre outros. A produção de café é uma importante atividade econômica em muitos desses países e tem um impacto significativo na economia global (Leão, 2010). Desde a sua introdução no Brasil, no estado do Pará em 1727, o cultivo de cafeeiros se expandiu para o sudeste do país no século seguinte, desencadeando importantes transformações no ambiente natural, na economia e na sociedade civil. Atualmente, a produção de café é uma das atividades agrícolas mais tradicionais e significativas do território brasileiro (Fortes et al., 2020), ao ponto de o Brasil ser o maior produtor de café do mundo (Faostat, 2019; Dos Santos Soares, et al., 2021), e exportador de café a nível mundial, fornecendo o produto para todos os continentes consumidores (Conab, 2021). O sistema de cultivo é predominantemente de monocultura e o uso de agrotóxicos para o controle das pragas do café é comum (Venzon, 2021). Embora exista muitas espécies de café, apenas *Coffea arabica* L. (café arábica) e *Coffea canephora* Rerre ex Froefiner (café conilon) têm importância econômica no mercado mundial (Bellan et al., 2011).

A produção de café arábica, por sua vez, é concentrada em partes de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Goiás, Bahia e Espírito Santo (Conab, 2021), enquanto o café conilon é predominantemente cultivado nos estados do Espírito Santo, Rondônia, Minas Gerais, Mato Grosso, Bahia e Rio de Janeiro (Bragança et al., 2001; Fortes et al., 2020). O estado do Espírito Santo é o maior produtor de café conilon no Brasil (Bragança et al., 2001; Conab, 2022a, b). Atualmente, a cultura está presente em 65 dos 78 municípios do Espírito Santo (Fassio, 2007).

Os cultivos de café podem ser encontrados em diferentes sistemas, variando desde sistemas em pleno sol, como as monoculturas, até sistemas de café sombreados, como agroflorestas e culturas consorciadas, entre outros. Cada sistema desempenha funções distintas: enquanto as monoculturas priorizam a maximização da produtividade agrícola, os sistemas sombreados, como as agroflorestas, combinam a produção econômica com benefícios ecológicos, como a conservação da biodiversidade, a regulação climática e a melhoria da qualidade do solo. Além disso, esses sistemas podem impactar com certeza as comunidades locais, fornecendo recursos diversificados e contribuindo para a segurança alimentar e econômica (Pumariño et al., 2015).

A mudança no uso da terra com a substituição das florestas pela agricultura representa uma ameaça significativa para os ecossistemas, pois a adoção de monoculturas de café tem implicações para a biodiversidade, a qualidade do solo e a resiliência dos sistemas agrícolas.

A perda de habitat e a simplificação do ambiente podem reduzir a diversidade de espécies, incluindo insetos benéficos, aves e outros animais que desempenham papéis importantes na polinização, no controle de pragas e na ciclagem de nutrientes. Essa pressão levou, em alguns casos, ao manejo da cultura do café por meio do sistema de policultivo (Gibbs, 2010).

Café a pleno sol é uma técnica de cultivo em que as plantas são cultivadas em áreas abertas, sem sombreamento ou proteção contra a luz solar direta. É uma prática comum em muitas regiões produtoras de café, especialmente em áreas com alta incidência de luz solar, pois o café a pleno sol pode ser cultivado de forma mais intensiva, com plantas mais próximas umas das outras, e geralmente requer mais insumos agrícolas, como fertilizantes e pesticidas, para manter a produtividade, comparado ao cultivo sombreado. No entanto, essa técnica leva a uma menor diversidade de plantas e animais na área de cultivo, bem como a uma maior degradação do solo e outros impactos ambientais negativos (Bernardes, 2013). Além disso, nas monoculturas, geralmente se faz o uso de agrotóxicos para controle de pragas e patógenos, que causam efeitos negativos na biota de modo geral (Brown et al., 2020; Venzon, 2021).

Já os sistemas de café sombreado, como os agroflorestais, são mais diversificados, apresentando efeitos positivos no controle de pragas do cafeiro, conforme relatado em estudos anteriores (Philpott e Armbrecht, 2006; Philpott et al., 2008; Teodoro et al., 2009; Perfecto et al., 2014; Pumariño et al., 2015). Além disso, a sombra fornecida por esses sistemas favorece um enchimento mais lento e equilibrado, além de um amadurecimento uniforme dos frutos, resultando em uma qualidade superior do café em comparação aos cultivos a pleno sol, porém com menor produtividade (Muschler, 2001). Uma seleção de espécies arbóreas para compor o sistema agroflorestal pode ser aprimorada por meio de uma melhor compreensão de sua interação com pragas e seus inimigos naturais com o consorcio da respectiva cultura agrícola (Heil, 2015; Peters et al., 2016). Um exemplo notável é o sistema agroflorestal de café na Mata Atlântica, onde pequenos produtores associaram o café a várias espécies de árvores, incluindo aquelas que fixam nitrogênio e possuem nectários extraflorais (EFN), que ajudam na atração de inimigos naturais das pragas agrícolas (Souza et al., 2010; Rezende et al., 2014).

Na região do Espírito Santo, que se destaca como o segundo maior produtor de café do país, a produção total de café foi de 16,7 milhões de sacas (Embrapa, 2022). Tais alcances na produtividade se dá pela organização do manejo da cultura do café, que por sua vez deve ser seguido rigorosamente as práticas recomendadas, que incluem a realização de análises do

solo antes do plantio e análises anuais da fertilidade do solo. Tratos culturais, como poda, desbrota e irrigação, também são cruciais para manter a saúde das plantas de café (Bragança, 2005). Além disso, essas práticas promovem a liberação de nutrientes orgânicos no solo, o que enriquece a microbiota do solo e favorece a interação de organismos benéficos, contribuindo para a prevenção de possíveis espécies pragas e mantendo o equilíbrio natural da plantação (Larsen e Philpott, 2010; Piato et al. 2021).

No entanto, no caso específico do cafeeiro, é importante ressaltar que existe uma variedade de insetos pragas que se alimentam das diferentes partes da planta, como folhas, brotos e frutos (Grazia et al. 2012). Como mencionado por Oliveira et al. (2014) e Marchiori (2020), é comum que esses insetos sejam os responsáveis pelos ataques de pragas tanto na parte aérea como no solo. Esses ataques podem ter efeitos graves na produção de café, incluindo a redução da produtividade, a diminuição da qualidade dos grãos e, em casos extremos, até mesmo a morte das plantas (Embrapa, 2015).

No Brasil e no mundo os insetos-praga que apresentam maior ocorrência e afetam significativamente os cafeeiros, incluem a broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae), o bicho-mineiro *Leucoptera coffeella* (Guerin-Ménéville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), que é adaptado as condições climáticas quentes e secas, frequentemente encontradas nas regiões onde o café é cultivado no Brasil, tais ambientes favorecem o desenvolvimento e a sua reprodução (Silva et al., 2014; Giraldo-jaramillo et al., 2019; Leite et al., 2020). Além das cochonilhas (Hemiptera: Coccomorpha) que infestam diversas partes da planta, como raízes, caule, rosetas, folhas, flores e frutos (Reis et al., 2010; Fornazier, 2016); surtos populacionais desses insetos têm sido frequentes, causando prejuízos aos produtores de café, especialmente nos estados de Espírito Santo e Minas Gerais (Santa Cecilia et al., 2014, 2020).

Considerada a praga principal do café *H. hampei* afeta todos os países produtores de café, (Johnson et al., 2020; Sun et al., 2020); devido suas características de proliferação (Damon, 2000; Vega et al., 2009; Cure et al., 2020). As fêmeas perfuram as bagas e depositam seus ovos dentro do endosperma, o que resulta em perdas de qualidade e quantidade do café comercializável, uma vez que as larvas que eclodem se alimentam das sementes (Damon, 2000; Jaramillo et al., 2006; Vega et al., 2009).

A diversidade de inimigos naturais presentes na cultura do café pode ser notável, abrangendo vespas predadoras e parasitoides, crisopídeos verdes, formigas, joaninhas, ácaros predadores e entomopatógenos (Fernandes et al., 2008; Amaral et al., 2010; Rodrigues-silva

et al., 2017; Moreira et al., 2019). Esses organismos podem desempenhar papéis importantes no controle biológico de pragas e doenças, oferecendo uma alternativa sustentável ao uso de pesticidas químicos (Botti et al., 2021; Rosado et al., 2021).

A presença desses inimigos naturais na cultura do café pode reduzir significativamente a incidência de pragas e doenças, promovendo uma produção agrícola mais saudável e sustentável (Rosado et al., 2021). Apesar disso, a presença abundante desses organismos benéficos nas monoculturas de café pode não ser o bastante para controlar as populações de pragas abaixo dos níveis que causam prejuízos econômicos (Olson et al., 2005; Venzon et al., 2019).

Os artrópodes, como as formigas, podem desempenhar um papel fundamental nas dinâmicas das pragas do café em uma determinada região (Marchiori, 2020). As formigas, como *Pheidole* spp., *Azteca* spp. e *Solenopsis* spp., são capazes de prevenir danos causados pela broca do café, através da interrupção da atividade de oviposição das fêmeas, remoção dos ovos dos túneis dentro do fruto e alimentação dos imaturos deste Coleoptera. As formigas se tornaram os predadores mais estudados para o controle desta praga em campos que possuem monocultivo ou consórcios de café (Morris & Perfecto, 2018).

Apesar do importante papel das formigas, os trabalhadores das fazendas de café geralmente têm uma visão negativa desses insetos devido à sua agressividade durante a colheita, os predadores são frequentemente negligenciados como inimigos naturais no controle aumentativo de pragas do café (Philpott & Armbrecht, 2006; Offenberg, 2015). Além disso, algumas interações podem elevar o nível populacional de insetos pragas. Marchiori (2020) constatou que interação de formigas agressivas com cochonilhas na cultura da cana de açúcar, resultaram em um aumento significativo das pragas nas plantas, isso devido ao excremento liberado por esses hemípteros fitófagos, chamado de *honeydew* (fezes açucaradas), que faz com que as formigas protejam insetos pragas de outros possíveis predadores/inimigos naturais. Estudos anteriores também comprovaram os efeitos positivos da interação com as formigas para os hemípteros fitófagos, resultando no aumento da densidade populacional da praga na presença das formigas (Calaibug et al., 2014) e na proteção contra seus predadores naturais (Daane et al., 2007).

A disponibilidade e busca de recursos desempenham um papel crucial na determinação da abundância de organismos, incluindo formigas e outros insetos sociais, que têm uma importância significativa na agricultura, conforme indicado por Philpott & Armbrcht (2006). A compreensão da interação entre a paisagem, a biodiversidade e a

agricultura é fundamental para promover sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis, como ressaltado por Aristizábal e Metzger (2019). Suas pesquisas mostraram que em paisagens com uma maior cobertura florestal próxima às áreas de cultivo agrícola, houve uma maior presença de formigas predadoras, o que resultou em um aumento na produtividade do café. Isso ocorreu devido ao fenômeno de transbordamento, no qual esses insetos se deslocam da mata para as áreas de cultivo. No entanto, essa relação não foi observada em paisagens com uma estrutura mais simplificada. Isso ressalta a importância de preservar e promover a presença de habitats florestais nas proximidades das áreas agrícolas, pois eles desempenham um papel crucial na promoção da biodiversidade e no fornecimento de serviços ecossistêmicos benéficos para a agricultura.

As formigas também desempenham papéis importantes na ciclagem de nutrientes e na formação e perfil do solo, como mencionado por Longino *et al.* (2002). Além disso, esses insetos e outros insetos sociais desempenham funções vitais na agricultura, como polinização, controle de pragas e decomposição de matéria orgânica. A profundidade da camada de serapilheira, por exemplo, pode ser um fator determinante para a abundância dessas espécies, visto que ela oferece tanto habitat quanto recursos alimentares (Diehl *et al.*, 2005; Lima *et al.*, 2007). Por outro lado, sua interação com as plantas e o solo influencia a saúde do ecossistema agrícola como um todo (Lovatto *et al.*, 2012), pois o tipo de vegetação e a diversidade de plantas em um local afetam a composição das comunidades de formigas, uma vez que espécies diferentes de formigas têm preferências distintas por microhabitats e fontes alimentares (Pereira *et al.*, 2007). Em ambientes antropizados, como plantações de café, fatores como as variações na cobertura vegetal, a presença de sistemas agroflorestais e a intensidade de manejo agrícola podem impactar a diversidade e abundância das formigas, alterando suas funções ecológicas (Vargas *et al.*, 2007). Da mesma forma o microclima local, como a intensidade da sombra e a umidade relativa do ar, também pode influenciar a atividade das formigas, sendo um fator adicional a ser considerado em estudos sobre sua ecologia (Brühl *et al.*, 1998).

Para melhor compreender a ecologia e tomar decisões que promovam a sustentabilidade ambiental, é essencial adquirir conhecimento sobre a paisagem e as funções desempenhadas por esses organismos. Compreender os padrões de distribuição, os fluxos de recursos e as interações entre as espécies permite o desenvolvimento de estratégias de manejo que reduzem o uso excessivo de produtos sintéticos e promovem alternativas sustentáveis.

Portanto, o conhecimento da ecologia desses insetos sociais e sua interação com o ambiente agrícola é fundamental para desenvolver abordagens integradas que preservem a biodiversidade, a saúde do solo e a produção sustentável de alimentos. Com base nessa premissa, este estudo tem como objetivo geral analisar os efeitos dos fatores locais e da paisagem sobre as comunidades de formigas e suas funções ecológicas em cafezais a pleno sol, com foco na interação entre esses fatores e a biodiversidade associada aos agroecossistemas. Para alcançar esse objetivo, os capítulos deste estudo foram organizados em torno de objetivos específicos, cada um direcionado a uma questão central da pesquisa. Esses objetivos incluem:

Capítulo 1: Avaliar a riqueza, abundância e composição das comunidades de formigas em cultivos de café a pleno sol, investigando a influência de fatores locais, como a presença de cochonilhas e da serapilheira, bem como a cobertura florestal nas proximidades dessas plantações.

Capítulo 2: Analisar os efeitos da paisagem e de fatores locais sobre as funções ecológicas em agroecossistemas, com foco na avaliação do risco de predação de artrópodes em monocultivos de café, utilizando modelos artificiais de presas. Esse capítulo busca entender como fatores como a serapilheira, a presença de cochonilhas e a cobertura florestal influenciam a dinâmica predatória nos cafezais.

Esses objetivos específicos abordam aspectos como a influência de fatores locais e da paisagem sobre as comunidades de formigas e suas funções ecológicas, além dos impactos do manejo agrícola e das condições ambientais na dinâmica das populações de formigas e no equilíbrio ecológico desses sistemas agrícolas.

AREA DE ESTUDO

A pesquisa foi conduzida no distrito de Novo Brasil ($19,22183^{\circ}$ S, $40,59236^{\circ}$ O), pertencente ao Município de Governador Lindenberg – ES (Figura 2), que apresenta 360 km^2 e 13.047 habitantes, e está localizado na Região Noroeste do Estado do Espírito Santo (IBGE, 2023). O clima é quente e úmido, tipo Aw, ou seja, tropical chuvoso, com estação seca no inverno pela classificação de Köppen e Geiger (1928), dados estes atualizados por Alvares *et al.*, (2014), com 1152,1 mm de precipitação por ano, temperatura média de $24,0^{\circ}\text{C}$ (PROATER, 2020).

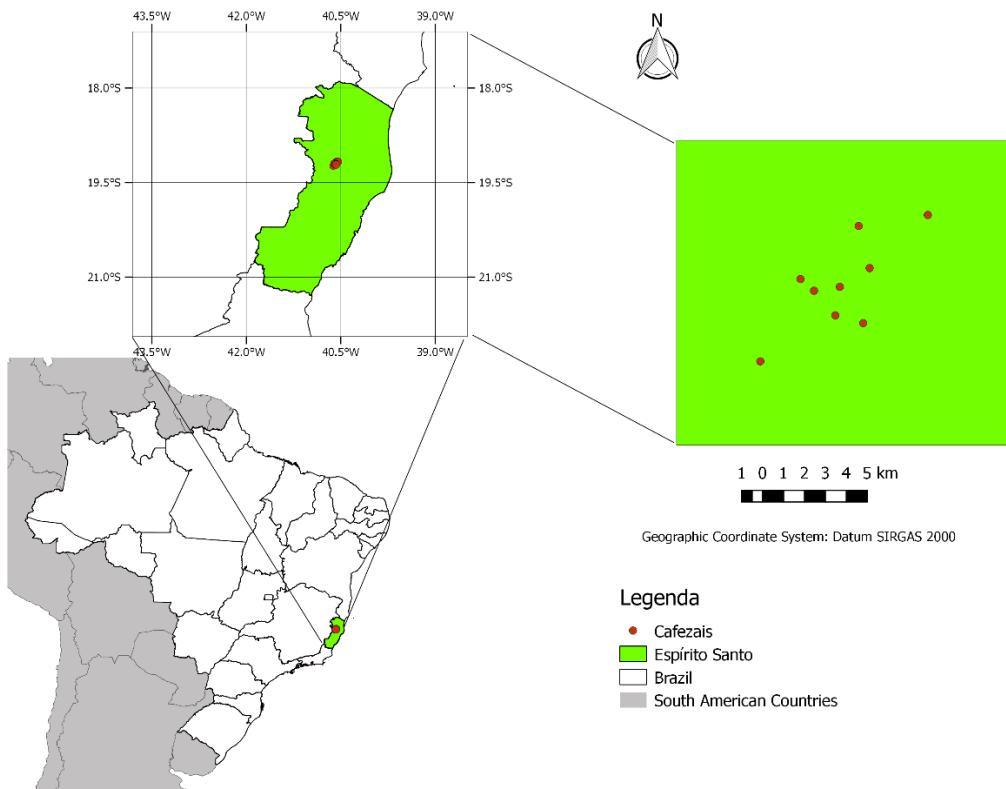


Figura 1. Mapa do Brasil indica a localização do experimento realizado no Vale do Rio Doce, no município de Governador Lindenberg, Espírito Santo. A área em **cinza clara** representa o território brasileiro, enquanto a área em **cinza** destaca o estado do Espírito Santo. O ponto em **verde** marca o local do estudo, situado no distrito de Novo Brasil, em uma região de cafezais. O mapa inclui escala gráfica e utiliza o sistema de regiões geográficas SIRGAS 2000. Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

O território de Novo Brasil pertence ao Bioma Mata Atlântica e a fitofisionomia natural mais representativa é a Floresta Ombrófila. Atualmente, a maior parte dos habitats naturais do município apresentam-se alterados por atividades antrópicas, restando uma pequena parcela da superfície do município coberta com florestas nativas (IBGE, 2023).

Cabe ressaltar que a derrubada de florestas para o cultivo agrícola no Espírito Santo foi intensa no período colonial, quando houve uma exploração significativa dos recursos naturais, incluindo a remoção de florestas para dar lugar a plantações e atividades agrícolas com a principal cultura sendo o cultivo de café e posteriormente pastagens (Milaré, 2020).

O processo de desmatamento experimentou uma intensificação significativa ao longo do século XX, sendo potencializado pelo avanço da industrialização e o consequente crescimento populacional. Este fenômeno foi ainda mais acentuado com a implementação de rodovias (Carvalho & Matos, 2015).

Desta forma, Carvalho & Matos, (2015) destaca que a abertura da atual BR-101, que obteve sua rota paralela ao litoral, fez com que estabelecesse uma ligação vital entre as

localidades de Linhares e São Matheus com o sul da Bahia. Tal empreendimento logístico não apenas alterou as dinâmicas de transporte na região, mas também teve impactos substanciais sobre amplas sub-regiões do Espírito Santo. A interligação propiciada por essa rodovia desempenhou um papel preponderante no processo de transformação do ambiente, influenciando diretamente o desmatamento e suas consequências sobre a paisagem e a biodiversidade locais.

Com base nos dados do Censo Agropecuário de 2017, foi constatado que 56,61% das propriedades do município de Novo Brasil possuem áreas de Florestas Naturais designadas para a preservação permanente ou como reserva legal. Além disso, foi identificado que 14,9% dos estabelecimentos possuem áreas de Matas ou Florestas Plantadas. Fato este que podemos perceber nas propriedades estudadas, pois em sete cafezais que anteriormente era uma área de mata se transformou em plantações de café (Figura 2), enquanto outras duas passaram da condição de mata para pastagem, onde posteriormente deu lugar para o cultivo de café conilon.



Figura 2: Vista de um dos cafezais estudados, localizado próximo a um fragmento de mata nativa. A imagem ilustra a interface entre o sistema agrícola e o ambiente florestal, destacando a paisagem típica da área de pesquisa, localizado no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES Fonte: Próprio autor.

A cultura do café conilon desempenha um papel de destaque como principal atividade agrícola no município correspondendo 90% das lavouras permanentes, contribuindo significativamente para o desenvolvimento social e econômico da região. Além de ser uma fonte vital de renda para os agricultores locais, o cultivo do café conilon também desempenha

um papel crucial na fixação da população agrícola e na criação de empregos, promovendo a sustentabilidade da comunidade rural (Proater, 2020).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCOCK, J. (2011). **Animal Behavior: an evolutionary approach**. 9. ed. Porto Alegre: Artmed. 624p.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GOLÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- AMARAL, D. S., VENZON, M., PALLINI, A., LIMA, P. C., and SOUZA, O. (2010). A diversificação da vegetação reduz o ataque do bicho-mineiro-do-cafeeiro Leucoptera coffeella (Guérin-mèneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae)? *Neotrop. Entomol.* 39, 543–548. doi: 10.1590/S1519-566X2010000400012.
- ARISTIZÁBAL, N., & METZGER, J. P. Landscape structure regulates pest control provided by ants in sun coffee farms. *Journal of Applied Ecology*, 56(1), 21–30. 2019.
- AZEVEDO, D.L.O. (2009). **The role of routes and information gathering on the foraging efficiency of Dinoponera quadriceps in an environment Natural**. Dissertation (Master in Psychobiology), Natal - RN, University Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, 83p.
- BELAN, L. L., SILVA, K. G., TOMAZ, M. A., de JESÚS JUNIOR, W. C., DO AMARAL, J. A. T., & DO AMARAL, J. F. T. (2011). Aspectos fisiológicos do cafeeiro conilon: uma abordagem sistemática. *Nucleus*, 8(1), 1-16.
- BERNARDES, M. S., & KHATOUNIAN, C. A. (2013). **Cafeicultura a pleno sol supera o vantajoso sistema agroflorestal**. Revista Visão Agrícola, (12).
- BIANCHI, F. J. J. A., Booij, C. J. H. & Tscharntke, T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity, and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B* 273, 1715–1727.
- BLITZER, E. J., DORMANN, C., HOLZSCHUH, A., KLEIN, A.-M., RAND, T. & TSCHARNTKE, T. (2012). Functionally important spillover of organisms across the

managed system-natural habitat interface—a review. **Agriculture Ecosystems and Environment** 146, 34–43.

BOTTI, J. M. C., MARTINS, E. F., FRANZIN, M. L., and VENZON, M. (2021). Predation of coffee berry borer by a green lacewing. **Neotrop. Entomol.** doi: 10.1007/s13744-021-00884-0.

BRAGANÇA, S.M. **Crescimento e acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro conilon (Coffea canephora Pierre)**. 2005. 99 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa.

BRAGANÇA, S.M. et al. Variedades clonais de café Conilon para o Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 05, p. 765-770, 2001.

BROWN, G., COOPER, M., KOBAYASHI, M., 2020. **Threats to soil biodiversity – global and regional trends**, in: FAO, ITPS, GSBI, CBD, EC (Eds.), State of Knowledge of Soil Biodiversity: Status, Challenges and Potentialities. FAO, Roma, pp. 191–262.

BRÜHL, C. A., SCHILTHUIZEN, M., & LINSENMAIR, K. E. (1998). Influence of climatic and vegetational factors on ant communities in tropical forests. **Ecological Entomology**, 23(4), 329-336.

CALABUIG, A.; GARCIA-MARÍ, F.; PEKAS, A. Ants affect the infestation levels but not the parasitism of honeydew and non-honeydew producing pests in citrus. **Bulletin of Entomological Research**, v.104, n.4, p.405-417, 2014.

CARVALHO, A. S., & MATOS, R. (2016). O ciclo madeireiro e a devastação da Mata Atlântica da Bacia do Rio Doce na primeira metade do século XX. **Revista Geografias**, 175-202.

CARVALHO C, SANTOS CE, TREICHEI M, FILTER C.F (2018) **Anuário brasileiro do café**, 96 p.

CLOUGH, Y., KRUESS, A., KLEIJN, D. & TSCHARNTKE, T. (2005). Spider diversity in cereal fields: comparing factors at local, landscape and regional scales. **Journal of Biogeography** 32, 2007–2014.

COLLINGE, S. K. (2009). Ecology of Fragmented Landscapes. **The John Hopkins University Press**, Baltimore.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2021) **Acompanhamento da safra brasileira: café**. Brasília: CONAB, 48. (CONAB. Documento Nº 3).

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, Brasília, DF, v.9, safra 2022, n. 1, primeiro levantamento janeiro 2022a.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café, Brasília, DF**, v.9, safra 2022, n. 4, quarto levantamento dezembro 2022b.

CURE, J. R., RODRÍGUEZ, D., GUTIERREZ, A. P., and PONTI, L. (2020). **The coffee agroecosystem: bio-economic analysis of coffee berry borer control (Hypothenemus hampei)**. Sci. Rep. 10:12262. doi: 10.1038/s41598-020-68989-x.

DAANE, K. M.; SIME K. R.; FALLON J.; COOPER, M.L. Impacts of Argentine ants on mealybugs and their natural enemies in California's coastal vineyards. **Ecological Entomology**, v. 32, n. 6, p. 583-596, 2007.

DA FONSECA, C.R. (2017). **Diversity of tree species and its relationship with the history of anthropic disturbance in an urban landscape of the Atlantic Forest**. Doctoral Thesis 90p.

DAMON, A. (2000). A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). **Bull. Ent. Res.** 90, 453–465. doi: 10.1017/S0007485300000584.

DIEHL, E., OLIVEIRA, L. E., & DUARTE, M. R. (2005). Effects of litter depth on the abundance and diversity of ants (Hymenoptera: Formicidae) in a tropical rainforest. *Journal of Tropical Ecology*, 21(5), 497-503.

DOS SANTOS S., LIDIANY et al. Comportamento das exportações da agroindústria brasileira do café e interações com agentes produtivos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e39210313503-e39210313503, 2021.

ELIZALDE, L., FARJI-BRENER A. (2012). To be or not to be faithful: flexible fidelity to foraging trails in the leaf-cutting ant *Acromyrmex longicorns*. **Ecological Entomology**, 37: 370-376.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Principais pragas do cafeiro no contexto do manejo integrado de pragas**. (2015). Acesso em 17/04/2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/6694669/artigo---principais-pragas-do-cafeiro-no-contexto-do-manejo-integrado-de-pragas>.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Safra dos Cafés do Brasil totaliza 50,92 milhões de sacas de 60kg de café em 2022**. (2022). Acesso em: 17/04/2022. Disponivel em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/77216868/safra-dos-cafes-do-brasil-totaliza-5092-milhoes-de-sacas-de-60kg-de-cafe-em-2022>.

FAOSTAT, 2019. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. URL <http://faostat.fao.org/faostat>. (accessed 04.17.23).

FASSIO, L.H.; SILVA, A.E.S. da. **Importância econômica e social do café Conilon**. In: **FERRÃO,R.G.et al. (Ed.)**. Café Conilon. Vitória, ES: Incaper, 2007, p. 37-52.

- FERNANDES, F. L., PICANÇO, M. C., ZAMBOLIM, L., QUEIROZ, R. B., PEREIRA, R. M., BENEVENUTE, J. S., et al. (2008). Spatial and temporal distributions of predator wasps and indirect effects of the irrigation. **Sociobiology**. 52, 543–551.
- FORNAZIER M. J. (2016) **Bioecologia, dano e controle de Planococcus Citri (Risso) (Hemiptera: Pseudococcidae) em Coffea Canephora Pierre Ex Froehner (Rubiaceae)**. 91 f. Tese (Doutorado em Entomologia) - UFV, Viçosa.
- FORTES, A. et al. Comunidade de formigas (hymenoptera: formicidae) em cultivo de café orgânico no município de poço fundo-minas gerais. (2020). **11ª Jornada Científica e Tecnológica e 8º Simpósio da Pós-Graduação do IFSULDEMINAS**. ISSN: 2319-0124.
- FREITAS, C.H. (2008). Agricultural crops and the diet of bearded capuchin monkeys *Cebus libidinous*, Spix (Primates: Cebidae) in forest fragments in southeast Brazil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 25, n. 1, p. 32-39.
- GARDINER, M. M., LANDIS, D. A., GRATTON, C., DIFONZO, C. D., O'NEAL, M., CHACON, J. M., WAYO, M. T., SCHMIDT, N. P., MUELLER, E. E. & HEIMPEL, G. E. (2009a). Landscape diversity enhances the biological control of a introduced crop pest in the north-central U.S. **Ecological Applications** 19, 143–154.
- GARDINER, M. M., LANDIS, D. A., GRATTON, C., SCHMIDT, N., O'NEAL, M., MUELLER, E., CHACON, J., HEIMPEL, G. E. & DIFONZO, C. D. (2009b). Landscape composition mediates exotic and native coccinellid community structures. **Diversity and Distributions** 15, 554–564.
- GIBBS, H.K.; RUESCH, A.S.; ACHARD, F.; CLAYTON, M.K.; HOLMGREN, P.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J.A. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** 2010, 107, 16732.

- GIRALDO-JARAMILLO, M., GARCIA-GONZALEZ, J., and RUGNO, J. B. (2019). Fertility life table of *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae) at seven temperatures in coffee. **Am. J. Entom.** 3, 70–76. doi: 10.11648/j.aje.20190304.12.
- GOVERNADOR LINDENBERG. História da cidade. Disponível em: <https://governadorlindenberg.es.gov.br/historia-da-cidade/#:~:text=A%20comunidade%20d%20Governador%20Lindenberg,aberta%20no%20meio%20da%20floresta>. Acesso em: 18 de novembro de 2023.
- GRAZIA J, CAVICHIOLI RR, WOLFF VRS, FERNANDES JAM, Takiya D (2012). Hemíptera. In: Rarafel, J. A.; Melo, G. A. R.; Carvalho, C. J. B. De; Casari, S. A.; Constantino, R. (Ed). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Holos, p. 347-405.
- HENDRICKX, F., Maelfait, J., VAN WINGERDEN, W., SCHWEIGER, O., Speelmans, M., Aviron, S., AUGENSTEIN, I., BILLETER, R., BAILEY, D., BUKACEK, R., Burel, F., DIEK'OTTER, T., DIRKSEN, J., HERZOG, F., LIIRA, J., ROUBALOVA, M., VANDOMME, V. & Bugster, R. (2007). How landscape structure, land-use intensity, and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. **Journal of Applied Ecology** 44, 340–351.
- HEIL, M. (2015). Extrafloral nectar at the plant-insect interface: a spotlight on chemical ecology, phenotypic plasticity, and food webs. **Ann. Rev. Entomol.** 60, 213–232. doi: 10.1146/annurev-ento-010814-020753.
- HIGA RCV, CARDOSO DJ, ANDRADE GDC, ZANATTA, JA, ROSSI LMB, PULROLNIK, K, Salis SD (2014) **Protocol for measuring and estimating forest biomass and carbon**. Colombo: Embrapa Forests 1.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e estatistica. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es/governador-lindenberg.html>. Acesso em: 20/05/2023.
- IBGE: Instituto brasileiro de geografia e estatistica: **O que é um Ecossistema e um Bioma**. Dicionário Ambiental. ((o))eco, Rio de Janeiro, jul. 2014. Disponível em:

<<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28516-o-que-e-um-ecossistema-e-um-bioma/>>. Acesso em: 16/05/2023.

JARAMILLO, J., BORGEMEISTER, C., and BAKER, P. (2006). Coffee berry borer Hypothenemus hampei (Coleoptera: Curculionidae): searching for sustainable control strategies. **Bull. Ent. Res.** 96, 223–233. doi: 10.1079/BER2006434.

JOHNSON, M. A., RUIZ-DIAZ, C. P., MANOUKIS, N. C., and RODRIGUES, J. C. V. (2020). Coffee berry borer (Hypothenemus hampei), a global pest of coffee: Perspectives from historical and recent invasions, and future priorities. **Insects** 882, 2–35. doi: 10.3390/insects11120882.

KENNEDY CM, MARRA PP. Matrix mediates avian movements in tropical forested landscapes: inference from experimental translocations. **Biological Conservation** 2010; 143(9): 2136-2145. 10.1016/j.biocon.2010.05.025.

KRAUSS, J., KLEIN, A. M., STEFFAN-DEWENTER, I.&TSCHARNTKE, T. (2004). Effects of habitat area, isolation, and landscape diversity on plant species richness of calcareous grasslands. **Biodiversity and Conservation** 13, 1427–1439.

LANAN, M. (2014). Spatiotemporal resource distribution and foraging strategies of ants (Hymenoptera: Formicidae). **Myrmecological News**, 20: 53-70.

LANDIS, D. A., WRATTEN, S. D. & GURR, G. M. (2000). **Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture**. Annual Review of Entomology 45, 175–201.

LARSEN, A., and PHILPOTT, S. M. (2010). Twig-nesting ants: the hidden predators of the coffee berry borer in Chiapas, Mexico. **Biotropica** 42, 342–347. doi: 10.1111/j.1744-7429.2009.00603.x

LEÃO, E. D. A. (2010). A produção de cafés especiais no Brasil e a emergência de novos padrões de competitividade.

- LEITE, S. A., SANTOS, M. P., RESENDE-SILVA, G. A., COSTA, D. R., MOREIRA, A. A., LEMOS, O. L., et al. (2020). Area-wide survey of chlorantraniliprole resistance and control failure likelihood of the neotropical coffee leaf miner *Leucoptera* coffee (Lepidoptera: Lyonetiidae). *J. Econ. Entomol.* 113, 1399–1410. doi: 10.1093/jee/toaa017.
- LIMA, C. de S. **Macrofauna edáfica e mirmecofauna (hymenoptera: formicidae) em diferentes paisagens e sistemas de usos do solo no bioma cerrado, Brasil.** (2020) Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES.
- LIMA, E., VASCONCELOS, H. L., & RIBEIRO, S. P. (2007). Influence of litter depth on ant diversity in tropical forests. *Entomological Science*, 10(4), 307-314.
- LOVATTO, P. B., SCHIEDECK, G., & GARCIA, F. R. M. (2012). The co-evolutionary interaction between insects and plants as a strategy for agroecological management in sustainable agroecosystems. *Interciênciac*, 37(9), 657-663.
- MARCHIORI, J. J. DE P. (2020). **Mirmecofauna e suas interações com hemípteros fitófagos em áreas cultivadas.** Instituto de ciências biológicas e da saúde-icbs programa de pós-graduação em fitossanidade e biotecnologia aplicada. p.62.
- MELO, F. F. S. (2021). **Um novo capilovírus em *Copaifera langsdorffii* Desf. (Copaíba) no Brasil central.** Monografia (Graduação - Engenharia Florestal) Universidade de Brasília. Brasilia. p, 41.
- MILARÉ, E. (2020). Environmental law [electronic book]. 5. ed. **e-book, based on the 12th ed. printed.** Sao Paulo: Thomson Reuters Brazil.
- MONTOYA-LERMA, J., GIRALDO-ECHEVERRI, C., ARMBRECHT, I., FARJIBRENER, A., CALLE, Z. Leaf-cutting ants revisited: towards rational management and control. *International Journal of Pest Management*, 58(3), 225- 247. 2012.

MORELLATO LPC e Haddad CFB (2000) Introduction: The Brazilian Atlantic Forest.

Biotropica 32: 786–792.

MOREIRA, C. C., CELESTINO, D., GUERRA SOBRINHO, T., CARDOSO, I. M., and ELLIOT, S. L. (2019). Agroforestry coffee soils increase the insect-suppressive potential offered by entomopathogenic fungi over full-sun soils: a case proposing a “bait survival technique. **Ecol. Evol.** 9, 10777–10787. doi: 10.1002/ece3.5598.

MOREIRA AA, FORTI LC, BOARETTO MAC, ANDRADE APP, LOPES JFS, RAMOS VM. External and internal structure of *Atta bisphaerica* Forel (hymenoptera: Formicidae) nests. **Journal Application Entomology** 128:204–211. 2004

MORRIS JR, JIMÉNEZ-SOTO E, PHILPOTT SM, PERFECTO I (2018) Ant-mediated (Hymenoptera: Formicidae) biological control of the coffee borer: diversity, ecological complexity, and conservationist biocontrol. **News Myrmecol** 26:1–17.

MUSCHLER, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v. 85, p. 131–139, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/226034261_Shade_improves_coffee_quality_in_a_sub-optimal_coffee-zone_of_Costa_Rica. Acesso em: 05 jan. 2025.

MYERS N, MITTERMEIER RA, MITTERMEIER CG, FONSECA GAB. KENT, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature** 403:853–858.

OFFENBERG J (2015) Ants as tools in sustainable agriculture. **J Appl Eco** 52:1197–1205.<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12496>.

OLIVEIRA, B., & Silva, M. R. O. (2006). **Formigas do gênero azteca que nidificam em árvores reduzem os níveis de herbivoria?** Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil.

OLIVEIRA, C.M.; AUAD, A.M.; MENDES, S.M.; FRIZZAS, M.R. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, v.56, p.50-54, 2014.

OLSON, D. M., TAKASU, K., and LEWIS, W. J. (2005). **Parasitoids: Behavioral Adaptations and Consequences, in Plant-Provided Food for Carnivorous Insects: a Protective Mutualism and Its Applications**, eds F. L. Wäckers, P. C. J. van Rijn, and J. Bruin (Cambridge: Cambridge University Press), 137–147. doi: 10.1017/CBO9780511542220.006.

PERFECTO, I. VANDERMEER, J. PHILPOTT, S.M. **Complex Ecological Interactions in the Coffee Agroecosystem**. The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. 2014. 45:137–58.

PERFECTO I, VANDERMEER J. The agroecological matrix as an alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 2010; 107(13): 5786-5791. 10.1073/pnas.0905455107.

PEREIRA, L. L., SOUZA, J. R., & MARTINS, M. A. (2007). Vegetation structure and ant community composition in tropical agroecosystems. *Insect Conservation and Diversity*, 6(3), 211-219.

PETERS, V. E., CARLO, T. A., MELLO, M. A., RICE, R. A., TALLAMY, D. W., CAUDILL, S. A., et al. (2016). Using plant–animal interactions to inform tree selection in tree-based agroecosystems for enhanced biodiversity. **BioScience** 66, 1046–1056. doi: 10.1093/biosci/biw140.

PHILPOTT, S. M., ARENDT, W. J., ARMBRECHT, I., BICHIER, P., DIESTCH, T. V., GORDON, C. M., et al. (2008). Biodiversity loss in Latin American coffee landscapes: a review of the evidence on ants, birds, and trees. **Conserv. Biol.** 22, 1093–1105. doi: 10.1111/j.1523-1739.2008.01029.x

PHILPOTT, S. M., and ARMBRECHT, I. (2006). Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. **Environ. Entomol.** 31, 369–377. doi: 10.1111/j.1365-2311.2006.00793.x.

PROATER- Programa de assistência técnica e extensão rural, Governador lindenberg 2020-2023. Disponível

em: https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Governador_Lindenberg.pdf. Acesso em: 20/05/2023.

PIATO, K., SUBÍA, C., PICO, J., CALDERÓN, D., NORGROVE, L., and LEFORT, F. (2021). Organic farming practices and shade trees reduce pest infestations in robusta coffee systems in Amazonia. **Life** **11:413**. doi: 10.3390/life11050413.

PUMARIÑO, L., SILESHI, G. W., GRIPENBERG, S., KAARTINEN, R., BARRIOS, E., MUCHANE, M. N., et al. (2015). Effects of agroforestry on pest, disease and weed control: a meta-analysis. **Basic Appl. Ecol.** **16**, 573–582. doi: 10.1016/j.baae.2015.08.006.

RAND, T. A., TYLIANAKIS, J. M. & TSCHARNTKE, T. (2006). Spillover edge effects: the dispersal of agriculturally subsidized insect predators into adjacent natural habitats. **Ecology Letters** **9**, 603–614.

REIS PR, SOUZA JC, SANTA-CECILIA LVC, SILVA RA, ZACARIAS MS (2010) **Manejo integrado de pragas do cafeiro**. In: Reis, P. R.; Cunha, R. L. (Ed.). Café arábica: do plantio a colheita. Lavras, MG: Epamig. 573-688.

REZENDE, M. Q., VENZON, M., PEREZ, A. L., CARDOSO, I. M., and JANSSEN, A. (2014). Extrafloral nectaries of associated trees can enhance natural pest control. **Agric. Ecosyst. Environ.** **188**, 198–203. doi: 10.1016/j.agee.2014.02.024.

RIBEIRO MC, METZGER JP, MARTENSEN AC, PONZONI, FJ, HIROTA MM (2009) The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation** **142:1141–1153**.

RICKETTS, T., REGETZ, J., STEFFAN-DEWENTER, I., CUNNINGHAM, S. A., KREMEN, C., BOGDANSKI, A., GEMMILL-HERREN, B., GREENLEAF, S. S., KLEIN, A.-M., MAYFIELD, M. M., MORANDIN, L. A., OCHIENG, A. & VIANA, F. B. (2008).

Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? Ecology Letters 11, 499–515.

RIES, L., FLETCHER, R. J., BATTIN, J. & SISK, T. D. (2004). **Ecological responses to habitat edges: mechanisms, models, and variability explained.** Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 35, 491–522.

RODRIGUES-SILVA, N., DE OLIVEIRA CAMPOS, S., DE SÁ FARIAS, E., DE SOUZA, T. C., MARTINS, J. C., and PICANÇO, M. C. (2017). The relative importance of natural enemies and abiotic factors as sources of regulation of mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae) in Brazilian coffee plantations. **An. Appl. Biol.** 171, 303–315. doi: 10.1111/aab.12373.

ROSADO, M. C., ARAÚJO, G. J., PALLINI, A., and VENZON, M. (2021). Cover crop intercropping increases biological control in coffee crops. **Biol. Control** 160:104675. doi: 10.1016/j.biocontrol.2021.104675.

SANTA-CECÍLIA LVC, SOUZA B (2014) Cochonilhas-farinhetas de maior ocorrência em cafeeiros no Brasil. Informe Agropecuário 35:45-54.

SANTA-CECÍLIA LVC, PRADO E, SOUZA B, SILVA KH (2020) **Cochonilhas do cafeiro no Brasil e seus inimigos naturais: uma síntese.** Belo Horizonte: EPAMIG, 2020, 72p.

SAUNDERS, M.E., PEISLEY, R. K., RADER, R. LUCK, G.W. (2016). Pollinators, pests, and predators: Recognizing ecological trade-offs in agroecosystems. **Royal Swedish Academy of Sciences.** 45:4–14.

SCHMIDT, M. H. & TSCHARNTKE, T. (2005a). Landscape context of Sheetweb spider (Araneae: Linyphiidae) abundance in cereal fields. **Journal of Biogeography** 32, 467–473.

SCHMIDT, M. H. & TSCHARNTKE, T. (2005b). The role of perennial habitats for Central European farmland spiders. **Agriculture Ecosystems and Environment** 105, 235–242.

SILVA, R. A., SOUZA, J. C., REIS, P. R., CARVALHO, T. A. F., and ALVES, J. P. (2014).

Pragas do cafeiro: bioecologia e manejo integrado. Inf. Agropec. 35, 7–13.

SOUZA, P. F. Indústria madeireira. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1947.

SOUZA, H., CARDOSO, I., FERNANDES, J., GARCIA, F., BONFIM, V., SANTOS, A., et al. (2010). Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. **Agroforest. Syst.** 80, 1–16. doi: 10.1007/s10457-010-9340-9.

SUN, S., WANG, Z., LIU, A., LAI, S., WANG, J., MENG, Q., et al. (2020). First record of the coffee berry borer, Hypothemus hampei (Ferrari)(Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) on Hainan Island, China. **Coleopterists Bull.** 74, 710–713. doi: 10.1649/0010-065X-74.4.710.

TEODORO, A., KLEIN, A. M., REIS, P. R., and TSCHARNTKE, T. (2009). Agroforestry management affects coffee pests contingent on the season and developmental stage. **Agric. Forest Entomol.** 11, 295–300. doi: 10.1111/j.1461-9563.2008.00417.

TNC - The Nature Conservancy (2021) Mata Atlântica. Disponível em:
https://www.tnc.org.br/sobre-atnc/onde-trabalhamos/mata-atlantica/?gclid=CjwKCAjwzaSLBhBJEiwAJSRokrF4_Z4L85T9JblX0WPsmkTMbPHzRL8ppBawQSqHtCSKfct4fq_BoCqPkQAvD_BwE.

TSCHARNTKE, T., TYLIANAKIS, J. M., RAND, T. A., DIDHAM, R. K., FAHRIG, L., BATÁRY, P., ... & WESTPHAL, C. (2012). Landscape moderation of biodiversity patterns and processes-eight hypotheses. **Biological reviews**, 87(3), 661-685.

TUBELIS, D. P., Lindenmayer, D. B. & Cowling, A. (2004). Novel patch-matrix interactions: patch width influences matrix use by birds. **Oikos** 107, 634–644.

VEGA, F. E., INFANTE, F., CASTILLO, A., and JARAMILLO, J. (2009). The coffee berry borer Hypothemus hampei (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae):a short review, with

recent findings and future research directions. *Terr. Arthropod. Rev.* 22, 129–147. doi: 10.1163/187498209X12525675906031.

VARGAS, L., ALMEIDA, W., & SILVA, A. (2007). Effects of agricultural management practices on ant diversity in coffee plantations. *Agricultural and Forest Entomology*, 9(4), 301-308.

VENZON, M., AMARAL, D. S. S. L., TOGNI, P. H. B., and CHIGUACHI, J. A. M. (2019).

Interactions of natural enemies with non-cultivated plants, in Natural Enemies of Insect Pests in Neotropical Agroecosystems, eds B. Souza, L. Vázquez, R. Marucci (Cham: Springer), 15–26. doi: 10.1007/978-3-030-24733-1_2.

VENZON, M., (2021). Agro-ecological management of coffee pests in Brazil. *Front. Sustain. Food Syst.* 5, 721117. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.721117>.

VIDOLIN, G.P.; MIKICH, S.B. (2004). *Cebus nigritus* (Primates: Cebidae) in P. E. Vila Rica do Espírito Santo, Fênix – PR: **population estimate and home range, composition and group dynamics**. p.196-205. In: Anais: Brazilian Congress of Protected Areas, 4, Curitiba. O Boticário Foundation for Nature Protection: National Network Pro-Conservation Units.

CAPÍTULO I

**EFEITO DE FATORES LOCAIS E DE PAISAGEM SOBRE A
DIVERSIDADE DE FORMIGAS EM CAFEZAIS NO VALE DO RIO
DOCE – GOVERNADOR LINDENBERG, ES, BRASIL.**

RESUMO

A intensificação agrícola tem causado impactos negativos significativos sobre a biodiversidade, especialmente em regiões tropicais como o bioma Mata Atlântica. Embora já existam estudos sobre a biodiversidade em cafezais sombreados, ainda falta investigação sobre os efeitos do manejo intensivo em sistemas a pleno sol, especialmente no Espírito Santo. Este estudo se propôs a preencher essa lacuna ao investigar os efeitos da serapilheira e da cobertura florestal na biodiversidade de formigas. As coletas foram realizadas entre dezembro de 2022 e janeiro de 2023 em nove cafezais, totalizando 108 plantas de café conilon, utilizando iscas atrativas compostas por sardinha (1 colher de sopa) e mel puro de abelha (1 colher de sopa), com o objetivo de capturar formigas forrageando sobre as plantas. Também foram usadas armadilhas de queda (*pitfall*), que permaneceram 48 horas em campo por ciclo de amostragem, totalizando 108 pontos amostrais. Foram identificadas 32 espécies de formigas, distribuídas em sete subfamílias, com predominância de Myrmicinae (15 espécies) e Formicinae (6 espécies). As análises estatísticas foram realizadas no R (versão 4.2.3). Os modelos estatísticos mostraram que a profundidade da serapilheira teve impacto significativo na abundância de formigas. O padrão de distribuição de abundância foi representado pelo modelo broken-stick em oito dos nove cafezais, indicando uma distribuição equilibrada entre espécies generalistas, como *Ectatomma brunneum* e *Dorymyrmex biconis*. Formigas mais especialistas, como *Cephalotes pusillus* e *Neivamyrmex pseudops*, foram raras, sugerindo que o manejo intensivo possa ter interferido negativamente nos nichos dessas espécies. A profundidade da serapilheira é crucial como recurso de nidificação e micro-habitat, favorecendo uma abundância de formigas e, consequentemente, os serviços ecossistêmicos. Ainda assim, foram identificadas lacunas no registro de algumas espécies em sistemas agrícolas intensivos, indicando que certas espécies podem estar ausentes ou sub-representadas, reforçando a necessidade de investigações adicionais em ambientes menos homogêneos. Os resultados demonstram a importância da serapilheira como recurso essencial para fornecer microhabitats e locais de nidificação, o que influencia diretamente a abundância de formigas e os serviços ecossistêmicos que elas prestam. Este estudo contribui para a formulação de práticas agrícolas que promovem a biodiversidade e a sustentabilidade em sistemas agrícolas tropicais.

Palavras-chave: Biodiversidade, cafezais a pleno sol, manejo agrícola intensivo.

ABSTRACT

Agricultural intensification has caused significant negative impacts on biodiversity, especially in tropical regions such as the Atlantic Forest biome. Although there are already studies on biodiversity in shaded coffee plantations, there is still a lack of research on the effects of intensive management in full-sun systems, especially in Espírito Santo. This study aimed to fill this gap by investigating the effects of leaf litter and forest cover on ant biodiversity. Collections were carried out between December 2022 and January 2023 in nine coffee plantations, totaling 108 conilon coffee plants, using attractive baits composed of sardines (1 tablespoon) and pure honey (1 tablespoon), with the aim of capturing ants foraging on the plants. Pitfall traps were also used, which remained in the field for 48 hours per sampling cycle, totaling 108 sampling points. Thirty-two ant species were identified, distributed in seven subfamilies, with a predominance of Myrmicinae (15 species) and Formicinae (6 species). Statistical analyses were performed in R (version 4.2.3). Statistical models showed that litter depth had a significant impact on ant abundance. The abundance distribution pattern was represented by the broken-stick model in eight of the nine coffee plantations, indicating a balanced distribution among generalist species, such as *Ectatomma brunneum* and *Dorymyrmex biconis*. More specialist ants, such as *Cephalotes pusillus* and *Neivamyrmex pseudops*, were rare, suggesting that intensive management may have negatively interfered with the niches of these species. Litter depth is crucial as a nesting resource and microhabitat, favoring an abundance of ants and, consequently, ecosystem services. However, gaps were identified in the records of some species in intensive agricultural systems, indicating that certain species may be absent or underrepresented, reinforcing the need for further investigations in less homogeneous environments. The results demonstrate the importance of leaf litter as an essential resource for providing microhabitats and nesting sites, which directly influences the abundance of ants and the ecosystem services they provide. This study contributes to the formulation of agricultural practices that promote biodiversity and sustainability in tropical agricultural systems.

Keywords: Biodiversity, full sun coffee plantations, intensive agricultural management.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos séculos, a agricultura tem sido um pilar da civilização, alimentando populações e impulsionando o desenvolvimento humano. No entanto, o ritmo acelerado de expansão das áreas agrícolas e a busca por aumento nas produções têm levado a uma série de desafios complexos. Entre eles, destaca-se a fragmentação e degradação dos ecossistemas naturais, resultando em perdas significativas de biodiversidade e serviços ecossistêmicos (Nagendra et al., 2004). Além disso, o uso indiscriminado de substâncias químicas sintéticas para controle de pragas agrícolas tem acarretado sérias consequências ambientais, afetando a qualidade dos recursos naturais, a diversidade biológica e a saúde humana (Lorini, 1997; Estrada, 2017). Diante desses desafios, crescem as preocupações acerca dos impactos ambientais negativos decorrentes das práticas agrícolas convencionais, instigando a necessidade de promover abordagens mais sustentáveis que visem a conservação da diversidade biológica (Tscharntke et al., 2012; Queiroz et al., 2017).

Uma das culturas agrícolas que tem tido um alto impacto, particularmente no Brasil, é a produção do café. O Brasil é líder mundial em produção e exportação de café (Soares et al., 2021). Os cafezais têm sido responsáveis por uma grande demanda de transformação de áreas naturais em agroecossistemas, resultando em paisagens altamente modificadas (Solar et al., 2016). Um exemplo disso é a região ocupada pelo bioma Mata Atlântica que, a partir de meados do século XIX, perdeu uma grande parte da cobertura florestal para o cultivo de café, entre outras atividades (Dean, 1997). Nesse intervalo de tempo, um total de 87,6 milhões de hectares de florestas naturais foi convertido em cultivos agrícolas ou em áreas com pastagens (MapBiomas, 2023). Tal processo reduziu a diversidade de espécies e comprometeu a resiliência dos ecossistemas (Tittensor et al., 2014).

A mudança na configuração da paisagem, especialmente devido à expansão das culturas agrícolas, pode facilitar o transbordamento de organismos para novos ambientes. Essa alteração na estrutura do ambiente proporciona aos organismos a oportunidade de se movimentarem entre diferentes habitats em busca das condições e recursos necessários para sua sobrevivência e reprodução (Landis et al., 2000). Por exemplo, o desmatamento para dar lugar a campos de cultivo pode criar corredores abertos que permitem que insetos migrem mais facilmente entre áreas anteriormente isoladas. Esse processo de dispersão pode ter importantes repercussões ecológicas e econômicas, influenciando tanto a dinâmica das populações de insetos quanto a produtividade agrícola das regiões afetadas (Sandwers et al., 2016). Os efeitos sobre os agroecossistemas podem ser benéficos, como o controle de pragas

agrícolas (Aristizábal, Metzger, 2019), bem como prejudiciais, tais como a disseminação de espécies-praga (Zanetti et al., 2014).

Além disso, os efeitos da implantação de agroecossistemas causam a destruição das florestas, que remove os recursos essenciais para diversas espécies e altera as condições ambientais vitais para a sobrevivência e reprodução delas, como temperatura e umidade, o que pode levar a um declínio significativo na biodiversidade (Amaral et al., 2019). Esses impactos repercutem na saúde dos ecossistemas, comprometendo sua capacidade de fornecer serviços essenciais para a humanidade (Hooper et al., 2012). No intuito de buscar a conciliação da produção agrícola com a conservação da diversidade biológica, faz-se necessário entender como os grupos de organismos vêm respondendo a essas alterações e identificar os principais fatores locais e da paisagem que afetam a diversidade das comunidades.

As formigas vêm sendo utilizadas em trabalhos para avaliar a importância dos fatores locais e da paisagem sobre a biodiversidade (e.g. De la Mora et al. 2013). As formigas podem ser influenciadas por vários fatores, incluindo o clima, a disponibilidade de recursos alimentares e para nidificação e a competição entre elas (Kaspari, 2000). A maioria dos estudos avaliam os efeitos de fatores locais sobre as formigas, entretanto menores números de trabalhos focaram nos efeitos da paisagem. Por exemplo, Dela Mora et al., (2013) encontraram que a cobertura florestal e a distância da floresta afetaram positivamente a diversidade de formigas. Entretanto, outros trabalhos afirmam que os fatores locais como as características do solo e temperatura, foram mais importantes quando comparados com fatores de paisagem (e.g. Bestelmeyer & Wiens 1996, Dauber et al. 2005 & Lasmar et., 2021).

No Brasil o sistema de cultivo mais utilizado para a produção de café é o cultivo a pleno sol (Ricci et al., 2002). Esse sistema de cultivo, diferente do que ocorre no México, pode impedir a ocorrência de várias espécies de formigas que habitam as florestas pela ausência das árvores. No México tem-se o manejo de café sombreado, o qual tem influência direta da copa das árvores sobre a biodiversidade nos cafezais (Philpott et al., 2008). Além da influência das árvores sobre as condições microclimáticas locais, há uma maior disponibilidade de serapilheira afetando positivamente a oferta de alimento e locais para nidificação das espécies de formigas (Armbrecht e Perfecto 2003; Bisceleua et al. 2009; McGlynn et al. 2009; Perfecto e Vandermeer 2002). Além disso, tanto para sistemas de cultivo

a pleno sol como em cultivos de café sombreado, pode haver um impacto negativo do trânsito de pessoas e máquinas, gerando compactação do solo, e dos tratos culturais que podem resultar na remoção da serapilheira ou controle de plantas herbáceas que oferecem recursos para as espécies de formigas.

As interações da mirmecofauna com outras plantas e insetos em agroecossistemas são importantes (Guimarães et al., 2007; Amaral, 2018). As plantas de café podem ser hospedeiras de várias espécies de insetos pertencentes à ordem Hemiptera (Holtz et al., 2015). Algumas dessas espécies são consideradas pragas que afetam a cultura do café no Brasil. Algumas espécies de hemípteros estabelecem relações mutualísticas com formigas, o que pode resultar no aumento da densidade populacional desses insetos (Guindani et al., 2017). Nesse cenário, as formigas desempenham um papel de proteção, defendendo os hemípteros de predadores e parasitóides, enquanto se beneficiam da ingestão de excreções açucaradas, conhecidas como *honeydew*, secretadas pelos hemípteros (Daane et al., 2007; Marchiori et al., 2023). Em plantações de café no sudeste do Brasil, espécies de cochonilhas, como *Coccus spp.* (Coccidae) sobre folhas e ramos novos (Granara de willink et al., 2010), *Planococcus spp.* (Pseudococcidae) associadas aos ramos, folhas, flores e frutos (Santa-Cecília, souza, 2014) e *Dysmicoccus spp.* (Pseudococcidae) com predominância nas raízes (Granara de willink, 2009; Fornazier et al., 2017), são frequentemente encontradas nas plantas e podem oferecer recursos para as espécies de formigas.

A cafeicultura é uma atividade de grande relevância econômica e ambiental no Brasil, mas ainda sabemos pouco sobre os efeitos do cultivo de café a pleno sol na biodiversidade. Enquanto na Colômbia e no México existem estudos voltados para esses efeitos, principalmente em agrossistemas sombreados, como visto por Armbrecht & Perfecto (2005) e De la Mora & Philpott (2013) respectivamente, há uma lacuna de conhecimento sobre os impactos dessa prática agrícola intensiva nas comunidades de formigas. Assim, esse trabalho pretendeu abordar as seguintes questões: quais as características estruturais em relação à riqueza, abundância e composição em espécies das comunidades de formigas em cultivos de café a pleno sol; e avaliar a possível influência de fatores locais, como a presença de cochonilhas e da serapilheira, e da paisagem (cobertura florestal) sobre a comunidade de formigas em cafezais a pleno sol. Para tratar dessas questões, a diversidade e abundância de espécies de formigas foram estudadas em cafezais no Vale do Rio Doce – Governador Lindenberg, ES, Brasil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta de dados

2.1.1 Experimento sobre a coleta de formigas

A amostragem da fauna de formigas ocorreu entre os meses de dezembro/22 e janeiro/23 em nove cafezais totalizando 108 plantas (ver área de estudo), onde em cada um foi determinado 12 pontos de coletas, com distância de 12 metros da borda em relação as parcelas, cada um ao lado de uma planta de café (Figura 3).

Foram utilizadas duas técnicas para a coleta das formigas: coleta manual com auxílio de isca atrativa e armadilhas de queda (*pitfall*) e. As iscas atrativas foram compostas de sardinha com óleo comestível e mel puro de abelha adquirido dos produtores rurais da cidade. Nos ramos plagiotrópicos dos cafezais, em cada planta foi alocado 4 iscas atrativas de forma alternada, com o intuito de coletar mais espécies que estivessem forrageando sobre a planta, a uma altura aproximada de 1 m acima do solo (Figura 4), procedendo-se a coleta das formigas observadas sobre as iscas após uma hora (Estrada et al., 2014; Marchiori, 2020). O procedimento foi realizado duas vezes no dia: no horário de 9h às 11h e das 15h às 17h, com o intuito de coletar mais espécies que forrageiam em diferentes horários. Foi utilizado uma proporção de uma colher de sopa de sardinha para uma colher de mel. As formigas coletadas foram alocadas em sacos plásticos etiquetados e devidamente identificados para triagem inicial (Figura 5), sendo posteriormente levadas para o laboratório para serem montadas em via seca, procedendo-se posteriormente a identificação.

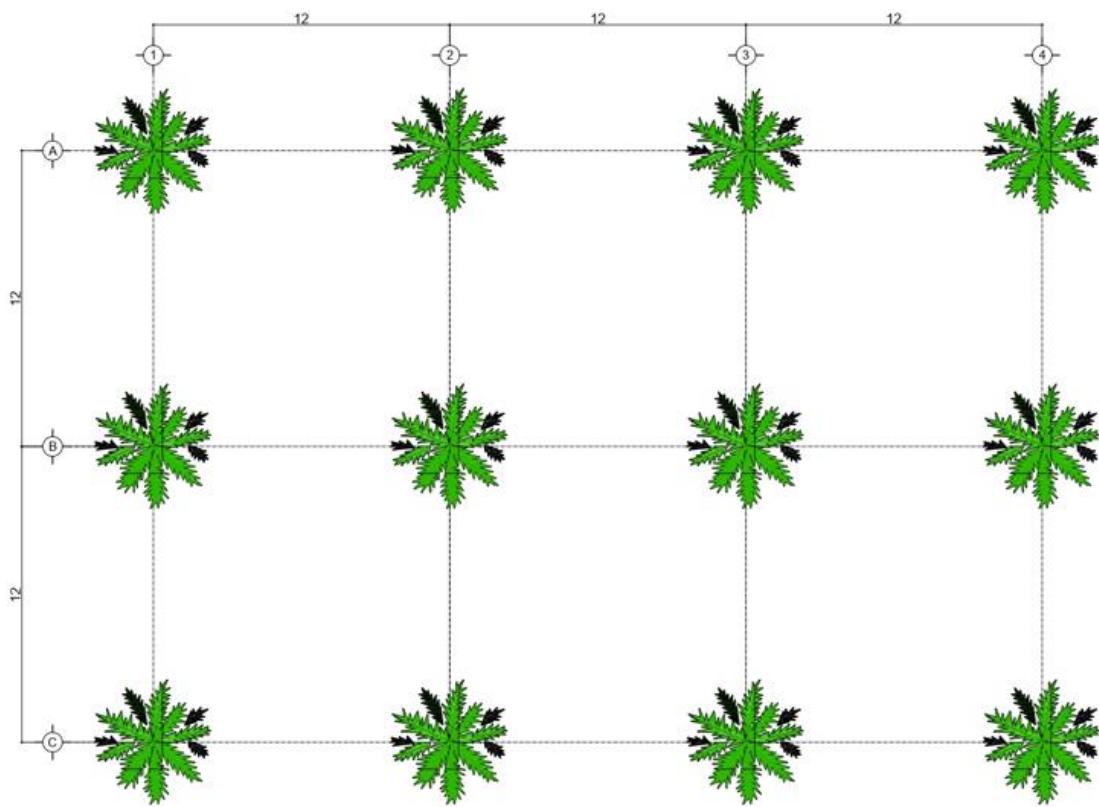


Figura 3. Desenho experimental onde foi avaliado 12 plantas de café conilon em cada cafezal, totalizando 108 plantas, localizado no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Fonte: Próprio autor, 2023.



Figura 4: Armadilha tipo isca atrativa no ramo plagiotropico no cultivo de café conilon, localizado no estado do Espírito Santo no município de Governador Lindenberg – ES.

Foto: próprio autor,2023.



Figura 5: Sacos plásticos vedados com iscas atrativas e devidamente identificados localizado no estado do Espírito Santo no município de Governador Lindenberg – ES. Fonte: Próprio autor,2023.

A segunda técnica de coleta utilizada foram as armadilhas *pitfall*, que capturam principalmente as formigas que forrageiam sobre a superfície do solo e serapilheira. Foi colocada uma armadilha ao lado de cada planta utilizada na amostragem com iscas, totalizando doze armadilhas em cada um dos nove cafezais estudados, totalizando 108 armadilhas. As armadilhas ficavam rente ao solo e foi realizado uma pequena limpeza superficial ao entorno dos potes. Os potes eram feitos de plástico, com, aproximadamente, 8,6 cm de diâmetro e 7,5 cm de altura, sendo colocado no interior uma solução de 50 ml de álcool 70% (adaptado de Almeida et al., 2007) e 1ml de detergente para a quebra da tensão superficial da lâmina formada dentro da armadilha e facilitar a coleta das formigas (Pacheco et al. 2023), completados com água até alcançar o conteúdo de 300 ml em cada armadilha (Figura 6a).

Para proteger as armadilhas da queda de detritos e da chuva, foram utilizados pratinhos de plásticos suspensos com o auxílio de palitos de madeiras fixados no chão. As armadilhas permaneceram durante 48 horas no campo e após esse período o material foi transferido para potes, tipo Nalgan, devidamente identificados (Figura 6b); posteriormente, o material foi triado e montado em laboratório para a identificação.

As formigas foram fixadas em via seca, procedendo-se à identificação ao nível de gênero pela chave de Baccaro et al., (2015). Os espécimes de formigas foram agrupados em

morfoespécies, sendo a identificação ao nível de espécie realizada pelo Dr. Jorge Souza, especialista do Instituto Nacional da Mata Atlântica (INMA).

As formigas coletadas foram agrupadas de acordo com os grupos específicos descritos por Pereira et al. (2016), Estrada (2017) e Marchiori (2020), os quais compartilham os hábitos de forrageamento, nidificação e alimentação. Essa classificação é uma síntese que incorpora contribuições de diversos autores, incluindo Delabie et al. (2000), Macedo et al. (2011), Groc et al. (2014). Os grupos funcionais consistem em conjuntos de espécies com características semelhantes que exercem impacto nos processos ecossistêmicos (Diaz & Cabido, 2001; Silva & Brandão, 2010). As categorias utilizadas foram: Onívoras que habitam o solo e a serapilheira (OSS); onívoras que habitam o solo, a serapilheira e as plantas (OSP); onívoras que habitam plantas (OP); Nômades predadoras (NP); Onívoras que cultivam fungos e cortadeiras (OCF).



Figura 6: (A) Armadilha de queda (*pitfall*) montada na base de uma planta de café (*C. canephora*) em área experimental; (B) Procedimento de retirada do material coletado no campo, transferido para um recipiente tipo Nalgan para posterior análise. As imagens destacam as metodologias empregadas na coleta de artrópodes (formigas) localizado no estado do Espírito Santo no município de Governador Lindenberg – ES.

Fonte: Próprio autor, 2023.

2.1.2 Fatores locais

Para avaliação de fatores locais, foi aferida a profundidade de serapilheira ao lado de cada planta, pois a serapilheira é fonte de recursos alimentares e sítios de nidificação para as formigas (Santos et al., 2006). Desta forma, totalizando 12 medidas por cafezal, onde posteriormente foi calculada a profundidade média de serapilheira por cafezal. Para as medições, foi utilizada uma régua na vertical, perpendicular ao solo, se atentando ao nivelamento do solo até onde tivesse serapilheira.



Figura 7: Palhas de café em decomposição em cafezais localizado no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Fonte: Próprio autor, 2023.

Um outro fator local avaliado foi à presença de cochonilha nas plantas de café. Os cafezais estavam em pleno estagio produtivo com grãos verdes e rosetas bem concentradas (Figura 8 a). Foram analisadas 30 rosetas em cada planta, totalizando 360 rosetas por cafezal a fim de registrar a presença de cochonilhas (Figura 8 b).

Posteriormente foi estabelecido um parâmetro de nível de infestação onde foi caracterizado por notas, zero (0) correspondia a nenhuma cochonilha, um (1) infestação de 1 a 3 rosetas, dois (2) infestação de 4 a 6 rosetas, três (3) infestação de 7 a 9 rosetas, quatro (4) infestação de 10 a 12 rosetas, cinco (5) infestação acima de 12 rosetas.



Figura 8: (A) estagio produtivo com grãos verdes e rosetas bem concentradas; (B) rosetas com infestação de cochonilhas em cafezais localizado no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES.

Fonte: Próprio autor, 2023.

2.1.3 Cobertura florestal da paisagem

Para o desenvolvimento deste estudo, conforme citado anteriormente foram selecionadas nove paisagens representando um gradiente de cobertura florestal (%) ao redor de plantações de café conilon no estado do Espírito Santo, Brasil. Para avaliar os padrões de escala de efeito da composição da paisagem, utilizamos a cobertura florestal como uma variável fundamental.

A construção do mapa foi realizada utilizando imagens da ferramenta Google Earth Pro, seguida de visitas aos produtores correspondentes para validar os dados. As coordenadas foram obtidas para delimitar as áreas de estudo, as quais foram confirmadas no campo com a utilização de um GPS.

Em cada uma das nove paisagens, estabelecemos 10 raios tampão aninhados ao redor das parcelas de amostragem, com distâncias de 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500 metros (Figura 9)

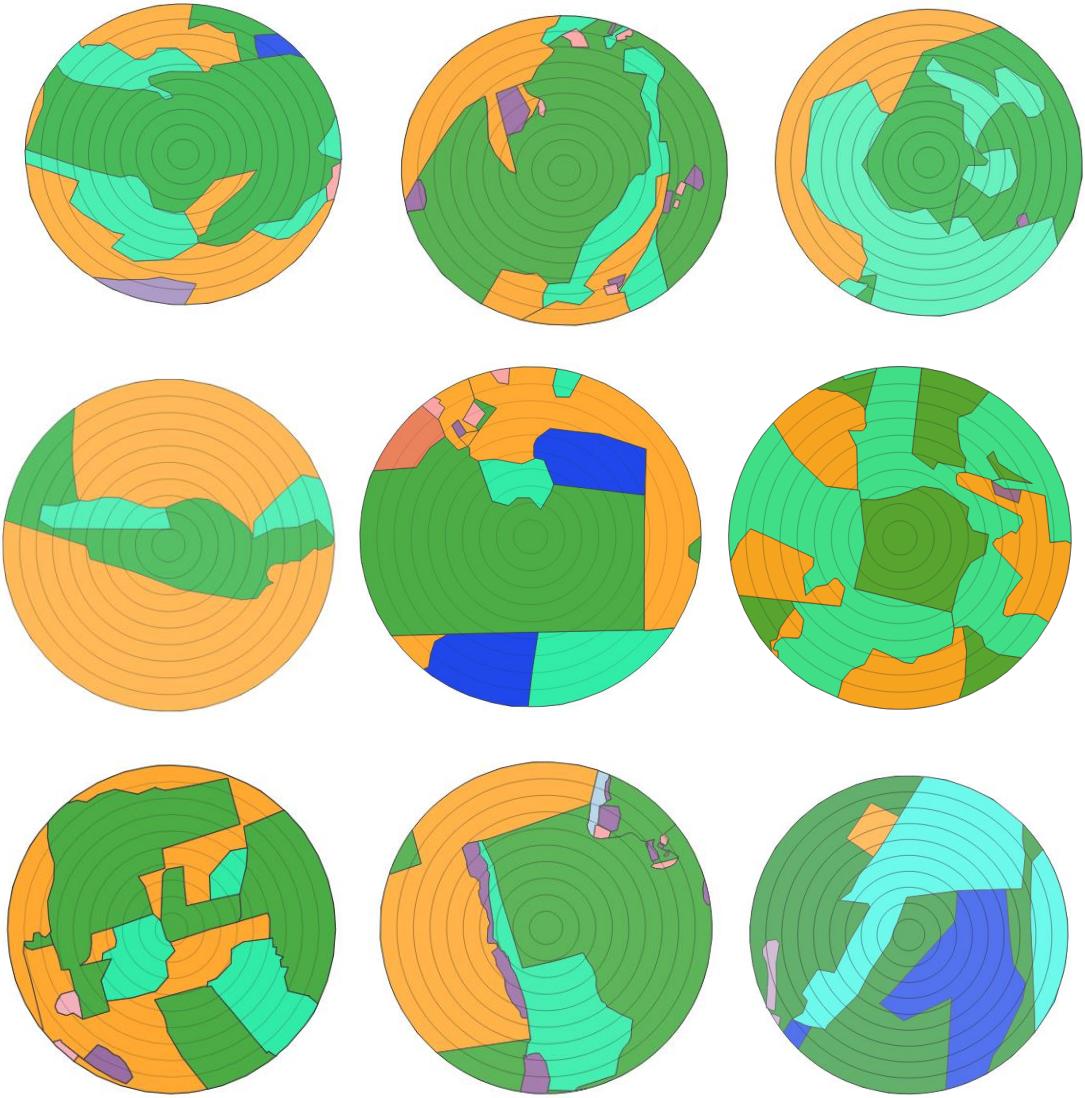


Figura 9: Representação dos cafezais estudados e sua configuração da paisagem. Ordem crescente com ênfase no raio de 150 metros. Legenda: Verde escuro (cafezal), azul claro (mata), laranja (pastagem), rosa (residência), rosa pêssego (cacau), azul escuro (eucalipto), roxo (poço de água). Cada buffer (círculo) representa um raio, de 50 a 500 metros. **Fonte:** Próprio autor. Elaboração com auxílio do software Qgis 3.30.

Para gerar esses raios, utilizamos o software QGIS 3.30 e o complemento Multi Ring Buffer. Esses raios permitiram obter as porcentagens de cobertura florestal em cada área de estudo, que foram tratados no pacote da Microsoft em planilhas do Excel.

O tamanho mínimo de 50 metros para o buffer foi escolhido porque fatores ambientais locais têm uma influência mais forte no forrageamento das formigas em uma escala mais fina, como o microclima, disponibilidade de recursos locais e estrutura da vegetação (Leal et al., 2012). Já a extensão máxima de 500 metros foi selecionada levando em consideração a facilidade de dispersão de indivíduos (Helms, 2018).

2.2 ANÁLISE DE DADOS

Os dados obtidos pelas duas técnicas de amostragem (iscas de sardinha e mel sobre as plantas e armadilhas tipo *pitfall*) foram agrupados a fim de gerar apenas um valor para cada espécie presente por ponto amostral. Dessa forma, uma espécie presente em qualquer cafezal utilizado no estudo poderia ocorrer no mínimo 01 (uma) vez e no máximo 12 (doze) vezes por cafezal. O número de ocorrências de cada espécie por cafezal foi utilizado como uma estimativa da sua abundância nesse cafezal. Essa adaptação é largamente utilizada em estudos com formigas (e.g. Vasconcelos et al. 2023).

Para avaliar a eficiência do método de amostragem de formigas empregado nesse estudo, foi utilizado o programa EstimateS versão 9 para calcular a riqueza média observada e riqueza média estimada pelo método de Chao2 (Colwell, 2013) em cada cafezal. Os resultados foram obtidos considerando um intervalo de confiança de 95%. A diferença entre a riqueza observada e a estimada é representada pelas espécies não detectadas pelo método de amostragem empregado. Sendo assim, quanto menor essa diferença, mais eficiente terá sido o método de amostragem.

Para avaliar a diversidade das comunidades de formigas em cada cafezal foi utilizado o perfil de diversidade, com a série de Rényi. Através do perfil, foi possível comparar a riqueza de espécies (quando $\alpha = 0$) e o índice de Shannon (quando $\alpha = 1$) nos nove cafezais estudados. Todos as análises supracitadas foram feitas no ambiente R versão 4.2.3 (R core team, 2023) com o auxílio do pacote Vegan (Oksanen et al., 2010).

Para complementar a análise da estrutura das comunidades de formigas em cada cafezal estudado, foi utilizada uma análise do padrão de distribuição de abundância. Para analisar o padrão de distribuição de abundância das espécies de formigas em cada cafezal, utilizou-se a função radfit do pacote Vegan (Oksanen et al., 2010) em ambiente R versão 4.2.3 (R core team, 2023). Neste pacote, a análise do padrão de distribuição busca o melhor ajuste utilizando os seguintes modelos: *broken-stick* (Mcarthur, 1957), que é empregado como hipótese nula, servindo como referência na qual outros padrões de divisão de nicho podem ser testados (Magurran, 2006); *niche-preemption* (Motomura, 1932), que assume que cada espécie esgota metade dos recursos disponíveis para a comunidade, resultando em comunidades ecológicas menos uniformes (Odum, 1988); *log-normal* (Preston, 1948), prevê uma comunidade ecológica com muitas espécies apresentando níveis intermediários de

abundância, além de poucas espécies raras e comuns (Ricklefs, 1993); zipf (Zipf, 1949) e zipf-mandelbrot (Gray, 1987), que é um modelo visto como representação de processos sucessionais, nos quais as espécies colonizadoras tardias demandam um nicho especializado, tornando-se, assim, menos comuns do que as espécies colonizadoras iniciais (Magurran, 2006). Esse modelo sugere que a presença de uma espécie está vinculada a dependências em relação a condições físicas e ecológicas anteriores.

Para avaliar a relação entre as variáveis ambientais (locais e da paisagem) e a diversidade de formigas, utilizou-se modelos lineares generalizados (GLMs) com distribuição de Poisson com uma ligação logarítmica. Entretanto, preliminarmente, buscou-se identificar a melhor escala do efeito da cobertura florestal sobre as variáveis riqueza, abundância e diversidade de espécies de formigas. Foram realizadas três análises, uma para riqueza, outra para abundância e mais uma para diversidade de Shannon (H'). Para o diagnóstico sobre a escala espacial que melhor respondia a cada modelo, utilizamos o maior R^2 usando a função 'multifit' R (Huais, 2018).

Depois de determinar a melhor escala espacial para ser usada no cálculo da cobertura florestal, foram analisados 3 modelos diferentes, um para cada variável resposta. As variáveis resposta foram a riqueza de espécies, a abundância e a diversidade de Shannon (H'), enquanto as variáveis preditoras consideradas conjuntamente para cada um dos três modelos foram a profundidade da serapilheira, a presença de cochonilhas e a porcentagem de cobertura florestal. Tais análises também foram realizadas no ambiente R (R core team, 2023).

4. RESULTADOS

Foram coletadas 32 espécies de formigas nos nove cafezais estudados, pertencentes a sete subfamílias (Tabela 1). A subfamília Myrmicinae apresentou o maior número de espécies (quinze espécies), seguida pela subfamília Formicinae, com um total de seis espécies.

Tabela 1. Lista de espécies e frequência de ocorrência de formigas (Hymenoptera: Formicidae) coletadas em cafezais no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, E S.

Espécies	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Total	GF
Dolichoderinae											
<i>Dorymyrmex biconis</i> Forel, 1912	1	0	1	0	1	0	0	12	0	15	OSS
<i>Tapinoma melanocephalum</i> (Fabricius 1793)	8	0	0	8	5	3	10	0	0	34	OSS

Dorylinae											
<i>Labiduss pininodis</i> (Emery 1890)	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	NP
<i>Ectiton burchelii</i> (Westwood, 1842)	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	NP
<i>Neivamyrmex pseudops</i> (Forel, 1909)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	NP
<i>Neivamyrmex pilosus</i> (Smith, 1858)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	NP
0											
Ectatomminae											
<i>Ectatomma brunneum</i> (Smith, 1858)	3	0	10	4	10	3	7	5	9	51	OSS
<i>Ectatomma tuberculatum</i> Olivier, 1792	2	1	1	0	2	0	0	1	0	7	OSS
Formicinae											
<i>Camponotus crassus</i> Mayr, 1862	1	1	1	1	3	0	3	4	8	22	OSP
<i>Camponotus melanoticus</i> Emery, 1894	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5	OSP
<i>Camponotus sericeiventris</i> Guérin, 1838	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	OSP
<i>Camponotus</i> sp.1	0	5	0	2	3	1	2	1	9	23	OSP
<i>Nylanderia fulva</i> (Mayr, 1862)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	OP
<i>Nylanderia</i> sp.1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	OP
Myrmicinae											
<i>Acromyrmex subterraneus</i> <i>brunneus</i> Forel, 1911	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3	OCF
<i>Atta sexdens</i> Linnaeus, 1758	0	2	0	0	0	0	8	0	5	15	OCF
<i>Cardiocondyla emeryi</i> Forel, 1881	0	0	0	1	2	1	0	1	1	6	OSP
<i>Cephalotes pusillus</i> (Klug, 1824)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	OP
<i>Cephalotes</i> sp.1	0	0	0	0	0	1	0	0	4	5	OP
<i>Hylomyrma</i> sp.1	1	0	2	0	1	0	0	4	0	8	OSS
<i>Mycocepurus smithii</i> (Forel, 1893)	1	0	2	6	0	1	2	0	3	15	OCF
<i>Pheidole cordiceps</i> Mayr, 1868	0	0	0	1	0	4	1	0	5	11	OSS
<i>Pheidole</i> sp.1	1	3	0	4	0	6	2	3	0	19	OSS
<i>Pheidole</i> sp.2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	OSS
<i>Pheidole</i> sp.3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	OSS
<i>Pheidole</i> sp.4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	OSS
<i>Pheidole</i> sp.5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	OSS
<i>Pheidole</i> sp.6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	OSS
<i>Solenopsis geminata</i> (Fabricius, 1804)	4	0	3	5	4	0	0	0	8	24	OSS
Ponerinae											
<i>Odontomachus meinerti</i> Forel, 1905	0	7	0	0	8	0	0	4	0	19	OSP

Pseudomyrmecinae

Pseudomyrmex termitarius

(Smith, 1855)	0	1	1	0	3	0	0	0	0	5	OSS
<i>Pseudomyrmex sp. I</i>	0	0	1	0	2	0	0	0	0	3	OSS

Nota: Grupos funcionais - Onívoras que habitam o solo e a serapilheira (OSS); onívoras que habitam o solo, a serapilheira e as plantas (OSP); onívoras que habitam plantas (OP); Nômades predadoras (NP); Onívoras que cultivam fungos e cortadeiras (OCF).

4.1 Análise da amostragem, perfil de diversidade e distribuição de abundância e para as comunidades de formigas

Em relação à análise da efetividade do método de amostragem das formigas empregadas para o estudo da diversidade desse grupo em cafezais, diversos cafezais incluídos espécies não bloqueadas na comparação entre a riqueza observada e a riqueza estimada pelo método Chao2 (Figura 10). O número de espécies não amostradas variou entre 1 e 19 espécies, sendo o maior valor observado em Cafezal 6, com 19 espécies não amostradas. Apenas o Cafezal 2 apresentou total congruência entre as estimativas, com uma riqueza observada igual à estimada, mostrando que todas as espécies esperadas foram amostradas.

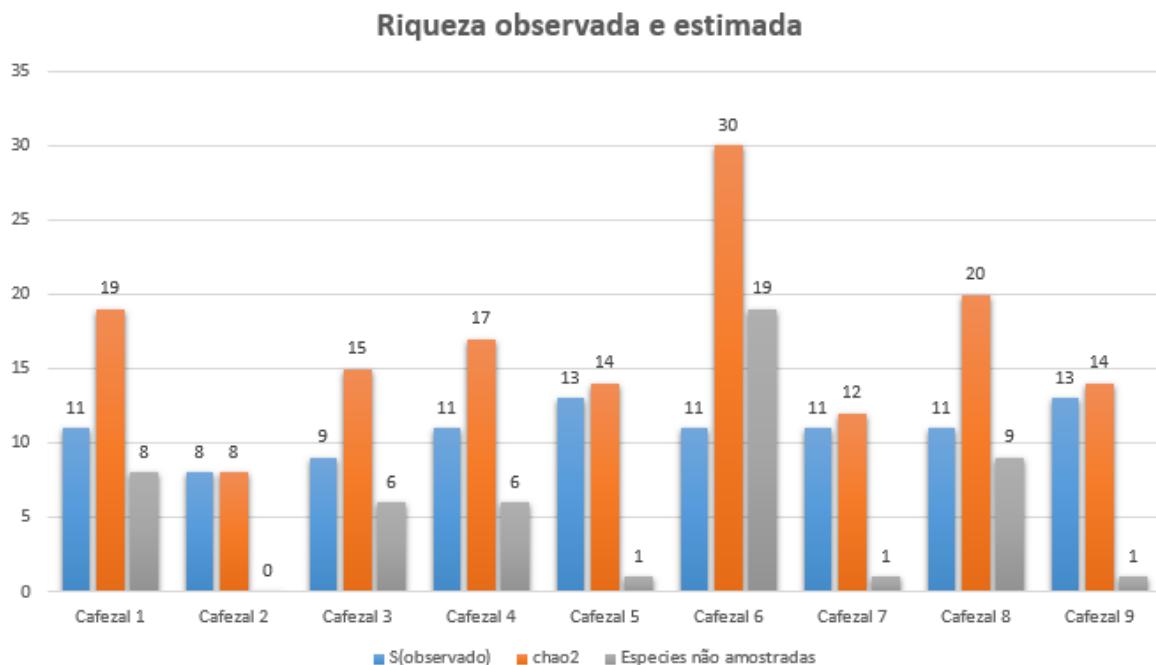


Figura 10: Riqueza observada e estimada (Chao2) das espécies de formigas nos nove cafezais estudados. O eixo X representa os cafezais analisados, enquanto o eixo Y indica o número de espécies. As barras azuis correspondem à riqueza observada, as barras laranja

mostram a riqueza estimada (Chao2) e as barras cinza indicam o número de espécies não amostradas. Fonte: Próprio autor, 2023.

Já em relação ao padrão de distribuição de abundância de indivíduos, o melhor ajuste para oito cafezais foi o modelo *broken-stick*, indicando que a abundância de indivíduos está distribuída aleatoriamente entre as espécies. Em um cafezal, a série logarítmica de Motomura foi o melhor ajuste, indicando uma distribuição de abundância mais heterogênea entre as espécies (Figura 12).

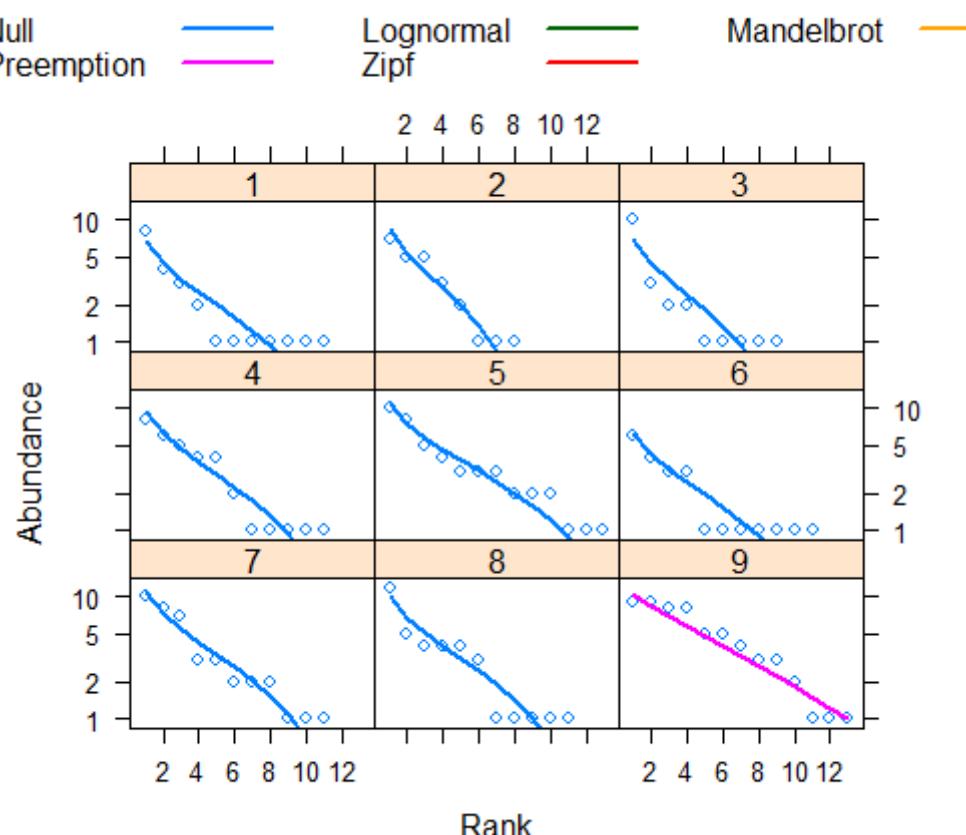


Figura 11: Padrão de distribuição de abundância das espécies de formigas nos nove cafezais estudados no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Eixo X (Rank): Representa a abundância de espécies. Eixo Y (Abundance): Mostra a abundância relativa de cada espécie. Bolinha (○): Representa os dados observados da abundância de espécies em diferentes cafezais. Fonte: próprio autor, 2023.

Na análise do perfil de diversidade de formigas de cada cafezal, dois cafezais (o n.5 e o n.9) apresentaram maior diversidade; dois cafezais (n.2 e n.3) menor diversidade e cinco cafezais (n.1, n.4, n.6, n.7 e n.8) apresentaram diversidade intermediária (Figura 10).

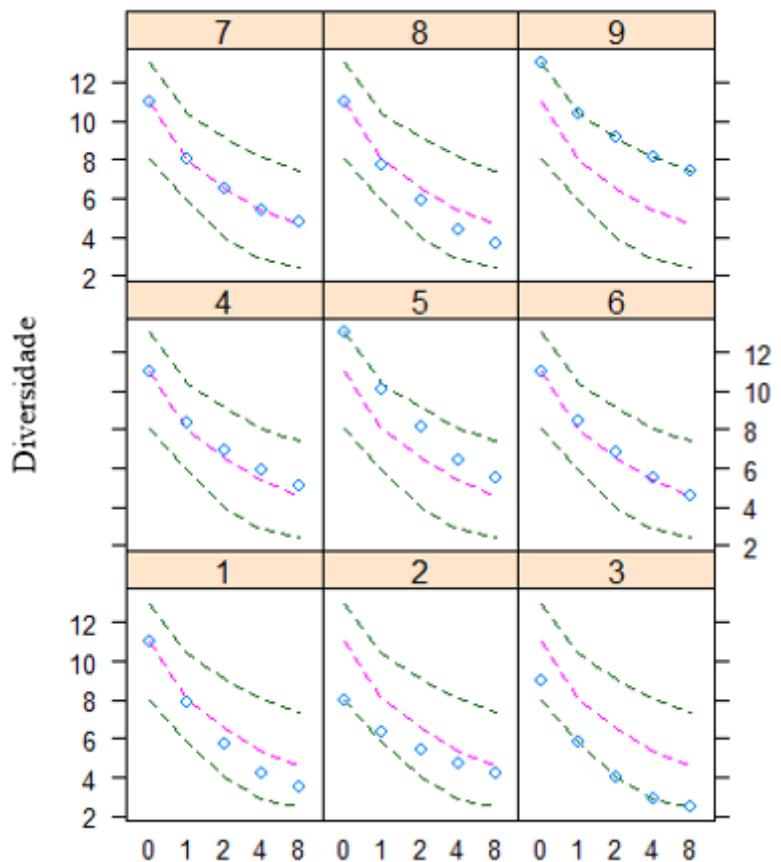


Figura 12: Perfil de diversidade de espécies de formigas nos nove cafezais estudados no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. O eixo X representa os índices de diversidade, enquanto o eixo Y mostra os valores de diversidade associados. Fonte: próprio autor, 2023.

4.2 Análise das relações entre a riqueza, abundância e diversidade das espécies de formigas e as variáveis ambientais.

A cobertura florestal medida nos cafezais em diferentes escalas espaciais variou entre 0 e 75%. A melhor relação da riqueza de espécies de formigas (S) com a cobertura florestal foi na escala de raio de 150 metros ($R^2=0,0923$; Figura 13).

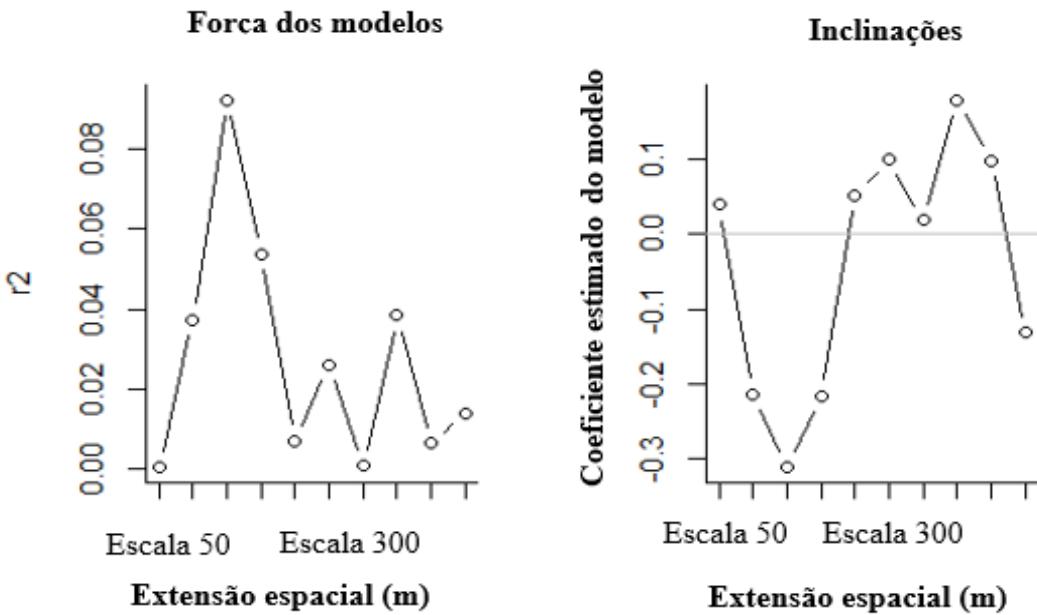


Figura 13: Escala de efeito da cobertura florestal em 10 extensões espaciais (50 a 500 metros) para riqueza de formigas. Representação da escala de efeito no eixo x onde caracteriza a extensão espacial em relação ao maior R^2 no eixo y; as inclinações representadas no eixo x onde caracteriza a extensão espacial em relação ao coeficiente estimado no eixo y. Com auxílio do software R studio. Fonte: próprio autor, 2023.

Na análise de abundância de formigas, a melhor relação com a cobertura florestal foi observada para a escala de 400m ($R^2 = 0,1498$; Figura 14).

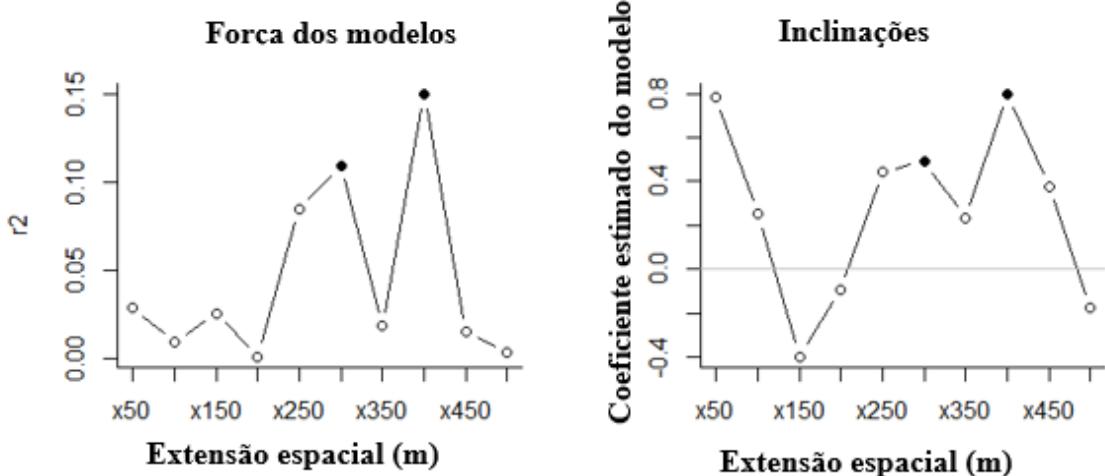


Figura 14: Escala de efeito da cobertura florestal em 10 extensões espaciais (50 a 500 metros) para abundância de formigas. Representação da escala de efeito no eixo x onde caracteriza a extensão espacial em relação ao maior R^2 no eixo y; as inclinações representadas no eixo x onde caracteriza a extensão espacial em relação ao coeficiente estimado no eixo y.

no eixo x onde caracteriza a extensão espacial em relação ao coeficiente estimado no eixo y. Com auxílio do software R studio. Fonte: Próprio autor, 2023.

Todavia, para a diversidade de espécies de formigas (H') a melhor relação com a cobertura florestal foi observada para a escala de 200 metros de raio ($R^2 = 0,1531$; Figura 15).

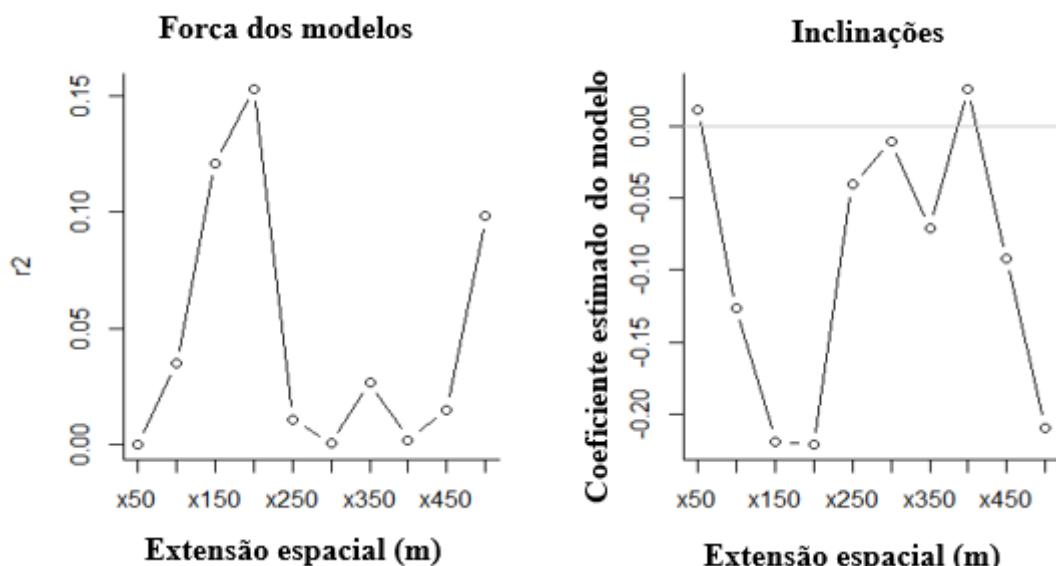


Figura 15: Escala de efeito da cobertura florestal em 10 extensões espaciais (50 a 500 metros) para diversidade de formigas. Representação da escala de efeito no eixo x onde caracteriza a extensão espacial em relação ao maior R^2 no eixo y; inclinações representadas no eixo x caracteriza a extensão espacial em relação ao coeficiente estimado no eixo y. Com auxílio do software R studio. Fonte: próprio autor, 2023

A infestação de cochonilhas nas plantas de café variou entre 0 e 8 plantas infestadas por cafezal. E a altura média da serapilheira variou de $1,9 \pm 0,08$ cm a $7,2 \pm 0,67$ cm, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Distribuição da infestação de cochonilhas (número de plantas infestadas) e altura média da serapilheira (em cm \pm erro padrão) em cafezais no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Fonte: próprio autor, 2023

A infestação de cochonilhas variou entre 0 e 8 plantas infestadas por cafezal. A altura média da serapilheira variou entre $1,9 \pm 0,08$ cm e $7,2 \pm 0,67$ cm.

Cafezais	Plantas infestadas por cochonilhas	Altura média da serapilheira (em \pm erro padrão)
----------	------------------------------------	---

Cafezal 1	7	$4,1 \pm 0,5$
Cafezal 2	0	$2,5 \pm 0,14$
Cafezal 3	0	$1,9 \pm 0,08$
Cafezal 4	7	$5,2 \pm 0,27$
Cafezal 5	3	$3,3 \pm 0,38$
Cafezal 6	6	$4,0 \pm 0,41$
Cafezal 7	6	$5,4 \pm 0,28$
Cafezal 8	7	$4,3 \pm 0,57$
Cafezal 9	8	$7,2 \pm 0,67$

Os resultados dos modelos lineares generalizados (GLM) mostraram que das três variáveis resposta (riqueza, abundância e diversidade de espécies), apenas a variável abundância foi afetada significativamente por uma variável preditora sendo ela a profundidade da serapilheira (Tabela 3).

Tabela 3: Regressão de Poisson entre a Riqueza (S), abundância e Diversidade (H) de formigas em cafezais em relação as variáveis independentes: cobertura florestal, cochonilha e serapilheira, no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES.

	Variável	Estimativa	Erro padrão	Resid. Df	Valor-z	Pr(> z)
Riqueza (S)	(Intercepto)	2.262807	0.350260	8	6.460	10
	Cobertura	-0.413329	0.763776	7	0.541	0.588
	Cochonilha	0.033249	0.067227	6	0.495	0.621
	Serapilheira	0.006824	0.123911	5	0.055	0.956
Abundância	(Intercepto)	2.80049	0.17763	8	15.766	<2e-16
	Cobertura	0.11823	0.40563	7	0.291	0.7707
	Cochonilha	0.04721	0.04013	6	-1.176	0.2394
	Serapilheira	0.21837	0.07608	5	2.870	0.0041
Indice de Shannon ('H')	(Intercepto)	0.635730	0.782124	8	0.813	0.416
	Cobertura	-0.256705	1.578324	7	0.163	0.871
	Cochonilha	0.008083	0.151751	6	0.053	0.958
	Serapilheira	0.027261	0.286892	5	0.095	0.924

Houve uma relação significativa e positiva da altura da serapilheira com a abundância de formigas (Figura 16).

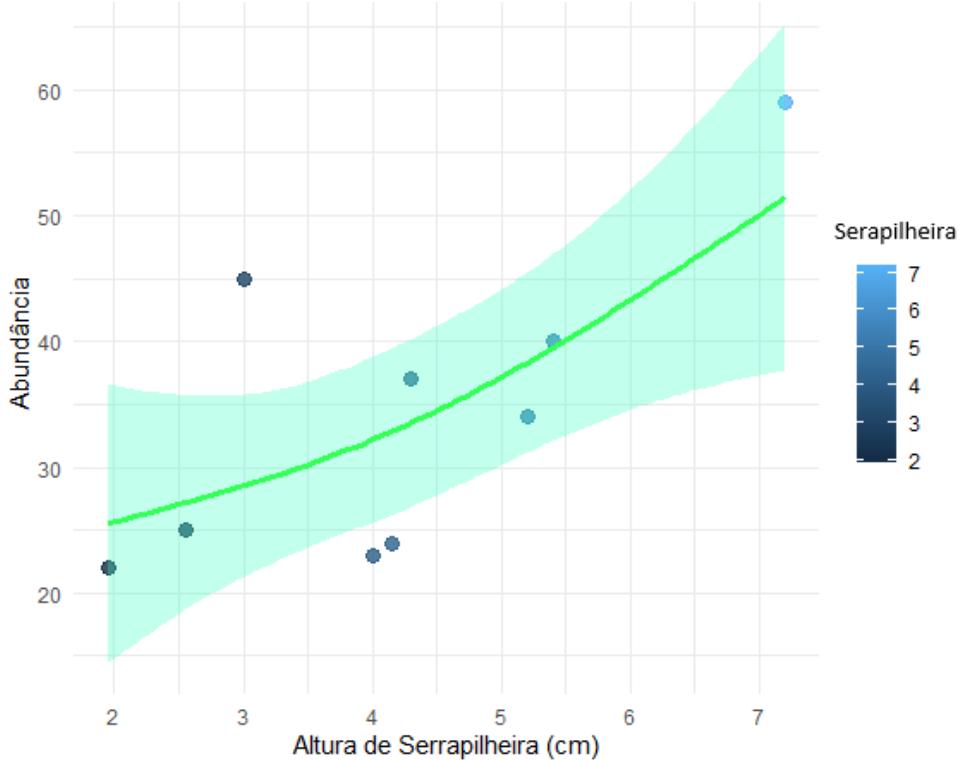


Figura 16: Relação entre a altura da serapilheira (eixo x) e a abundância de formigas (eixo y). Os pontos representam observações individuais, enquanto a linha verde indica a tendência ajustada com intervalo de confiança. O gradiente de cores representa a densidade da serapilheira (em cm). Gráfico gerado com auxílio do software R Studio. Fonte: Próprio autor, 2023.

5. DISCUSSÃO

O presente estudo contribuiu para redução da lacuna acerca do conhecimento sobre fatores que influenciam a biodiversidade em cultivos agrícolas (café) sob o manejo convencional no domínio do bioma da Mata Atlântica. Ao longo do tempo, houve uma substituição contínua dos ecossistemas naturais por agroecossistemas. Este é o caso, por exemplo, do bioma da Mata Atlântica no Brasil. O cultivo de café ocupa uma proporção relativamente grande de terras cobertas anteriormente por florestas tropicais. Embora tenha se tornado um tema relevante dentro da Ecologia, os estudos de biodiversidade ainda estão muito concentrados em ecossistemas naturais. No caso das formigas, uma compilação recente das informações sobre ocorrência das espécies no bioma Mata Atlântica resultou em registros de mais de 1000 espécies, mas menos de 2% foram realizados em agroecossistemas (Silva et al., 2021).

Os cafezais analisados neste estudo, de modo geral, apresentaram uma baixa diversidade de formigas quando comparados a outros estudos (e.g. García-cárdenas et al., 2018; Isassi et al., 2021). Todavia, as comparações devem ser feitas com cautela, devido às variações nos esforços amostrais e nas técnicas de coletas utilizadas nos diferentes estudos. A baixa diversidade de formigas encontrada pode estar relacionada a vários fatores ambientais e de manejo que influenciaram negativamente as espécies. Sugere-se que a intensificação do manejo agrícola, como o uso frequente de pesticidas e fertilizantes químicos na região estudada, que tende a reduzir significativamente a biodiversidade ao eliminar não apenas as pragas-alvo, mas também os organismos não-alvo, incluindo as formigas, pode ter contribuído para a baixa diversidade. Estudos anteriores indicam que os pesticidas têm um efeito direto e indireto na mortalidade das formigas e na redução de suas fontes de alimento (Geiger et al., 2010; Philpott et al., 2008; Perfecto & Castiñeiras, 1998).

De maneira geral, a diversidade de formigas em cafezais a pleno sol tem sido consistentemente menor em comparação com os sistemas de cultivo sombreados, em que as plantas de café são intercaladas por espécies arbóreas. Neste estudo, os cafezais a pleno sol, manejados de forma intensiva, apresentaram um total de 32 espécies e 18 gêneros. García-Cárdenas et al. (2018), estudando a diversidade de formigas obtiveram 61 espécies e 29 gêneros em cafezais sombreados e apenas 48 espécies e 23 gêneros em cafezais a pleno sol. Isassi et al. (2021) também observaram uma maior diversidade em sistemas sombreados (44 espécies e 26 gêneros) em comparação aos sistemas a pleno sol (40 espécies e 22 gêneros).

Enquanto os cafezais a pleno sol são frequentemente caracterizados por uma estrutura de habitat simplificada, gerando uma menor heterogeneidade ambiental, os sistemas sombreados, como observado por Amaral et al. (2019) e García-Cárdenas et al. (2018), tendem a manter uma maior complexidade estrutural e diversidade de micro-habitats. Estudos anteriores, incluindo os de Isassi et al. (2021) e Santos et al. (2020), corroboram esses achados, indicando que práticas agrícolas que incorporam sombreamento podem sustentar comunidades de formigas mais diversificadas e estáveis.

Além disso, a técnica de amostragem desempenha um papel crucial na determinação da riqueza de espécies de formigas. Ao analisar a Tabela 3, é evidente que estudos que utilizaram a técnica de "Queda e Winker" em sistemas de café sombreado, como o de García-Cárdenas et al. (2018), observaram uma média de 52,5 espécies. Em suma, estudos que empregaram a técnica de "Pitfall", como o de Gonçalves et al. (2013), encontraram uma média de 61 espécies. Técnicas diferentes, como "Manual com iscas", utilizada nesta tese em

cafezais no Espírito Santo, ou "Solo e planta", geralmente apresentam uma menor riqueza de espécies. Essa diversidade pode ser explicada pelas características específicas das técnicas e métodos de coleta utilizados, que influenciam diretamente quais espécies de formigas são capturadas. Por exemplo, no caso das iscas, as formigas chegam até elas, recrutam e dominam, dificultando a chegada de outras espécies. Já no método *pitfall*, a captura depende de as formigas estarem forrageando e, por acaso, caírem no recipiente. Por fim, no método Winker, as formigas que habitam a serapilheira são ativamente coletadas pelo pesquisador/coletor. Assim, cada técnica reflete a dinâmica de atividade e a localização das formigas no ambiente, influenciando os resultados obtidos.

Tabela 4: Tabela Comparativa de Estudos sobre Riqueza e Diversidade de Formigas em Diferentes Sistemas de Manejo de Cafezais.

Autor (ano)	Manejo agroecossistema	Técnica de amostragem	Número de estações (épocas) de coleta	Número de pontos amostrais	Número de espécies	Número de gêneros
Este estudo	Café Pleno sol intensivo	Manual com iscas + <i>pitfall</i>	1	$12 \times 9 = 108$	32	18
Amaral et al (2019)	Café sombreado	<i>pitfall</i>	2	$10 \times 3 = 30$	31	19
Amaral et al. (2021)	Café sombreado	Solo e planta	2	$3 \times 10 = 30$	4	4
García- Cárden as et al (2018)	Café sombreado	Queda e Winker	1	$12 \times 8 = 96$	61	29
García- Cárden	Café Pleno sol intensivo	Queda e Winker	1	$12 \times 8 = 96$	48	23

as et al (2018)						
Gomes et al (2013)	Café Sombreado com gliricidia	Serrapilheira	2	10x2= 20	12	9
Gonçal ves et al (2013)	Café Sombreado/agro ecologico	Pitfall	1	10x11= 110	61	24
Isassi et al (2021)	Café Pleno sol intensivo	Queda e Winker	2	10x8= 80	40	22
Isassi et al (2021)	Café Sombreado	Queda e Winker	2	10x8=80	44	26
Santos et al (2020)	Café Pleno sol intensivo	pitfall	2	16x3=48	33	-
Santos et al (2020)	Café Sombreado com teca	pitfall	2	16x3=48	39	-
Santos et al (2020)	Café Sombreado com cedro	pitfall	2	16x3=48	37	-

Embora coletas em múltiplas estações pudessem proporcionar uma visão mais abrangente da variação sazonal, Fagundes et al. (2009) indicam que a maioria dos gêneros de formigas persiste ao longo das estações, com exceção dos gêneros raros, cuja atividade reduzida na estação seca torna sua presença menos frequente. Assim, a abordagem adotada neste estudo, que focou em uma única estação durante o enchimento dos grãos, forneceu uma perspectiva valiosa e detalhada da comunidade de formigas em um ponto crucial do ciclo anual. Essa abordagem não só preencheu uma lacuna no conhecimento, mas também estabeleceu uma base sólida para futuras pesquisas sobre a ecologia das formigas em cafezais, alinhando-se com as tendências observadas em outros estudos.

Além do impacto sobre a diversidade, as práticas intensivas da agricultura podem influenciar a composição das comunidades de formigas. Neste estudo, observou-se que as formigas onívoras do solo e da serapilheira (OSS) foram as mais prevalentes, com destaque para *Ectatomma brunneum* e *Ectatomma tuberculatum*. Esses resultados corroboram os achados de Santos et al. (2020), que em Sooretama, Espírito Santo, também identificaram uma alta frequência de *E. brunneum* em cultivos de café conilon. A espécie em questão é conhecida por nidificar no solo e ser particularmente abundante em áreas de vegetação aberta ou ambientes alterados, como plantações de monocultivo, pastos, gramados, estradas e clareiras de mata (Vasconcelos, 1999). Esse padrão pode ser atribuído ao fato de que os cafezais aqui estudados foram transformados de mata para pastagem e/ou cultivo de café por ação antrópica. Essa espécie é uma predadora generalista, adaptando-se tanto a áreas conservadas quanto a áreas degradadas e pastagens (Suguituru et al., 2015). Portanto, a presença significativa dessa espécie em cafezais pode estar relacionada a essas mudanças no uso da terra, devido principalmente a prática de manejo intensivo.

Além das espécies mencionadas, *Dorymyrmex biconis* também se destacou neste estudo. Sua adaptabilidade a ambientes modificados é evidente na capacidade de colonizar áreas alteradas e distúrbios antrópicos (Fowler et al., 1994; Silvestre et al., 2003). Essa característica é explicada pelo comportamento de forrageamento flexível da espécie e sua habilidade em estabelecer colônias em diversos substratos. Essa espécie tem sido registrada em uma variedade de ambientes, incluindo pastagens e áreas de cultivo intensivo, refletindo sua resiliência e capacidade de adaptação a mudanças rápidas na paisagem (Garcia et al., 2017); podendo se alimentar de líquido exsudado de plantas, incluindo de nectários extraflorais e do *honeydew* de hemípteros, mas forrageiam geralmente sobre o solo (Kay, 2004).

A presença significativa de *D. biconis* nos cafezais estudados sugere que a intensificação agrícola pode estar criando condições que favorecem a proliferação de formigas generalistas. Assim, a ocorrência dessa espécie, junto com *E. brunneum*, evidencia o impacto profundo da conversão de áreas naturais em cultivos intensivos, destacando como tais práticas podem beneficiar espécies que prosperam em ambientes alterados e perturbados.

Já, espécies como *Camponotus crassus*, *Camponotus melanoticus*, demonstram uma significativa diversidade e adaptabilidade a ambientes antropizados podendo nidificar no solo, troncos caídos e sobre as plantas (Baccaro et al., 2015). A presença dessas formigas em plantações de café conilon pode ser atribuída ao seu papel na regulação e interação com

outros insetos. Estudos, como o de Clark e Singer (2018), sugerem que *Camponotus* pode aumentar a abundância de hemípteros fitófagos enquanto reduz as populações de insetos mastigadores em ambientes naturais. Marchiori et al. (2023) corroboram esses achados, identificando a interação de *Camponotus* com duas espécies de cochonilhas em agroecossistemas. A alta frequência de *C. crassus* está diretamente relacionada à presença de cochonilhas nos cafezais. Essa relação é existente devido as cochonilhas oferecerem uma fonte abundante de alimento em forma de excreções açucaradas, favorecendo o aumento da população de *C. crassus* nessas áreas. Essa interação evidencia como as condições do ambiente podem influenciar a dinâmica das espécies presentes no agroecossistema.

Odontomachus meinerti, também uma espécie muito frequente, é uma formiga predadora generalista que se adapta bem a ambientes perturbados. Embora apresente ninhos de pequeno porte e um comportamento de forrageamento solitário, essa espécie demonstra uma flexibilidade considerável em sua dieta, predando artrópodes vivos, coletando insetos recém-mortos, néctar extrafloral (Blüthgen et al., 2003), exsudato de insetos (Carrol & Janzen, 1973), além de frutos e sementes ricos em proteínas e lipídios (Pizo & Oliveira, 2001; Passos & Oliveira, 2003). Essa adaptabilidade alimentar permite que *O. meinerti* desempenhe um papel importante no controle de populações de artrópodes em monoculturas. No entanto, em ambientes mais heterogêneos, onde a diversidade de presas e competidores é maior, sua influência pode ser menos proeminente, devido à maior complexidade do ecossistema e à competição com outras espécies.

Desta forma, cabe ressaltar a presença das espécies pertencente a subfamília *Mymicinae*, como, por exemplo, *Pheidole cordiceps*. Sua presença é diagnosticada em diversos ambientes, incluindo o monocultivo de café conilon, pois são de fácil adaptação a ambientes simplificados como a monocultura em questão (Feitosa et al., 2022). Neste grupo, observa-se espécies onívoras, cujo comportamento inclui a predação, o uso de sementes de plantas e a interação com hemípteros fitófagos (Baccaro et al., 2015; Win et al., 2018). Entre as suas presas podem estar insetos que causam danos a plantas cultivadas (Hernández et al., 2008). A presença de espécies desse gênero nos cafezais estudados, próximo à base das plantas, está associada à ocorrência das cochonilhas da rosela do café conilon (*Planococcus citri* e *Planococcus minor*), conforme destacado por Fornazier (2011).

Cabe ainda destacar demais espécies que habitam solo e serapilheira como *Solenopsis geminata* (Fabricius, 1804), que normalmente se associam a vegetação rasteira e aos troncos de árvores (Baccaro, et al, 2015). Fortes et al. (2014) observaram a presença desta espécie

em cultivos simplificados em cafezais da Costa Rica. Tais presença/ dominância também foi observada por Perfecto, et al (2014), que apontou *S. geminata* como a espécie dominante em todos os sistemas de cultivo de café, com exceção para cultivos totalmente orgânicos.

Desta forma, *S. geminata* é uma formiga que se destaca por seu comportamento predatório e sua ampla capacidade de adaptação a diferentes ambientes. Ela é conhecida por ser uma espécie generalista em termos de dieta, alimentando-se de uma variedade de presas e recursos alimentares disponíveis (Morrison, 2002; Parris et al., 2002). Este comportamento predatório, combinado com sua capacidade de colonização rápida, a torna uma competidora eficaz em ambientes modificados e antropizados. A espécie tende a prosperar em solos alterados e frequentemente perturbados, onde a presença de recursos alimentares e abrigo pode ser abundante, mas a diversidade de predadores naturais e competidores é reduzida. Em contraste, a menor presença ou ausência de *S. geminata* em cultivos totalmente orgânicos, conforme observado por Perfecto et al. (2014), sugere que práticas agrícolas que promovem a diversidade e a complexidade estrutural do habitat podem limitar a dominância de espécies que prosperam em condições mais homogêneas, como nos cafezais analisados neste estudo.

Entre as diversas espécies de formigas cultivadoras de fungos, foram encontradas as espécies *Mycocepurus smithii*, *Atta sexdens* e *Acromyrmex subterraneus*. As formigas do gênero *Mycocepurus* por exemplo, apresentam uma diversidade de locais de nidificação, estabelecendo seus ninhos em uma variedade de ambientes, como entre folhas na serapilheira, sob pedras, em troncos em decomposição, na vegetação ou diretamente no solo, tanto em campos abertos quanto em áreas de floresta (Baccaro et al., 2015). Por outro lado, *Atta sexdens* e *Acromyrmex subterraneus*, encontradas nos cafezais estudados, tem ninhos subterrâneos, e estão entre as principais pragas encontradas em áreas de cultivo (LIMA & Racca filho, 1996; Schultz & McGlynn, 2000). Elas se beneficiam de perturbações humanas, como a conversão de áreas para pastagem e cultivo de café (Wirth et al., 2007; Meyer et al., 2009; Dohm et al., 2011; Barrera et al., 2015), como observado nesse estudo.

Por outro lado, algumas espécies apresentaram baixa frequência nos cafezais, como *Labidus pininodis*, *Ectiton burchellii*, *Neivamyrmex pseudops*, e *Cephalotes pusillus*. *Labidus pininodis* e *E. burchellii*, podem estar limitadas por sua especialização em nichos ecológicos que não são amplamente oferecidos pelo monocultivo. Essas formigas podem precisar de condições ambientais mais diversificadas ou menos perturbadas, que não estão presentes em um ambiente de cafezal altamente homogêneo e manejado intensivamente como o estudoado (Baccaro et al., 2015).

Além disso, *Neivamyrmex pseudops* e *Cephalotes pusillus*, enfrentam desafios semelhantes devido à sua alta especialização, sendo que esta última espécie se destaca pela importância das interações entre formigas e a vegetação nos cafezais, tipicamente arborícolas, inclusive nidificando sobre plantas (acervo pessoal) (Baccaro et al., 2015); revelando possíveis desafios específicos enfrentados por essas formigas no monocultivo intensivo de cafezal. Essas espécies podem depender de microhabitats ou de recursos alimentares específicos que são escassos em monocultivos agrícolas. A falta de diversidade de habitat e a intensidade da agricultura podem reduzir a disponibilidade de recursos e condições adequadas, limitando assim a presença dessas formigas. Em um cafezal a pleno sol, onde a monocultura e a gestão intensiva criam um ambiente uniformemente perturbado, essas formigas especializadas podem não conseguir competir com as espécies mais generalistas e adaptáveis, resultando em sua baixa frequência.

Ao comparar os dados deste presente estudo com os trabalhos de Feitosa et al. (2023), que realizaram estudo de formigas no Brasil com ênfase nos trabalhos científicos realizados nos últimos 50 anos e sua diversidade, percebe-se que este estudo diagnosticou espécies não citadas/encontradas principalmente nos estudos do referente estado do Espírito Santo, tais como *Dorymyrmex bicoins*, *tapinoma melanocephalum*, *Labidus pininodis*, *Neyvamyrmex pilosus*, *Pheidole cordiceps*, *Cardiocondyla emeryi*, *Odontomachus meinerti* e *Nylanderia fulva*. Essas espécies também não foram encontradas por Vicente et al. (2023), ao analisarem o inventário de espécies de formigas capixabas. Cabe ainda ressaltar que *C. emeryi* e *N. fulva* também não se encontram registradas no Espírito Santo pelo Antmaps (2024), que é alimentado com dados semanalmente pelo projeto Global Ant Biodiversity Informatics (GABI) (Guénard et al., 2017).

O Espírito Santo está entre os estados com maior número de registros de formigas na Mata Atlântica, contabilizando 1.940 ocorrências documentadas no banco de dados ATLANTIC ANTS (Silva et al., 2022). No entanto, os estudos específicos para agrossistemas permanecem escassos, o que reforçam a relevância do presente trabalho ao levantar informações importantes para a sociedade, em prol de um manejo sustentável com menor impacto ao meio ambiente, além de ressaltar a importância do papel das formigas em lavouras de café no estado do Espírito Santo e no mundo.

A análise da distribuição de abundância das espécies de formigas nos cafezais revelou a predominância do modelo de "broken-stick", sugerindo uma distribuição relativamente equitativa entre as espécies. Esse padrão é indicativo de uma comunidade onde a abundância

de indivíduos está distribuída de maneira mais uniforme, o que é característico de espécies generalistas que prosperam em condições homogêneas como por exemplo *E. brunneum*. A alta frequência dessas formigas pode estar associada ao fato de que os cafezais, sendo cultivos perenes com uma média de aproximadamente 10 anos, proporcionam um ambiente estável. Esse sistema de cultivo prolongado contribui para a formação de um ambiente mais estável e maduro, criando microhabitats diversos e recursos abundantes que favorecem o forrageamento e o estabelecimento de um número maior de espécie dessas formigas. Entretanto, já em uma cultura anual, caracterizada por revolvimentos de solo mais frequentes, tende a desestabilizar essa uniformidade. O constante manejo do solo pode levar à compactação (Akker; Soane, 2005; Cole, Monz, 2015), redução da matéria orgânica e diminuição da diversidade de microhabitats (Kibblewhite et al., 2008; Souza et al., 2015; Souza et al., 2016B), impactando negativamente as populações de formigas. Além disso, as mudanças frequentes no ambiente físico podem dificultar a colonização e a sobrevivência de certas espécies de formigas, resultando em uma comunidade menos diversa. Por outro lado, em um cafezal específico, a distribuição heterogênea observada, ajustando-se ao modelo da série logarítmica de Motomura, aponta para a presença de uma estrutura comunitária mais desigual, onde algumas espécies são mais dominantes enquanto outras são raras (eg. *N. pseudops*). Esse contraste destaca como a uniformidade dos cafezais pode influenciar a predominância de espécies generalistas e, ao mesmo tempo, criar condições para a presença de espécies predadoras e raras, dependendo das variações locais e práticas de manejo. Esse padrão é corroborado por estudos como o de Perfecto et al. (2005), que destacam como a diversidade das comunidades de formigas pode variar dentro de sistemas agrícolas homogêneos, dependendo das condições locais.

As comunidades de formigas analisadas revelaram pouca variação na diversidade de espécies entre cafezais, estando em consonância com as condições uniformes dos ambientes estudados. A uniformidade dos cafezais, caracterizada por exposição a pleno sol, idade semelhante dos cafezais (aproximadamente dez anos), práticas culturais padronizadas e uso constante de inseticidas (na pesquisa foi observado frascos de veneno para formigas), contribui para uma estrutura comunitária que tende a ser mais previsível (Tscharntke et al., 2005). Esse tipo de homogeneidade ambiental pode limitar a diversidade de espécies, conforme sugerido por Perfecto et al. (2005), em estudos voltados sobre a influência de práticas agrícolas em comunidades de insetos. Embora as formigas sejam essenciais para o manejo sustentável, as práticas agrícolas padronizadas nos cafezais estudados, podem

comprometer sua diversidade e atuação ecológica. Assim, é crucial adotar estratégias que aumentem a heterogeneidade ambiental, como a redução de inseticidas e o manejo integrado, para fortalecer os serviços ecológicos e promover a sustentabilidade agrícola.

A análise do modelo de regressão generalizada (GLM) revelou que a profundidade da serapilheira exerce um impacto significativo na abundância de formigas nos cafezais. As demais variáveis locais e a variável de paisagem não apresentaram efeito sobre as variáveis de resposta. No caso da variável de paisagem, apenas uma foi analisada, o que sugere que outras variáveis podem ser testadas. Este estudo corrobora a ideia de que fatores locais costumam ser mais importantes do que fatores de paisagem quando se trata de biodiversidade local (Miller-Rushing et al. 2019; Arroyo-Rodriguez et al. 2020; Fahrig 2020).

Os resultados indicam que maiores profundidades de serapilheira estão associadas a uma maior abundância de formigas. Essa cobertura também afeta a dinâmica populacional de outros organismos, especialmente artrópodes que são predados pelas formigas (Diehl et al., 2005; Lima et al., 2007; Pereira et al., 2007; Vargas et al., 2007; Martins et al., 2011). Esse achado sugere que a serapilheira desempenha um papel crucial na criação de microhabitats e na provisão de recursos essenciais, como alimento e locais para nidificação, que favorecem o forrageamento e o estabelecimento das formigas. A profundidade da serapilheira pode influenciar a estrutura das comunidades de formigas ao afetar a disponibilidade de nichos ecológicos e a oferta de recursos, resultando em uma maior diversidade de microambientes que suportam diferentes espécies. Esse efeito é consistente com estudos anteriores que mostram como a serapilheira pode modular a abundância e a composição das comunidades de formigas em diversos tipos de habitats (Brühl et al., 1998; Vasconcelos et al., 2012). Além disso, a influência da serapilheira na abundância de formigas pode ser compreendida no contexto da importância da estrutura do habitat na conservação da biodiversidade (Scherber et al., 2010). Possivelmente a variação da cobertura da serapilheira entre os cafezais estudados, deve ser o manejo diferenciado utilizados pelos produtores nas fases iniciais do cafezal da região (comunicação pessoal). Portanto, a gestão da profundidade da serapilheira nos cafezais pode ser uma estratégia importante para o manejo desses organismos nesses ecossistemas, promover a diversidade e a abundância de formigas, contribuindo para o equilíbrio ecológico e a saúde dos sistemas agrícolas.

6. CONCLUSÕES

Este estudo destacou que fatores locais desempenham um papel significativo na abundância de formigas em cafezais, além de revelar a presença de espécies previamente não registradas em agroecossistemas no Espírito Santo. Tais descobertas, reforçam a importância de pesquisas futuras que considerem práticas de manejo diversificadas, bem como o consorciamento com outras culturas agrícolas (por e.g. plantas fixadoras de nitrogênio nas fileiras dos cafezais).

A lacuna de informações sobre a mirmecofauna no Espírito Santo evidencia a necessidade de ampliar os estudos, especialmente em diferentes fases fenológicas do café conilon e ao longo de todo o ano, uma vez que este trabalho se concentrou na fase de grãos. O uso de tecnologias inovadoras, como drones para monitoramento remoto, surge como uma ferramenta promissora para mapear microhabitats e hotspots de biodiversidade, fornecendo dados mais robustos sobre a relação entre práticas de manejo e a riqueza de espécies.

Além disso, análises genéticas das populações de formigas devem ser incorporadas para revelar a estrutura e diversidade genética das espécies, contribuindo para avaliar a resiliência das comunidades frente às práticas agrícolas e às mudanças ambientais. Esses dados são cruciais para embasar estratégias de conservação da biodiversidade em paisagens agrícolas.

Por fim, fortalecer parcerias entre pesquisadores e agricultores é essencial para integrar conhecimento científico e práticas de manejo sustentável, promovendo sistemas agrícolas mais equilibrados e ambientalmente responsáveis. Ao alinhar as necessidades produtivas com a conservação da biodiversidade, será possível consolidar práticas que beneficiem tanto a saúde dos ecossistemas quanto a sustentabilidade da produção agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGUIAR-MENEZES, E. L. Inseticidas botânicos: seus princípios ativos, modo de ação e uso agrícola. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005.
- ALMEIDA, F.S.; QUEIROZ, J. M.; MAYHE-NUNES, A. J. Nest distribution and abundance of *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) in a diversified agroecosystem under organic management. Floresta e Ambiente, v. 14, p. 34-44, 2007.
- AMARAL, G.C. Diversidade e interações ecológicas da fauna de formigas em áreas de cultivo orgânico. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRRJ, 2018. 55p.
- AMARAL, G.C.; VARGAS, A.B.; ALMEIDA, F.S. Effects of environmental attributes on the biodiversity of ants under different land uses. Ciência Florestal, v.29, n.2, p.660-672, 2019.
- AMARAL, G.C.; VARGAS, A.B.; ALMEIDA, F.S. Assessment of Ant Fauna Interactions in Different Land Uses. Biodiversidade Brasileira, v. 11, n. 1, 2021.
- ANJOS DV, TENA A, VIANA-JUNIOR AB, CARVALHO RL, TOREZAN-SILINGARDI H, DEL-CLARO K, PERFECTO I. The effects of ants on pest control: a meta-analysis. Proc. R. Soc. B 289: 20221316. <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.1316>. 2022.
- ANTMAPS. 2024. Disponível em: <https://antmaps.org/about.html>. Acessado em :10 de janeiro de 2024.
- ANDERSEN, A. N. 2018. Responses of ant communities to disturbance: Five principles for understanding the disturbance dynamics of a globally dominant faunal group. Jour. of Anim. Ecol. 88: 350-362.
- ARMBRECHT I, GALLEGOS M.C. Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. Ent Exp Appl 124 : 261–267 (2007).
- BACCARO, F.B.; FEITOSA, R.M.; FERNANDEZ, F.; FERNANDES, I.O.; IZZO, T.J.; SOUZA, J.L.P. DE; SOLAR, R. Guia Para os gêneros das Formigas do Brasil. Editora Inpa: Manaus, 2015.
- BARRERA, C. A.; BUFFA, L. M.; VALLADARES, G. Do leaf-cutting ants benefit from forest fragmentation? Insights from community and species-specific responses in a fragmented dry forest. Insect Conservation and Diversity, v. 8, n. 5, p. 456-463, 2015.

BOLTON, B. (2022). An online catalog of the ants of the world. Disponível em: <https://antcat.org>. Acesso em: 20 de dezembro de 2023.

BRÜHL, C.A.; GUNSALEM, G.; LINSENMAIR, K.E. Stratification of ants (Hymenoptera, Formicidae) in a primary rain forest in Sabah, Borneo. *Journal of Tropical Ecology*, v.14, p.285-297, 1998.

CARDOSO, P., et al. (2019). Scientists' warning to humanity on insect extinctions. *Biological Conservation*, 242, 108426. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.108426

CLARK, R.E., SINGER, M.S., 2018. Keystone mutualism strengthens top-down effects by recruiting large-bodied ants. *Oecologia* 186, 601–610. <https://doi.org/10.1007/s00442-017-4047-5>.

COLWELL, R. 2013. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9 and earlier. User's guide and application. University of Conne.

CORIOLANO, R.E.; ESTRADA, M.A.; SANTOS, N.T.; CAIXEIRO, L.R.; VARGAS, A.B.; ALMEIDA, F.S. Mirmecofauna associada à arborização urbana no município de Três Rios, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 12, n. 4, p. 210-214, 2014.

CROWDER, D. W.; JABBOUR, R. Relationships between biodiversity and biological control in agroecosystems: current status and future challenges. *Biological Control*, v. 75, p. 8-17, 2014. Storrs, Connecticut, USA.

DELABIE, J.H.C.; AGOSTI, D.; NASCIMENTO, I.C. Litter and communities of the Brazilian Atlantic rain forest region, IN: AGOSTI, D.; MAJER, J.D.; ALONSO, L.E.; SCHULTZ, T.R. (EDS). Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for ground living ants. Washington, Smithsonian Institution, p.1-15, 2000

DIAZ, S. & CABIDO, M. (2001). Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*, 16: 646–655. doi:10.1016/S0169-5347(01)02283-2

DANTAS, K. S. Q.; QUEIROZ, A. C. M.; NEVES, F. S.; JÚNIOR, R. R., & FAGUNDES, M. Formigas (Hymenoptera: Formicidae) em diferentes estratos numa região de transição entre os biomas do Cerrado e da Caatinga no norte de Minas Gerais. *MG Biota*, v.4, p.17-36, 2011. DIEHL, E.; SACCHETT, F.; ALBUQUERQUE, E.Z. Richness of ground ants on the beach da Pedreira, Itapuã State Park, Viamão, RS, Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, v.49, n.4, p.552-556, 2005.

DOS SANTOS S., Lidiany et al. 2021. Export behavior of the Brazilian coffee agribusiness and interactions with production elements Comportamiento de las exportaciones de la agroindustria brasileña del café e interacciones com los agentes de producción. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 3, p. e39210313503-e39210313503.

DOHM, C. et al. Leaf-cutting ants proliferate in the Amazon: an expected response to forest edge?. *Journal of Tropical Ecology*, v. 27, n. 06, p. 645-649, 2011.

ELIZALDE, L., ARBETMAN, M., ARNAN, X., EGGLETON, P., LEAL, I. R., LESCANO, M. N., SAEZ, A., WERENKRAUT, V., & PIRK, G. I. (2020). The ecosystem services provided by social insects: Traits, management tools and knowledge gaps. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 95, 1418–1441. <https://doi.org/10.1111/brv.12616>.

ESTRADA, M.A. A diversidade e o papel da fauna de formigas em áreas agrícolas submetidas ao cultivo orgânico e convencional. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2017. 78p.

ESTRADA, M.A.; CORIOLANO, R.E.; SANTOS, N.T.; CAIXEIRO, L.R.; VARGAS, A.B.; ALMEIDA, F.S. Influência de áreas verdes urbanas sobre a mirmecofauna. *Floresta e Ambiente*, v.21, n.2, p.162-169, 2014.

FAGUNDES, R.; RIBEIRO, S.P.; DEL-CLARO, K. Tending-Ants Increase Survivorship and Reproductive Success of Calloconophora pugionata Drietch (Hemiptera, Membracidae), a Trophobiont Herbivore of Myrcia obovata O.Berg (Myrtales, Myrtaceae). *Sociobiology*, v.60, n.1, p.11-19, 2013.

FAHRIG, L., 2013. Rethinking patch size and isolation effects: the habitat amount hypothesis. *J. Biogeogr.* 40(1), 1649–1663.

FAHRIG, L., BAUDRY, J., BROTONS, L., BUREL, F.G., CRIST, T.O., FULLER, R.J., SIRAMI, C., SIRIWARDENA, G.M., MARTIN, J.L., 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in Agri-cultural landscapes. *Ecol. Lett.* 14, 101–112.

FALEIROS, R. N. & TOSI, P. G. S. 2019. O café no Brasil: produção e mercado mundial na primeira metade do século XX. *História Econômica & História de Empresas*, 22(2), 309-343.

FARJI-BRENER, A. G.; LESCANO, N.; GHERMANDI, L. Ecological engineering by a native leaf-cutting ant increases the performance of exotic plant species. *Oecologia*, v. 163, n. 1, p. 163-169, 2010.

FEITOSA, RM et al. Formigas do Brasil: um panorama baseado em 50 anos de estudos de diversidade. *Sistemática e biodiversidade*, v. 20, n. 1, pág. 1–27 de 2023.

FERREIRA, A.C. O Gênero *Pheidole* (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae) no Paraná: Levantamento e delimitação de espécies. Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Mestrado) Universidade Federal do Paraná. 387p, 2016.

FLETCHER, R. J., et al. (2018). Is habitat fragmentation good for biodiversity? *Biological Conservation*, 226, 9-15. ISSN 0006-3207. DOI: 10.1016/j.biocon.2018.07.022.

FORNAZIER, M. J. Cochonilha da roseta do café conilon. Disponível em: <<http://amarilsonoc.webnode.com/news/cochonilha-da-rosetado-cafe-conilon/>>. Acesso em 23 de dezembro de 2023.

GARCÍA-CÁRDENAS, R., MONTOYA-LERMA, J., & ARMBRECHT, I. Ant diversity under three coverages in a Neotropical coffee landscape. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1373-1389. 2018.

GOMES, D.S.; ALMEIDA, F.S.; VARGAS, A.B.; QUEIROZ, J.M. Response of the ant assemblage to a gradient of environmental change in the soil-litter interface. *Iheringia. Série Zoologia*, v. 103, p. 104-109, 2013.

GRAY, J.S. Species-abundance patterns. In: GEE, J.H.R.; GILLER, P.S. (EDS.). Organization of communities – past and present. Oxford, UK: Blackwell Science, 1987. p.53-67.

GROC, S.; DELABIE, J.H.C.; FERNÁNDEZ, F.; LE蓬CE, M.; ORIVEL, J.; SILVESTRE, R.; VASCONCELOS, H.L.; DEJEAN, A. Leaf-litter ant communities (Hymenoptera: Formicidae) in a pristine Guianese rain-forest: stable functional structure versus high species turnover. *Myrmecological News*, v.19, p.43-51, 2014.

GUÉNARD, B., WEISER, M., GOMEZ, K., NARULA, N., ECONOMO, EP. Banco de dados Global Ant Biodiversity Informatics (GABI): uma síntese das distribuições geográficas de espécies de formigas. *Notícias Mirmecológicas* 24: 83-89. 2017

GUIMARÃES, P.R., RICO-GRAY, V., OLIVEIRA, P.S., IZZO, T.J., REIS, S.F.D. AND THOMPSON, J.N. Interaction intimacy affects structure and coevolutionary dynamics in mutualistic networks. *Current Biology*, v.17, p.1797–1803, (2007).

HELMS, J.A., 2018. The flight ecology of ants (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecol. News* 26, 19–30.

HÖLLDOBLER, B., & WILSON, E. O. (2009). The Superorganism: The Beauty, Elegance, and Strangeness of Insect Societies. W. W. Norton & Company.

HOOPER, D. U. et al. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature* 486, 105–108, 2012.

HUAIS, P.Y., 2018. Multifit: an R function for multi-scale analysis in landscape ecology. *Landsc. Ecol.* 33, 1023–1028.

ISASSI, I, JAVIER et al. Shade-growing practices lessen the impact of coffee plantations on multiple dimensions of ant diversity. *Journal of Applied Ecology*, v. 58, n. 5, p. 919-930, 9 fev. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13842>. Acesso em: 14 Março. 2024

JETTER, K.M.; HAMILTON, J.; KLOTZ, J.H. Red imported fire ants threaten agriculture wildlife and homes. *California Agriculture*, v.56, n.1, p.26-34, 2002.

LACERDA, A. C. DE., BOCCHI, J. I., REGO, J. M., BORGES, M. A. E MARQUES, R. M. 2018. Economia brasileira (6a ed.). Saraiva, 328 p.

LARSEN, A and PHILPOTT SM, Twig-nesting ants: The hidden predators of the coffee berry borer in Chiapas, Mexico. *Biotropica* 42:342–347 (2010).

- LASMAR, C.J., QUEIROZ, A.C.M., ROSA, C. et al. Contrasting edge and pasture matrix effects on ant diversity from fragmented landscapes across multiple spatial scales. *Landscape Ecol* 36, 2583–2597. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01258-y>. 2021.
- LEAL, I.R., FILGUEIRAS, B.K., GOMES, J.P., IANNUZZI, L., ANDERSEN, A.N., 2012. Effects of habitat fragmentation on ant richness and functional composition in Brazilian Atlantic forest. *Biodivers. Conserv.* 21, 1687–1701.
- LIMA, H.V. DE; OLIVEIRA, T.S. DE; OLIVEIRA, M.M. DE; MENDONÇA, E. DE S.; LIMA, P.J.B.F. Soil quality indicators in organic and conventional in the semi-arid region of Ceará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.5, p.1085-1098, 2007
- LORINI, I. Insecticide resistance in *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrichidae), a pest of stored grain. London: University of London, 1997. 166p.
- MacARTHUR, R. On the relative abundance of bird species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v.43, n.3, 1957. p.293-295.
- MACEDO, L.P.M.; BERTI FILHO, E.; DELABIE, J.H.C. Epigean ant communities in Atlantic Forest remnants of São Paulo: a comparative study using the guild concept. *Revista Brasileira de Entomologia*, v.55, n.1, p.75-78, 2011.
- MAGURRAN, A.E. Ecological diversity and its measurement. 2.ed. Princeton: Princeton University, 1988. 179p.
- MARCHIORI, J. J. DE P. (2020). Mirmecofauna e suas interações com hemípteros fitófagos em áreas cultivadas. Instituto de ciências biológicas e da saúde-icbs programa de pós-graduação em fitossanidade e biotecnologia aplicada. p.62.
- MARCHIORI, J. J. P. Almeida, F. S., Mayhé-Nunes, A. J., Nobre, R. V. L., & de Paulo, H. H. Interactions between ants and scale insects in sugarcane: species and effects on insect pests. *Revista Caatinga*, 36(3), 731-739. 2023.
- MAPA 2019. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Café no Brasil. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>>. Acesso em: 13 de julho. 2023.
- MARTINS, L.; ALMEIDA, F.S.; MAYHÉ-NUNES, A.J.; VARGAS, A.B. Efeito da complexidade estrutural do ambiente sobre as comunidades de formigas (Hymenoptera: Formicidae) no município de Resende, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 9, n. 2, p. 174-179, 2011.
- MEYER, S. T.; LEAL, I. R.; WIRTH, R. Persisting Hyper-abundance of Leaf-cutting Ants (*Atta* spp.) at the Edge of an Old Atlantic Forest Fragment. *Biotropica*, v. 41, n. 6, p. 711-716, 2009.
- MORRIS JR AND PERFECTO I, Testing the potential for ant predation of immature coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) life stages. *Agric Ecosyst Environ* 233:224–228 (2016).

- MORRIS, J.R., JIMÉNEZ-SOTO, E., PHILPOTT, S.M., PERFECTO, I., 2018. Ant-mediated (Hymenoptera: Formicidae) biological control of the coffee berry borer: diversity, ecological complexity, and conservation biocontrol. *Myrmecol. News* 26, 1–17.
- MORRISON, L. W.; PORTER, S. D. Positive association between densities of red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae), and generalized ant and arthropod diversity. *Environmental Entomology*, V.32, p.548-554, 2003.
- MOTOMURA, I. On the statistical treatment of communities. *Zoological Magazine*, v.44 p.379-383, 1932.
- NAGENDRA, H., MUNROE, D.K., SOUTHWORTH. 2004. From pattern to process: Landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. *Agri. Ecos. Envi.* 101: 111–115.
- NAKAMURA, A.; PROCTOR, H.; CATTERALL, C.P. Using soil and litter arthropods to assess the state of rainforest restoration. *Ecology Manager Rest.* v.4, p.20-28, 2003.
- ODUM, E.P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434p.
- OKSANEN, J. et al. Vegan: community ecology package. R package version 1.17.9. 2010. Disponível em: <<http://CRAN.Rprojetc.Org/package=vegan>>. Acesso em: 23/12/2023.
- OLIVEIRA, A. B. S., SCHMIDT, F. A. 2019. Ant assemblages of Brazil nut trees *Bertholletia excelsa* in forest and pasture habitats in the Southwestern Brazilian Amazon. *Biodiversity and Conservation*, 28(2), 329-344.
- PARRIS, L.B.; LAMONT, M.M.; CARTHY, R.R. Increased incidence of red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) presence in loggerhead sea turtle (Testudines: Cheloniidae) nests and observations of hatchling mortality. *Florida Entomologist*, v.85, n.3, p.524-527, 2002.
- PEREIRA, M.P.S.; QUEIROZ, J.M.; SOUZA, G.O.; MAYHE-NUNES, A.J. Influence of Litter heterogeneity on ants that nest in dead branches in native forest and eucalyptus plantation. *Neotropical Biology and Conservation* v.2, p.161-164, 2007.
- PEREIRA, L. P. C. et al. Seasonal Analysis of Taxonomic and Functional Diversity of Poneromorph Ant Assemblages in the Amazon Forest. *Sociobiology*, Feira de Santana, n. 63, v. 3, p. 941-949, sep. 2016.
- PERFECTO, I., ARMBRECHT, I., PHILPOTT, S.M., SOTO-PINTO, L., DIETSCH, T.V. Shaded coffee and the stability of rainforest margins in northern Latin America. In: Tscharntke T., Leuschner C., Zeller M., Guhardja E., Bidin A. (Ed.) *Stability of tropical rainforest margins. Environmental Science and Engineering (Environmental Science)* (pp. 225– 261). 2007.

PERFECTO I, VANDERMEER J. The agroecological matrix as an alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. Proceedings of the National Academy of Sciences; 107(13): 5786-5791. 10.1073/pnas.0905455107. 2010.

POWELL, S. & BAKER, B. The great predators of the Neotropics: Behavior, diet and impact of army ants (ecitoninae). In: Social insects from biology to application (Ed. by Ferreira Vilela, E., dos Santos, I. A., Serrão, J. E., Schoereder, J. H., Lino-Neto, J. & de O. Campos, L. A.), pp. 18-37. Viçosa, Brazil: Universidade Federal de Viçosa. (2008).

PRESTON, F.W. The commonness and rarity of species. Ecology, v.29, n.3, 1948. p.254-283.

QUEIROZ, J.M.; ALMEIDA, F.S.; PEREIRA, M.P.S. Biodiversity conservation and the role of ants (Hymenoptera: Formicidae) in agroecosystems. Floresta e Ambiente, v.13, n.2, p.37-45, 2006.

QUEIROZ, A. C. M., RABELLO, A. M., BRAGA, D. L., SANTIAGO, G. S., ZURLO, L. F., PHILPOTT, S. M., RIBAS, C. R. 2017. Cerrado vegetation types determine how land use impacts ant biodiversity. *Biod. Cons.* 1-18.

QUEIROZ ACM, RABELLO AM, BRAGA DL ET AL. Cerrado vegetation types determine how land use impacts ant biodiversity. *Biodivers Conserv* 29:2017–2034. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1379-8>. 2020.

R Development Core Team (2023) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.r-project.org>

RABELING, Christian; BROWN, Jeremy M.; VERHAAGH, Manfred. 2008. Newly discovered sister lineage sheds light on early ant evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 105, n. 39, p. 14913-14917.

RABELING, C. M. VERHAAGH & W. ENGELS Comparative study of nest architecture and colony structure of the fungus-growing ants, *Mycoceroporus goeldii* and *M. smithii*. *J. Insect Science*. 7 (40): 1-13, 2007.

RABELING, C.; J. LINO-NETO S.C.; CAPPELLARI, I.A.; DOS-SANTOS, U.G. MUELLER & M. BACCI JR. Thelytokous parthenogenesis in the fungus-growing ant *Mycoceroporus smithii* (Hymenoptera: Formicidae). *Public Library of Science*. 4: e6781, 2009.

RICKLEFS, R.E. A economia da natureza. 3.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 1996. 470p.

SANTOS, M.S.; LOUZADA, J.N.C.; DIAS.; ZANETTI, R.; DELABIE, J.H.C.; NASCIMENTO, I.C.N. Riqueza de formigas (Hymenoptera, Formicidae) da serapilheira em

fragmentos de floresta semidecidua da Mata Atlântica na região do Alto do rio Grande, MG, Brasil. *Ilheringia Série Zoologia*, Porto Alegre, v.96, n.1, p. 95-101, 2006.

SANTOS, M.R.A. et al. DIVERSIDADE DE FORMIGAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) EM CONSÓRCIOS DE CAFÉ CONILON. *Revista científica UMC*, pág. 1–4, 2020.

SILVA, É.B.; RAMOS, A.B.B. Levantamento florístico e dispersão de sementes em uma área degradada de caatinga hiperxerófila. In: Segundo Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido. Anais... p. 7-22. 2018.

SILVA, R.R. & BRANDÃO, C.R.F.(2010). Morphological patterns and community organization in leaf-litter ant assemblages. *Ecological Monographs*, 80: 107-124. doi: 10.1890/08-1298.1

SILVA, R.R., MARTELLO, F., FEITOSA, R.M., SILVA, O.G.M., PRADO, L.P., BRANDÃO, C.R.F., et al. ATLANTIC ANTS: A data set of ants in Atlantic forests of South America. *Ecology*, 103(2), e03580. Available from: <https://doi.org/10.1002/ecy.3580>. 2022.

SOLAR, R.R. DE C., BARLOW, J., ANDERSEN, A.N., SCHÖEREDER, J.H., BERENGUER, E., FERREIRA, J.N., GARDNER, T.A. 2016. Biodiversity consequences of land-use change and forest disturbance in the Amazon: A multi-scale assessment using ant communities. *Biol. Cons.* 197: 98–107.

STERNBERG, L. S. L.; et al. Plants use macronutrients accumulated in leaf-cutting ant nests. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, v. 274, n. 1608, p. 315-321, 2007.

SUGUITURU, S. S.; MORINI, M. S. C.; FEITOSA, R. M.; SILVA, R. R.; Formigas do Alto Tietê. 1.ed., São Paulo, Bauru: Canal6, 2015.

TITTENSOR, D. P. et al. A mid-term analysis of progress toward international biodiversity targets. *Science* 346, 241–244 (2014). Doi:10.1038/nature14324

TSCHARNTKE, T., et al., 2012. Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses. *Biol. Rev.* 87: 661–685.

VAN GILS, H.A.J.A.; GAIGL, A.; GÓMEZ, L.E. (2010) The relationship between soil variables and leafcutter ant (*Atta sexdens*) nest distribution in the Colombian Amazon. *Insectes Sociaux*, 57 (4), 487-494.

VARGAS, A. B., MAYHÉ-NUNES A. J., QUEIROZ, J. M. G. O. SOUZA & E. F. RAMOS. 2007. Effects of environmental factors on the ant fauna of restinga community in Rio de Janeiro, Brazil, RJ. *Neotropical Entomology.*; 6: 28-37. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-566X2007000100004>.

VASCONCELOS, H. L., MARAVALHAS, J. B., FEITOSA, R. M., PACHECO, R., NEVES, K. C., ANDERSEN, A. 2018. Neotropical savanna ants show a reversed latitudinal gradient of species richness, with climatic drivers reflecting the forest origin of the fauna. *Jour Biog.* 45: 248–258.

VASCONCELOS, H.L., FEITOSA, R.M., DURIGAN, G. et al. The Ground-Dwelling Ant Fauna from a Cerrado Reserve in Southeastern Brazil: Vegetation Heterogeneity as a Promoter of Ant Diversity. *Neotrop Entomol* 52, 36–45 (2023). <https://doi.org/10.1007/s13744-022-01010-4>

VICENTE, R. E., SOUZA, J. L. P., & DO PRADO, L. P. The Capixaba ant species inventory is far from complete: A local scale assessment of the ants (Formicidae) reveals the importance of diversity studies and entomological collections. *Sociobiology*, 70(2), e9601-e9601.2023.

WEBER, N. A. Gardening ants: the Attines. Philadelphia: The American Philosophical Society, 146 p, 1972

WIN, A.T.; KINOSHITA, T.; TSUJI, K. 2018. The presence of an alternative food source changes the tending behavior of the big-headed ant, *Pheidole megacephala* (Hymenoptera: Formicidae) on *Dysmicoccus brevipes* (Homoptera: Pseudococcidae). *Applied Entomology and Zoology*, v.53, p.253–258.

WIRTH, R., MEYER, S. T., ALMEIDA, W. R., ARAUJO, M. V., BARBOSA, V. S. & LEAL, I. R., 2007. Increasing densities of leaf-cutting ants (*Atta* spp.) with proximity to the edge in a Brazilian Atlantic forest. *Journal of Tropical Ecology* 23:501-505.

ZIPF, G.K. Human behavior and the principle of least effort. Cambridge, Massachusetts: Addison-Wesley, 1949. 573p.

CAPÍTULO II

**EFEITO DE FATORES LOCAIS E DE PAISAGEM SOBRE FUNÇÕES
ECOLÓGICAS EM AGROSSISTEMAS: AVALIAÇÃO DO RISCO DE
PREDAÇÃO ATRAVÉS DO USO DE MODELOS ARTIFICIAIS DE
PRESAS EM CAFEZAIS NO VALE DO RIO DOCE - GOVERNADOR
LINDENBERG, ES, BRASIL**

RESUMO

A degradação ambiental e a perda de biodiversidade são desafios para a sustentabilidade agrícola, especialmente em monoculturas. Este capítulo avalia o risco de predação em agroecossistemas de café, investigando a influência de fatores locais e de paisagem nas interações ecológicas desses sistemas. O estudo foi realizado em nove cafezais no Vale do Rio Doce, ES, durante dezembro/22 e janeiro/23, avaliando variáveis como profundidade da serapilheira, infestação por cochonilhas e cobertura florestal. Foram instalados 216 modelos artificiais de lagartas em ramos isolados e não isolados, com isolamento feito por vaselina sólida para impedir o acesso das formigas aos ramos contendo os modelos. Os modelos foram deixados por 48 horas para permitir a observação das interações predatórias. Dos 216 modelos, 90 apresentaram marcas de predação em ramos não isolados e 35 em ramos isolados, evidenciando uma maior frequência de ataques nos ramos não isolados. As secreções de cochonilhas, ricas em carboidratos, atraíram formigas e vespas predadoras, que desempenharam papel relevante na predação. A análise estatística foi realizada por meio de modelos lineares generalizados mistos (GLMM). Os resultados mostraram significância positiva para ramos não isolados (estimativa = 2,578; $p < 0,001$) e infestação por cochonilhas (estimativa = 0,393; $p = 0,0103$) como fatores determinantes no risco de predação. A cobertura florestal teve efeito marginalmente significativo (estimativa = 1,782; $p = 0,0861$). Embora menos expressiva, a cobertura florestal sugere um papel importante na conectividade dos habitats e na promoção da diversidade de predadores. Essas interações, envolvendo formigas, cochonilhas e vespas, reforçam a relevância das relações ecológicas em agroecossistemas e destacam o papel dos predadores naturais. Conclui-se que fatores locais, como cochonilhas, influenciam significativamente o risco de predação ao atraírem formigas e vespas, enquanto a cobertura florestal, mesmo marginalmente significativa, desempenha um papel importante na biodiversidade funcional. Este estudo sugere que fatores que favoreçam a presença de formigas predadoras e a conectividade florestal podem melhorar a sustentabilidade e a conservação da biodiversidade em áreas agrícolas.

Palavras-chave: Agroecossistemas, conservação da biodiversidade, controle biológico.

ABSTRACT

Environmental degradation and biodiversity loss are challenges for agricultural sustainability, especially in monocultures. This chapter assesses the risk of predation in coffee agroecosystems, investigating the influence of local and landscape factors on the ecological interactions of these systems. The study was conducted in nine coffee plantations in the Rio Doce Valley, Espírito Santo, during December 2022 and January 2023, evaluating variables such as litter depth, scale infestation, and forest cover. A total of 216 artificial caterpillar models were installed on isolated and non-isolated branches, with isolation made with solid petroleum jelly to prevent ants from accessing the branches containing the models. The models were left for 48 hours to allow observation of predatory interactions. Of the 216 models, 90 showed predation marks on non-isolated branches and 35 on isolated branches, evidencing a higher frequency of attacks on non-isolated branches. The secretions of mealybugs, rich in carbohydrates, attracted predatory ants and wasps, which played a relevant role in predation. Statistical analysis was performed using generalized linear mixed models (GLMM). The results showed positive significance for non-isolated branches (estimate = 2.578; $p < 0.001$) and mealybug infestation (estimate = 0.393; $p = 0.0103$) as determining factors in predation risk. Forest cover had a marginally significant effect (estimate = 1.782; $p = 0.0861$). Although less expressive, forest cover suggests an important role in habitat connectivity and in promoting predator diversity. These interactions, involving ants, mealybugs and wasps, reinforce the relevance of ecological relationships in agroecosystems and highlight the role of natural predators. It is concluded that local factors, such as scale insects, significantly influence predation risk by attracting ants and wasps, while forest cover, even marginally significant, plays an important role in functional biodiversity. This study suggests that factors that favor the presence of predatory ants and forest connectivity can improve sustainability and biodiversity conservation in agricultural areas.

Keywords: Agroecosystems, biodiversity conservation, biological control.

1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental é um fenômeno global que afeta diretamente os ecossistemas. A implantação de agroecossistemas é uma das principais promotoras desse fenômeno, que resulta em redução da cobertura florestal, gerando homogeneização da paisagem (Verburg et al., 2013), perdas de biodiversidade (Barlow et al., 2016) e redução dos serviços ecossistêmicos (Laurance et al., 2014). Apesar dessa realidade, a produção de alimentos pode ser realizada com a conservação dos recursos naturais (Perfecto & Vandermeer, 2010). Mas para entender como isso pode acontecer é necessário desvendar os mecanismos de funcionamento dos agroecossistemas.

A presença da cobertura florestal em paisagens dominadas por agroecossistemas tem sido reconhecida como um fator chave para promover a funcionalidade ecológica desses sistemas, proporcionando diversos benefícios, como a regulação do clima, a conservação da biodiversidade e a manutenção de serviços ecossistêmicos (Dainese et al., 2019). Uma função crucial que pode ser afetada pela presença de florestas em paisagens agrícolas, é o controle de pragas por meio da predação natural (Hohlenwerger et al. 2022). As interações de predadores e presas exercem uma influência significativa no funcionamento dos agroecossistemas, afetando a produtividade e a sustentabilidade da agricultura (Clark & Singer, 2018).

Entre os organismos que podem agir como predadores em agroecossistemas, as formigas merecem destaque (Queiroz et al. 2006). Estudos demonstraram que a presença de formigas pode contribuir significativamente para o controle biológico de pragas em diferentes sistemas agrícolas. Por exemplo, Way e Khoo (1992) destacaram o papel de formigas na redução de populações de pragas em plantações de cacau e citros, enquanto Perfecto e Castiñeiras (1998) observaram a importância de formigas na regulação de pragas em sistemas agroflorestais para produção de café. As formigas, como *Pheidole spp.*, *Azteca spp.* e *Solenopsis spp.*, têm sido capazes de prevenir danos causados pela broca do café, uma das principais pragas da cultura, através da interrupção da atividade de oviposição das fêmeas e predação dos imaturos desse coleóptero (Morris & Perfecto 2018). De fato, essas formigas se tornaram os predadores mais estudados para o controle dessa praga em plantios de café. Philpott e Armbrecht (2006) apontaram que uma maior diversidade de espécies de formigas pode melhorar significativamente o controle de artrópodes herbívoros em agroecossistemas. Esse efeito positivo também foi reforçado por Saturni et al. (2016) e Aristizábal & Metzger (2019), que destacaram como a ação dessas formigas pode aumentar a produtividade das lavouras

em até 40%. Fatores locais e de paisagem são cruciais na atuação de formigas como predadoras em agroecossistemas. Características do habitat, como a estrutura da vegetação e a profundidade da serapilheira, influenciam a densidade e diversidade das comunidades de formigas (Vargas et al. 2007; Amaral et al. (2019). Além disso, a configuração da paisagem, incluindo fragmentos florestais e conectividade entre habitats, afeta o fluxo de espécies e a estabilidade das populações de predadores em áreas agrícolas (Tscharntke et al. 2007). Estudos mostram que ambientes com maior complexidade estrutural favorecem formigas generalistas, essenciais no controle biológico de pragas (Armbrecht & Gallego-ropero 2006). Recentemente, Feitosa et al. (2022) destacaram que a diversidade funcional de formigas está relacionada à eficácia no controle de pragas, ressaltando a importância de considerar a diversidade em níveis funcionais, além da simples riqueza de espécies. No entanto, em monoculturas extensivas, a diversidade de predadores é reduzida, comprometendo a eficiência desse controle biológico (Bianchi et al. 2006). Observações em campo confirmam que, em áreas com vegetação uniforme, a presença de formigas predadoras diminui. Assim, é fundamental entender como fatores locais e de paisagem interagem na predação por formigas em agroecossistemas (Rosenheim et al. 2008).

A fim de avaliar o risco de predação em agroecossistemas, o uso de modelos artificiais de presas tem se mostrado uma ferramenta útil (Murray et al., 2020; Roels et al., 2018). Esses modelos replicam características de presas reais, embora o número de ataques seja menor quando comparado aos ataques ocorridos naturalmente (Nagy et al., 2020). Além disso, os modelos artificiais de presas possibilitam a investigação de diferentes cenários e variáveis, fornecendo informações valiosas sobre a dinâmica predatória em diferentes ambientes (Roels et al., 2018). Além disso, possui a capacidade de fornecer informações sobre a identidade dos animais que atacam os modelos, podendo-se estimar a taxa de predação por artrópodes, aves, répteis e mamíferos (Low et al., 2014). Estes modelos confeccionados por plasticina são utilizados tanto nos ramos como nas folhas, com a finalidade de se assemelhar a lagartas de lepidópteros sobre plantas (Roslin et al., 2017) ou outro estágio desses insetos (Chevalier et al., 2013). Este fato faz com que vários grupos de organismos como formigas, aves, mamíferos e répteis busquem atacar e/ou remover esses modelos artificiais, às vezes deixando a marca de seus aparelhos bucais nos modelos artificiais, tornando possível a identificação taxonômica (Low et al., 2014). Os artrópodes e principalmente as formigas tem se destacado em relação aos demais grupos que podem atacar os modelos artificiais de presas (Roslin et al., 2017).

Neste contexto, este estudo tem como objetivo principal analisar os efeitos da paisagem e de fatores locais sobre as funções ecológicas em agroecossistemas, com foco na avaliação do risco de predação através do uso de modelos artificiais de presas em monocultivos de café no Vale do Rio Doce – Governador Lindenberg, ES, Brasil. Assim, esse trabalho pretendeu abordar as seguintes questões: há influência de fatores locais, como a presença de cochonilhas e da serapilheira, e da paisagem (cobertura florestal) sobre o risco de predação de artrópodes em cafezais a pleno sol? A compreensão desses efeitos da floresta e de fatores locais sobre a predação em agroecossistemas poderá subsidiar a tomada de decisões relacionadas à conservação da biodiversidade, ao desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo integrado de pragas e ao manejo sustentável da agricultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta de dados

2.1.1 Área de estudo

A amostragem do risco de predação nos modelos artificiais de formigas ocorreu entre os meses de dezembro/22 e janeiro/23 em nove cafezais (ver área de estudo), onde em cada um foi determinado 12 pontos de coletas, com distância de 12 metros da borda em relação as parcelas, cada um ao lado de uma planta de café (Figura 3).

2.1.2 Experimento sobre potencial de predação

Para este estudo foram criados modelos artificiais de lagartas, utilizando massa de modelar plasticina Acrilex®, de cor verde, atóxica aos animais.

Para produzir os modelos artificiais de lagartas, foi utilizado um espremedor de limão com 9 furos (Figura 17); para realizar o corte e padronização dos modelos foram utilizados um estilete e uma régua graduada.



Figura 17: Espremedor de limão utilizado para confeccionar os modelos artificiais (lagartas), posteriormente utilizado nos nove cafezais localizado no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Fonte: próprio autor, 2023.

Cada indivíduo (lagarta artificial) teve comprimento e circunferência de 3,5 x 0,5 mm. Os modelos foram colocados individualmente em tubos de ependorf para evitar marcas e facilitar o manuseio no campo experimental, similar à metodologia empregada por de Pena et al. (2020).

Para realização do experimento foi marcado um ponto central em cada cafezal com a utilização do programa Google Earth e Qgis, de forma a respeitar no mínimo 12 metros de bordadura. Em cada cafezal foi marcada uma parcela de 12 plantas espaçadas entre si por uma distância de 12 metros. Os modelos artificiais de lagartas foram fixadas nos ramos plagiotropicos das plantas de café (Figura 18), onde se localizam as folhas. Em cada planta foram fixados dois modelos de largartas artificiais, totalizando vinte e quatro modelos por cafezal e duzentos e dezesseis modelos artificiais para todo o experimento. Em cada extremidade dos modelos artificiais foram colocados uma gota de adesivo instantâneo 793 Tek Bond 20g a base de cianoacrilato de média viscosidade. Dos 24 modelos artificiais fixados por área, doze foram isolados com vaselina solida, com o intuito de um bloqueio de artrópodes que poderiam forragear a planta, especificamente formigas. As lagartas artificiais ficaram expostas no campo por um período de 48 horas. A identificação de marcas nos modelos artificiais foi baseada em materiais de apoio disponível na literatura (Low et al., 2014).



Figura 18: Fixação do modelo de lagarta artificial com uso de plasticilina verde atóxica em ramo plagiotropico com livre acesso em cafezais localizado no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Fonte: próprio autor, 2023.

Com a utilização de uma prancheta e caneta pin fine line de ponta 0,2mm, resistente a água e álcool, afim de evitar perda de dados, todas as marcas de predação foram atribuídas entre o grupo dos Artrópodes, especificamente as formigas (Roels et al., 2018). Múltiplas marcas feitas pelo mesmo tipo de predador em uma única lagarta artificial foram categorizadas como um único evento. Os modelos artificiais foram retirados do campo a fim de não deixar resíduos no ambiente.

2.1.3 Fatores ambientais locais

Para avaliação de fatores locais, foram realizadas medições da altura de serapilheira ao lado de cada planta, pois a serapilheira é fonte de recursos alimentares e sítios de nidificação para as formigas (Santos et al., 2006). Desta forma totalizando 12 medidas por cafezal, onde posteriormente foi calculada a altura média de serapilheira por cafezal. Para as medições, foi utilizado uma régua na vertical, perpendicular ao solo, se atentando ao nivelamento do solo até onde tivesse serapilheira.

Um outro fator local avaliado foi à presença de cochonilha nas plantas de café. Os cafezais estavam em pleno estagio produtivo com grãos verdes e rosetas bem concentradas (Figura 8 a, vide cap 1). Foram analisadas 30 rosetas em cada planta, totalizando 360 rosetas por cafezal a fim de registrar a presença de cochonilhas (Figura 8 b, vide cap 1). É importante ressaltar que todos os cafezais tiveram a utilização de produtos sintéticos em suas práticas agrícolas

2.1.4. Fator ambiental de paisagem

Os cafezais selecionados para o estudo estavam inseridos em paisagens representando um gradiente de cobertura florestal (%) no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES, conforme mencionado no (capitulo 1).

As florestas são consideradas o principal habitat para espécies de formigas. Mesmo diante de perturbações, tendem a oferecerem abrigo, recursos alimentares e condições adequadas para a reprodução e sobrevivência de muitas espécies de formigas e outros organismos associados ao ambiente florestal (Solar et al., 2016). A cobertura florestal é uma variável utilizada na descrição de paisagens florestais modificadas por fatores antrópicos (Fahrig et al., 2011; Fahrig, 2013).

Para avaliar a cobertura florestal das paisagens onde os cafezais estudados se localizavam foi utilizado imagens da ferramenta Google Earth Pro, seguida de visitas aos cafezais para validar os dados. As coordenadas foram obtidas para delimitar as áreas de estudo, as quais foram confirmadas no campo com a utilização de um GPS.

Em cada uma das nove paisagens, foi estabelecido 10 raios aninhados ao redor das parcelas de amostragem, com distâncias de 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500 metros. Para gerar esses raios, foi utilizado o software QGIS 3.30 e o complemento Multi Ring Buffer. Esses raios permitiram obter as porcentagens de área ocupada por cafeicultura e cobertura florestal em cada área de estudo, que foram tratados no pacote da Microsoft em planilhas do Excel.

O tamanho mínimo de 50 metros para o buffer foi escolhido porque fatores ambientais locais têm uma influência mais forte no forrageamento das formigas em uma escala mais fina, como o microclima, disponibilidade de recursos locais e estrutura da vegetação (Leal et al., 2012). Já a extensão máxima de 500 metros foi selecionada levando em consideração a facilidade de dispersão de indivíduos (Helms, 2018).

Essa abordagem espacial permite avaliar a influência da paisagem circundante, especialmente a cobertura florestal e a proximidade das áreas de cultivo de café, nas comunidades de formigas e em sua função ecológica. Ao utilizar uma escala de raios variados, poderemos analisar os efeitos das diferentes distâncias e proporções de cobertura florestal na resposta das formigas, contribuindo para uma compreensão mais completa das interações entre as formigas e os modelos artificiais de presas nos ambientes selecionados.

2.2 ANÁLISE DOS DADOS

Foram avaliados os efeitos da variável preditiva (ie, cobertura florestal) em 10 extensões com raios de 50 a 500 metros nas nove propriedades estudadas, por meio de modelos lineares generalizados (GLM). Cabe ressaltar que cada parcela possui um valor fixo de cada um dos descritores utilizados e o que varia é a área coberta por floresta dentro dos tampões. Para identificar a escala do efeito da cobertura florestal nas relações artrópodes-planta, as marcas foram caracterizadas pelo número total de lagartas artificiais atacadas em cada cafezal. Para isso, utilizou-se o maior R² da extensão do candidato com um P-valor significativo usando a função 'multifit' R (Huais, 2018)

Foi utilizado o modelo linear generalizado misto (GLMM) de família binomial, logaritimizado, onde a variável resposta foi o numero de ataque aos modelos articiais de lagarta, tendo o valor de 1 para o modelo atacado e zero (0) quando o ataque não ocorreu; as variáveis preditoras foram: categoria de ramo (isolado e não isolado), infestação por cochonilhas, profundidade da serapilheira e cobertura florestal na paisagem (fatores fixos); os cafezais foram utilizados como fator aleatório no modelo.

Os dados foram tabulados utilizando o pacote excel da Microsoft, posteriormente utilizando os pacotes lme4 e ggplot2 para a plataforma R studio para tratar as análises estatísticas.

3 RESULTADOS

Embora tenha sido observado a presença de vertebrados (por exemplo aves) nos cafezais, apenas dois modelos articiais de lagartas apresentavam marcas desses organismos. Sendo assim, foram considerados apenas os modelos com marcas de invertebrados (artrópodes). Dos 216 modelos de lagartas articiais instalados nos nove cafezais, 90

apresentaram marcas de predação por artrópodes nos ramos não isolados, enquanto 35 foram encontrados com marcas nos ramos isolados. Por outro lado, 91 modelos não mostraram qualquer sinal de ataque. A variação no número de modelos atacados entre os cafezais pode ser observada na figura 22. A variação no número de modelos de presas atacadas foi maior para ramos isolados do que para ramos não isolados.

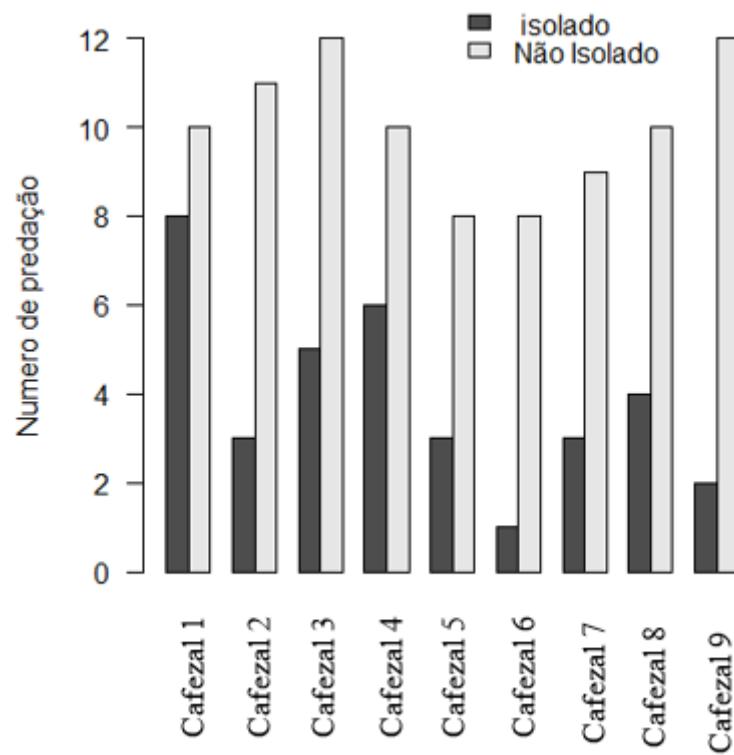


Figura 19: No eixo x temos as propriedades estudadas, no eixo y temos o número de marcas nos modelos artificiais de lagartas em galhos isolados e não isolados variando de 0 a 12 respectivamente, em cafezais estudados no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES.

Fonte: próprio autor, 2023.

Entre os principais artrópodes observados, destacou-se marcas que podem ser atribuídas a formigas, interagindo com os modelos artificiais, conforme demonstrado na figura (23 A e B). As figuras evidenciam tanto as marcas deixadas quanto a interação ativa desses insetos com os modelos artificiais de lagartas.



Figura 20: (A). Marcas que indicam a presença de possível predação de vespas. (B) Presença de vespas na área experimental localizados no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Fonte: próprio autor, 2023.

3.1 Análise das marcas de predação e as variáveis ambientais.

A cobertura florestal medida nos cafezais em diferentes escalas espaciais variou entre 0 e 75%. A melhor relação entre o número de lagartas atacadas com a cobertura florestal foi na escala de raio de 350 metros ($R^2=0.33514$; Figura 21).

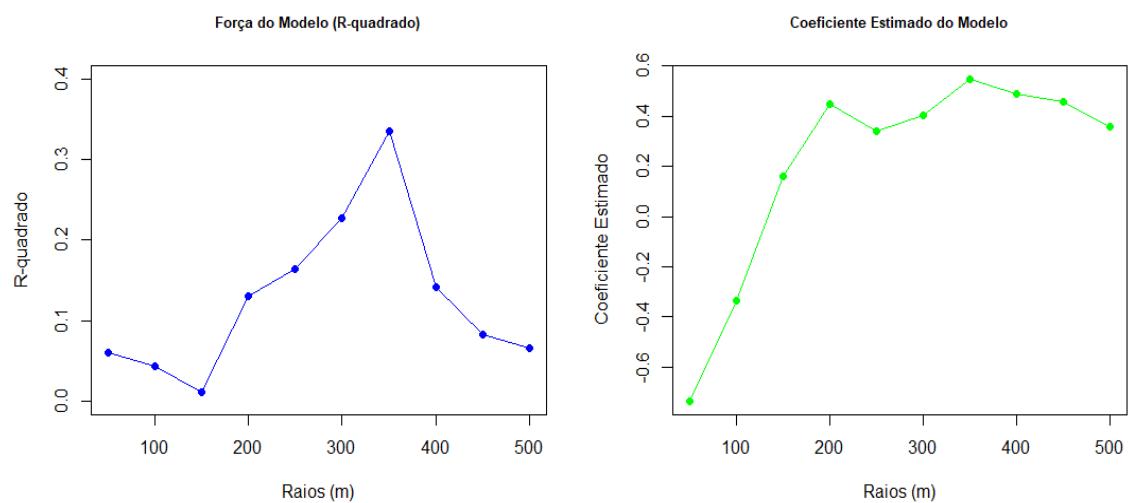


Figura 21: Escala de efeito da cobertura florestal em 10 extensões espaciais (50 a 500 metros) para marcas de predação em lagartas artificiais. Representação da escala de

efeito no eixo x onde caracteriza a extensão espacial em relação ao maior R² no eixo y. Com auxílio do software R studio. Fonte: próprio autor, 2023.

Os resultados dos modelos lineares generalizados mistos (GLMM) indicaram que, das variáveis preditoras (% de cobertura florestal, serapilheira, cochonilha, ramo isolado e não isolado), apenas a variável ramo não isolado e cochonilha foi significativamente afetada pela variável preditora. No entanto, a cobertura florestal apresentou um efeito marginalmente significativo, indicando a necessidade de uma investigação mais aprofundada sobre o papel da cobertura florestal no ataque a presas em cafezais no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. (Tabela 5).

Tabela 5: Estimativas dos Parâmetros do GLMM para o Efeito de Cochonilha, Ramo não isolado, Cobertura Florestal e Serapilheira m cafezais estudados no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES.

	Estimativa	Erro padrão	Valor-z	Pr(> z)
Ramo não isolado	2,57796	0,36819	7,002	2.53e-12
Cochonilha	0,39324	0,15333	2,565	0,0103
Cobertura florestal	1,78151	1,03803	1,716	0,0861
Serapilheira	-0,09701	0,09788	-0,991	0,3216

Houve uma relação significativa e positiva na análise dos modelos contendo tratamento (ramos isolados e não isolados de formigas) e a presença de cochonilhas (Figura 25).

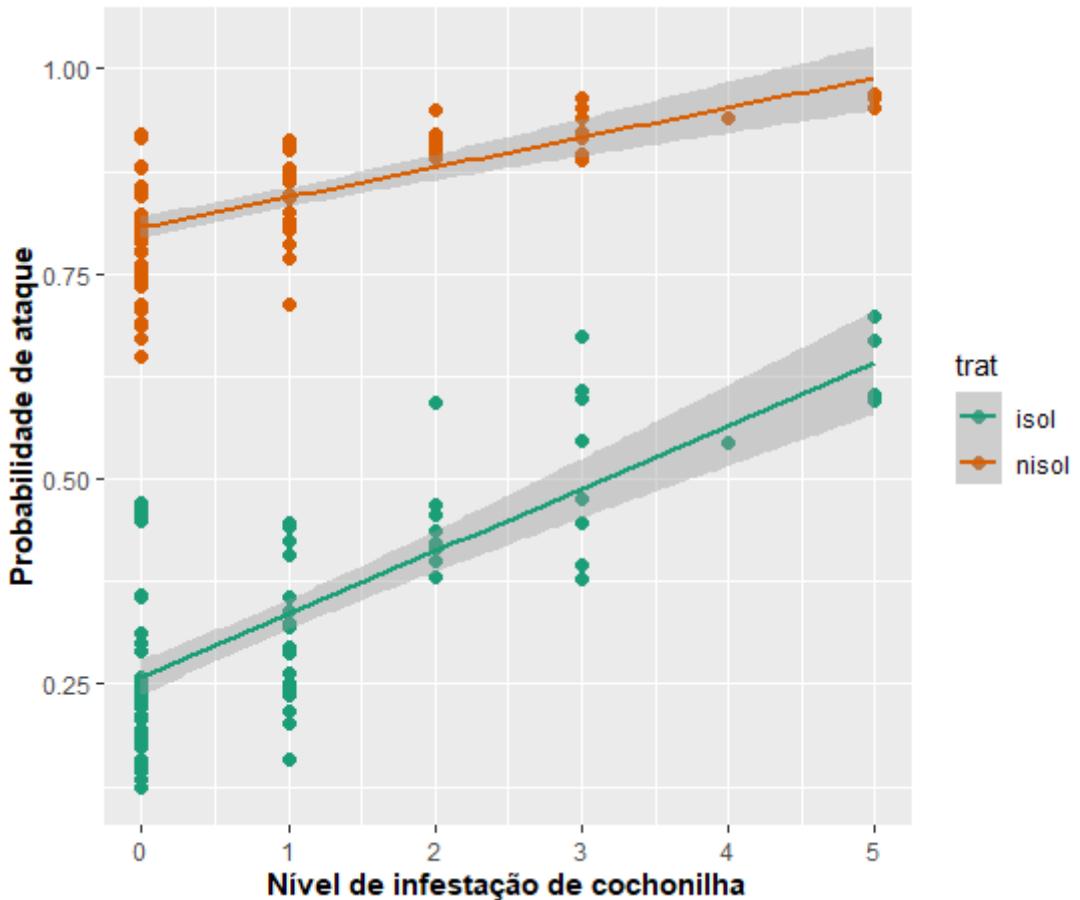


Figura 22: No eixo y temos a probabilidade de ataques em lagartas artificiais em galhos isolados e não isolados em função dos níveis de infestações de cochonilhas em cafezais (eixo x) estudados no Vale do Rio Doce, Governador Lindenberg, ES. Bolinha verde representa os ramos isolados com vaselina e a cor laranja o ramo não isolado. Fonte: Próprio autor, 2024.

4. DISCUSSÃO

Os resultados confirmam as hipóteses sobre a dinâmica de predação em cafezais a pleno sol, evidenciando a influência da presença de cochonilhas no risco de predação em modelos artificiais de lagartas. Embora os dados sobre a cobertura florestal não tenham sido conclusivos, observou-se uma influência marginalmente significativa dessa variável. Esses resultados sugerem um potencial impacto da cobertura florestal que merece ser explorado em estudos futuros, com análises mais detalhadas para avaliar sua contribuição nos sistemas estudados. A relação observada entre cochonilhas e o aumento do risco de predação sugere que esses insetos funcionam como atrativos para predadores.

Embora a presença de vertebrados, como aves, tenha sido observada em agroecossistemas de café, a baixa incidência de marcas de vertebrados nos modelos artificiais de lagartas pode estar relacionada à estrutura das monoculturas de café, que frequentemente apresentam vegetação menos diversificada e poucas árvores ao redor. Esse tipo de ambiente limita as oportunidades de forrageamento para as aves, que tendem a se concentrar em áreas com maior cobertura florestal, onde encontram mais abrigo e fontes de alimento (Perfecto & Vandermeer et al., 2010). De acordo com estudos sobre a dinâmica das aves em áreas de café com diferentes níveis de cobertura de dossel, foi observado que a abundância e a riqueza de aves são significativamente maiores nas áreas com uma maior cobertura florestal, sendo o dossel um fator chave para a atração das aves, uma vez que oferece habitat e fontes de alimento, incluindo artrópodes (Philpot et al., 2012). Assim, a ausência de árvores no sistema de cultivo de café a pleno sol pode ter reduzido os efeitos das aves sobre as plantas de café, resultando em um papel mais relevante para os predadores invertebrados, como os artrópodes.

Sabe-se que usualmente é utilizado barreiras para impedir o fluxo de formigas nas plantas, por ex. Pinol et al., (2009) utilizou no tronco de árvores barreiras líquidas, sendo altamente eficaz em manter formigas longe das copas e ramos das folhas. A análise dos dados sugere que a variação na predação dos modelos artificiais de lagartas nos cafezais se deve à presença de formigas, incluindo tanto espécies predadoras quanto outras com diferentes comportamentos de forrageamento. Nos modelos artificiais de lagartas não isolados, onde o acesso a formigas não foi restrito, observou-se uma maior frequência de marcas de ataques aos modelos artificiais. Esse aumento pode ser atribuído às interações diversas das formigas com os modelos, que incluem comportamentos predatórios, mas também outras formas de manipulação ou exploração, como inspeção e remoção de resíduos. Esses resultados estão em conformidade com a literatura, que destaca o papel das formigas em interações tróficas complexas em agroecossistemas, seja como predadoras de artrópodes ou por meio de outras interações (Philpott et al., 2012). Dessa forma, a maior frequência de marcas de ataques nos ramos não isolados evidencia que a presença de formigas, independentemente de sua função específica, contribui diretamente para o aumento na taxa de interação com os modelos, reforçando a hipótese de um impacto significativo das formigas sobre insetos que vivem nas plantas. Além disso, González e Muñoz (2016) ressaltam que em ambientes que possuem uma maior riqueza vegetativa tendem a melhorar as interações

ecológicas, contribuindo para a resiliência dos ecossistemas, permitindo que os predadores se adaptem a diferentes condições ambientais.

A disponibilidade e busca de recursos desempenham um papel crucial na determinação da abundância de organismos, incluindo formigas e outros insetos sociais, que têm uma importância significativa na agricultura, conforme indicado por Philpott & Armbricht (2006). No presente estudo, os resultados sugerem que esteja ocorrendo uma interação entre os artrópodes que deixaram marcas nos modelos artificiais e as cochonilhas.

Sabe-se que cochonilhas tendem a atrair diversos organismos, tais como formigas em agroecossistemas (Marchiori et al. 2023). Embora as formigas atraídas pela presença de hemípteros nas plantas possa trazer benefícios para esses hemípteros (e.g. Daane et al., 2007), algumas espécies de formigas podem auxiliar na diminuição dos níveis de herbivoria, resultando em uma redução nos ataques de herbívoros em plantas cultivadas (Oliveira, 2007). Além das formigas, vespas também podem ser atraídas pelas fezes açucaradas de hemípteros (Gardner & Beggs, 2013). É possível inclusive que formigas e vespas possam competir pelo acesso às fezes açucaradas dos hemípteros, à qual pode estar influenciando a dinâmica desses insetos nos cafezais; devido essas fezes açucaradas serem ricas em carboidratos, pois estes hemípteros se alimentam do floema das plantas (Styrsky & Eubanks, 2007). Nos ramos isolados, o aumento da presença de vespas parece ter intensificado os ataques nos modelos de lagartas artificiais, indicando uma maior pressão predatória; pois esses indivíduos utilizam pistas visuais e olfativas para localizar recursos (Jeanne, 2003). Além disso, essa competição pelo *honeydew* pode ter resultado em menor presença de outros indivíduos, permitindo que as vespas ocupassem um papel mais predominantemente como predadoras.

Essa interação entre vespas, formigas e cochonilhas pode impactar o controle nas plantações de café. A abundância de cochonilhas, ao atrair vespas, pode reduzir a eficácia das formigas no controle de pragas como a broca do café e as lagartas desfolhadoras. A diversidade de inimigos naturais presentes na cultura do café é notável, abrangendo vespas predadoras e parasitoides, crisopídeos verdes, formigas, joaninhas, ácaros predadores e entomopatógenos (Fernandes et al., 2008; AmaraL et al., 2010; Rodrigues-silva et al., 2017; Moreira et al., 2019). Esses organismos desempenham papéis importantes no controle biológico de pragas e doenças, oferecendo uma alternativa sustentável ao uso de pesticidas químicos (Botti et al., 2021; Rosado et al., 2021).

Entretanto nos ramos não isolados podemos perceber que a probabilidade de ataques aos modelos foi ainda maior, pois a ação das formigas pode ocorrer. No presente estudo é

possível destacar algumas formigas que tendem a explicar possíveis interações com as cochonilhas, pois são formigas que forrageiam sobre as plantas, como por exemplo *Camponotus* que tende aumentar a abundância de hemípteros fitófagos enquanto reduz as populações de insetos mastigadores em ambientes naturais (Clark e Singer 2018); podendo interagir positivamente com cochonilhas em agroecossistemas (Marchiori et al., 2023) o que reforça que sua presença está diretamente ligada a abundância de cochonilhas. Além de *Camponotus*, *Pheidole cordiceps* é uma formiga que interage com hemípteros fitófagos e que pode ter atacado os modelos artificiais (Baccaro et al., 2015; Win et al., 2018); bem como *Solenopsis*, que já conhecida pelo seu efeito sobre a broca-do-café (CBB), atuando na inibição da atividade reprodutiva das fêmeas CBB, na remoção das brocas dos túneis nas frutas e no consumo de estágios imaturos (Morris & Perfecto 2018).

Portanto, compreender e valorizar essas interações entre formigas, e as pragas que afetam o cafeeiro é essencial para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis. A implementação de estratégias que incentivem a presença desses predadores pode levar a uma redução significativa nas perdas causadas por pragas, além de contribuir para a preservação da biodiversidade e da saúde do ecossistema. A gestão integrada de pragas, que inclua o monitoramento e a promoção de inimigos naturais, é uma abordagem promissora para garantir a viabilidade econômica e ecológica das plantações de café.

5 CONCLUSÃO

A simplificação dos cafés a pleno sol reduz as oportunidades de forrageamento para vertebrados, como aves, e limita sua influência na dinâmica predatória. A ausência de um dosssel florestal mais desenvolvido diminuiu a riqueza e a abundância de aves, deslocando o papel de controle de pragas para os invertebrados, como formigas e vespas. Trabalhos futuros devem explorar de forma mais detalhada como sistemas agroflorestais, com maior diversidade estrutural e cobertura vegetal, podem potencializar os serviços ecossistêmicos de controle biológico, além de investigar estratégias específicas para integrar essas práticas ao manejo sustentável do café em diferentes contextos ambientais e econômicos.

O estudo demonstrou que a probabilidade de ataque aumenta proporcionalmente ao nível de infestação de cochonilhas, com o tratamento nisol (não isolado) apresentando maior suscetibilidade ao ataque em comparação ao isol (isolado). Indicando que o manejo adotado influencia diretamente a interação entre infestação e ataque, destacando a importância de estratégias que reduzem a infestação de cochonilhas para minimizar os impactos no sistema agrícola.

Além disso, futuras pesquisas realizadas ao longo de diferentes estações do ano serão fundamentais para identificar e caracterizar outros organismos e os serviços ecossistêmicos que eles prestam. Esse aprofundamento traz à tona um conhecimento mais abrangente sobre a dinâmica ecológica por esses indivíduos, permitindo uma compreensão mais detalhada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- _____. Censo Agropecuário de 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario2017#lavouras-permanentes>>. Acesso em: 20 de junho de 2023.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GOLÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brasil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- AMARAL, D. S., VENZON, M., PALLINI, A., LIMA, P. C., and SOUZA, O. (2010). A diversificação da vegetação reduz o ataque do bicho-mineiro-do-cafeeiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-mèneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae)? *Neotrop. Entomol.* 39, 543–548. doi: 10.1590/S1519-566X2010000400012.
- AMARAL, G.C.; VARGAS, A.B.; ALMEIDA, F.S. Effects of environmental attributes on the biodiversity of ants under different land uses. Ciência Florestal, v.29, n.2, p.660-672, 2019.
- ANJOS DV, TENA A, VIANA-JUNIOR AB, CARVALHO RL, TOREZAN-SILINGARDI H, DEL-CLARO K, PERFECTO I. The effects of ants on pest control: a meta-analysis. Proc. R. Soc. B 289: 20221316. <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.1316>. 2022.
- ARISTIZÁBAL, N., & METZGER, J. P. Landscape structure regulates pest control provided by ants in sun coffee farms. *Journal of Applied Ecology*, 56(1), 21–30. 2019.
- ARMBRECHT I, GALLEGOS M.C. Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. Ent Exp Appl 124 : 261–267 (2007).
- ATIVOR IN, AFREH-NUAMAH K, BILLAH MK, OBENG-OFORI D. Weaver ant, *Oecophylla longinoda* (Latrelle) (Hymenoptera: Formicidae) activity reduces fruit fly damage in citrus orchards. J. Agric. Sci. Techn. A 2, 449–458. 2012.
- BACCARO, F.B.; FEITOSA, R.M.; FERNANDEZ, F.; FERNANDES, I.O.; IZZO, T.J.; SOUZA, J.L.P. DE; SOLAR, R. Guia Para os gêneros das Formigas do Brasil. Editora Inpa: Manaus, 2015.
- BARLOW J, LENNOX GD, FERREIRA J, BERENGUER E, LEES AC, MAC NALLY et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. Nature 2016; 535(7610): 144-147. 10.1038/nature18326

- BIANCHI, F. J. J. A., Booij, C. J. H. & Tscharntke, T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity, and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B* 273, 1715–1727.
- BISSELEUA DHB, BEGOUDE D, TONNANG H, VIDAL S. Ant-mediated ecosystem services and disservices on marketable yield in cocoa agroforestry systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 247, 409–417. (doi: 10.1016/j.agee.2017.07.004). 2017.
- BOTTI, J. M. C., MARTINS, E. F., FRANZIN, M. L., and VENZON, M. Predation of coffee berry borer by a green lacewing. *Neotrop. Entomol.* doi: 10.1007/s13744-021 00884-0. 2021.
- BRAUMAN, K. A., GARIBALDI, L. A., POLASKY, S., AUMEERUDDY-THOMAS, Y., BRANCALION, P. H. S., DECLERCK, F., JACOB, U., MASTRANGELO, M. E., NKONGOLO, N. V., PALANG, H., PÉREZ-MÉNDEZ, N., SHANNON, L. J., SHRESTHA, U. B., STROMBOM, E., & VERMA, M. 2020. Global trends in nature's contributions to people. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(51), 32799–32805. <https://doi.org/10.1073/pnas.2010473117>
- CLARK, R. E, GUTIERREZ I, JAVIER, COMERFORD, MATTHEAU S., SINGER, MICHAEL S., NOVOTNY, VOJTECH, 2019. Keystone mutualism influences forest tree growth at a landscape scale. *Ecol. Lett.* 22 (10), 1599–1607. <https://doi.org/10.1111/ele.v22.1010.1111/ele.13352>.
- CLARK, R.E., SINGER, M.S., 2018. Keystone mutualism strengthens top-down effects by recruiting large-bodied ants. *Oecologia* 186, 601–610. <https://doi.org/10.1007/s00442-017-4047-5>.
- DAANE, K. M.; SIME K. R.; FALLON J.; COOPER, M.L. Impacts of Argentine ants on mealybugs and their natural enemies in California's coastal vineyards. *Ecological Entomology*, v. 32, n. 6, p. 583-596, 2007.
- DAINESE, M., MARTIN, E. A., AIZEN, M. A., ALBRECHT, M., BARTOMEUS, I., BOMMARCO, R., CARVALHEIRO, L. G., CHAPLIN-KRAMER, R., GAGIC, V., GARIBALDI, L. A., GHAZOUL, J., GRAB, H., JONSSON, M., KARP, D. S., KENNEDY, C. M., KLEIJN, D., KREMEN, C., LANDIS, D. A., LETOURNEAU, D. K., ... STEFFAN-DEWENTER, I. 2019. A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances*, 5(February). <https://doi.org/10.1101/554170>.
- DÁTTILO, W., CORRO, E. J., AHUATZIN, D. A., REGOLIN, A. L., LÓPEZ-ACOSTA, J. C., & RIBEIRO, M. C. (2022). Scale of effect matters: Forest cover influences on tropical

ant-plant ecological networks. *Food Webs*, 33, e00256. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fooweb.2022.e00256>

DIDHAM RK, BARKER GM, BARTLAM S, DEAKIN EL, DENMEAD LH, FISK LM et al. Agricultural intensification exacerbates spillover effects on soil biogeochemistry in adjacent forest remnants. *PloS One* 2015; 10(1): e0116474. 10.1371/journal.pone.0116474.

EMBRAPA. Estratégias de recuperação - Portal Embrapa. 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/codigo-florestal/estrategias-e-tecnicas-de-recuperacao>>. Acesso em 20 de setembro de 2023.

FAHRIG, L., 2013. Rethinking patch size and isolation effects: the habitat amount hypothesis. *J. Biogeogr.* 40(, 1649–1663.

FAHRIG, L., BAUDRY, J., BROTONS, L., BUREL, F.G., CRIST, T.O., FULLER, R.J., SIRAMI, C., SIRIWARDENA, G.M., MARTIN, J.L., 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in Agri-cultural landscapes. *Ecol. Lett.* 14, 101–112.

FEITOSA, RM et al. Formigas do Brasil: um panorama baseado em 50 anos de estudos de diversidade. *Sistemática e biodiversidade*, v. 20, n. 1, pág. 1–27 de 2022.

FERNANDES, F. L., PICANÇO, M. C., ZAMBOLIM, L., QUEIROZ, R. B., PEREIRA, R. M., BENEVENUTE, J. S., et al. (2008). Spatial and temporal distributions of predator wasps and indirect effects of the irrigation. *Sociobiology*. 52, 543–551.

FREY, D., VEGA, K., ZELLWEGER, F., GHAZOUL, J., HANSEN, D., MORETTI, M., STANLEY, M., 2018. Predation risk shaped by habitat and landscape complexity in urban environments. *J. Appl. Ecol.* 55 (5), 2343–2353. <https://doi.org/10.1111/jpe.2018.55.issue-510.1111/1365-2664.13189>.

GAIGHER R, PRYKE JS, SAMWAYS MJ. High parasitoid diversity in remnant natural vegetation, but limited spillover into the agricultural matrix in South African vineyard agroecosystems. *Biological Conservation* 2015; 186: 69–74. 10.1016/j.biocon.2015.03.003.

GLIESSMAN S. How to leave industrial agriculture behind by shifting food systems toward agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 2016; 40(8): 757–758. 10.1080/21683565.2016.1200170.

GARDNER-GEE R, BEGGS JR. Invasive wasps, not birds, dominate in a temperate honeydew system. *Austral Ecology*. 2013; 38: 346–354.

GOMEZ-CIFUENTES, A.; MANEVAR, A.; GIMENEZ, V. C.; GATTI, M. G.; ZURITA, G. A. Influence of land use on the taxonomic and functional diversity of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in the Southern Atlantic forest of Argentina. *Journal Insect*

- Conservation, v.21, p.147- 156, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10841-017-9964-4>> . Acesso em: 20 setembro. 2023.
- GONTHIER, D. J., K. K. ENNIS, S. M. PHILPOTT, J. VANDERMEER, AND I. PERFECTO. “Ants Defend Coffee from Berry Borer Colonization.” *BioControl* 58(6): 815–20. <https://doi.org/10.1007/s10526-013-9541-z>. 2013
- HELMS, J.A., 2018. The flight ecology of ants (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecol. News* 26, 19–30.
- HUAIS, P.Y., 2018. Multifit: an R function for multi-scale analysis in landscape ecology. *Landsc. Ecol.* 33, 1023–1028.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e estatistica. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es/governador-lindenberg.html> Acesso em: 20/05/2023.
- IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. MAPAS. Disponível em: <<http://www.ijsn.es.gov.br/mapas/>>. Acesso em: 21 de maio de 2023.
- INCAPER- Instituto capixaba de pesquisa assistência técnica e extensão rural. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/cafeicultura-conilon>. Acesso em: 23 de junho de 2023.
- JANKIELSOHN, A. 2018. The Importance of Insects in Agricultural Ecosystems. *Advances in Entomology*, 6, 62-73.
- JEANNE, RL Communication in social wasps. In: *Eusocial insects: behavior and ecology* . Madison: University of Wisconsin, 2003. Available at: <https://asset.library.wisc.edu> . Accessed on: October 3, 2023.
- KENNEDY, C.M, MARRA P.P. Matrix mediates avian movements in tropical forested landscapes: inference from experimental translocations. *Biological Conservation* 2010; 143(9): 2136-2145. [10.1016/j.biocon.2010.05.025](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.05.025).
- LASTE, K.C.D., DURINGAN, G., ANDERSEN, A.N., 2019. Biodiversity responses to land-use and restoration in a global biodiversity hotspot: ant communities in Brazilian Cerrado. *Austral. Ecol.* 44, 313–326. <https://doi.org/10.1111/aec.12676>.
- LAURANCE WF, SAYER J, CASSMAN KG. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends in Ecology & Evolution* 2014; 29(2): 107-116. [10.1016/j.tree.2013.12.001](https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.12.001).
- LEAL, I.R., FILGUEIRAS, B.K., GOMES, J.P., IANNUZZI, L., ANDERSEN, A.N., 2012. Effects of habitat fragmentation on ant richness and functional composition in Brazilian Atlantic forest. *Biodivers. Conserv.* 21, 1687–1701.

- LELES, B., XIAO, X., PASION, B.O., NAKAMURA, A., TOMLINSON, K.W. (2017). Does plant diversity increase top-down control of herbivorous insects in tropical forest? *Oikos*, 126: 1142– 1149. doi: 10.1111/oik.03562.
- LOW, P. A., SAM, K., MCARTHUR, C., POSA, M. R. C., & HOCHULI, D. F. (2014). Determining predator identity from attack marks left in model caterpillars: Guidelines for best practice. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 152(2), 120–126. <https://doi.org/10.1111/eea.12207>.
- MANTYLA, E., ALESSIO, G.A., BLANDE, J.D., HEIJARI, J., HOLOPAINEN, J.K., LAAKSONEN, T., PIIRTOLA, P. & KLEMOLA, T. 2008. From plants to birds: higher avian predation rates in trees responding to insect herbivory. *PLoS One*, e2832.
- MARCHIORI, J. J. P. Almeida, F. S., Mayhé-Nunes, A. J., Nobre, R. V. L., & de Paulo, H. H. Interactions between ants and scale insects in sugarcane: species and effects on insect pests. *Revista Caatinga*, 36(3), 731-739. 2023.
- MENEZES EL, MENEZES EB (2005) Bases ecológicas das interações entre insetos e plantas no manejo ecológico de pragas agrícolas. In: Aquino AM de; Assis RL de. (Ed.). Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, pp324-339.
- MICHEREFF FILHO, M. et al. Manejo de pragas em hortaliças durante a transição agroecológica. Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2013. Disponível em:<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/957535>. Acesso em 18 de setembro de 2023.
- MOREIRA, C. C., CELESTINO, D., GUERRA SOBRINHO, T., CARDOSO, I. M., and ELLIOT, S. L. (2019). Agroforestry coffee soils increase the insect-suppressive potential offered by entomopathogenic fungi over full-sun soils: a case proposing a “bait survival technique. *Ecol. Evol.* 9, 10777–10787. doi: 10.1002/ece3.5598.
- MOREIRA, C. C., CELESTINO, D., GUERRA SOBRINHO, T., CARDOSO, I. M., and ELLIOT, S. L. (2019). Agroforestry coffee soils increase the insect-suppressive potential offered by entomopathogenic fungi over full-sun soils: a case proposing a “bait survival technique. *Ecol. Evol.* 9, 10777–10787. doi: 10.1002/ece3.5598.
- MORRIS, J. R., AND I. PERFECTO. “Testing the Potential for Ant Predation of Immature Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei*) Life Stages.” *Agriculture, Ecosystems and Environment* 233: 224–8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.018>. 2016.

- MORRIS, J. R.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. A Keystone Ant Species Provides Robust Biological Control of the Coffee Berry Borer Under Varying Pest Densities. PLoS ONE. v.10, e0142850, 2015.
- MORRIS, J.R., JIMÉNEZ-SOTO, E., PHILPOTT, S.M., PERFECTO, I., 2018. Ant-mediated (Hymenoptera: Formicidae) biological control of the coffee berry borer: diversity, ecological complexity, and conservation biocontrol. *Myrmecol. News* 26, 1–17.
- MURRAY, K., SOH, M. C. K., PUAN, C. L., ABU HASHIM, A. K. B., ABDUL PATAH, P. B., & PEH, K.-H. 2020. Predation on multiple prey types across a disturbance gradient in tropical montane forests of Peninsular Malaysia. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, 1–11. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00080>.
- NAGY, R. K., SCHELLHORN, N. A., & ZALUCKI, M. P. 2020. Fresh, frozen or fake: A comparison of predation rates measured by various types of sentinel prey. *Journal of Applied Entomology*, 144(5), 407–416. <https://doi.org/10.1111/jen.12745>.
- NAGY, R. K., SCHELLHORN, N. A., & ZALUCKI, M. P. 2020. Fresh, frozen or fake: A comparison of predation rates measured by various types of sentinel prey. *Journal of Applied Entomology*, 144(5), 407–416. <https://doi.org/10.1111/jen.12745>.
- NEWSON, J., J. VANDERMEER, AND I. PERFECTO. “Differential Effects of Ants as Biological Control of the Coffee Berry Borer in Puerto Rico.” *Biological Control* 160(5): 104666. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104666>. 2021.
- PACHECO, R., CAMACHO, G.P., FRIZZO, T.L.M., VASCONCELOS, H.L., 2017. Effects of land-use changes on ecosystem services: decrease in ant predation in human-dominated landscapes in central Brazil. *Entomol. Exp. Appl.* 162, 302–308. <https://doi.org/10.1111/eea.12542>.
- PENA, J.C.C., LUNA, P., AOKI-GONÇALVES, F., JACOBO, M.F.C., PATIÑO, T.M., SÁNCHEZ- MORALES, K., VIVER-VÁZQUEZ, M., GARCÍA-CHAVEZ, J.H., DATTILO, W., 2020. I can see you: temporal variation in ant aggressiveness towards herbivores under continuous provision of high- or low-quality food sources. *Sociobiology* 67, 26–35. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v67i1.4727>.
- PERFECTO, I. & CASTIÑEIRAS, A. 1998: Deployment of the predaceous ants and their conservation in agroecosystems. In: Barbosa, P. (Ed.): *Conservation biological control*. – Academic Press, San Diego, CA, pp. 269-289.

- PERFECTO I, VANDERMEER J. The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2010; 107(13): 5786-5791. doi: 10.1073/pnas.0905455107.
- PHILPOTT, S. M., and ARMBRECHT, I. (2006). Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. *Environ. Entomol.* 31, 369–377. doi: 10.1111/j.1365-2311.2006.00793.x.
- PHILPOTT, S. M.; ARENDT, W. J.; ARMBRECHT, I.; BICHIER, P.; DIESTCH, T. V.; GORDON, C.; GREENBERG, R.; PERFECTO, I.; REYNOSO-SANTOS, R.; SOTO-PINTO, L.; TEJEDA-CRUZ, C.; WILLIAMS-LINERA, G.; VALENZUELA, J.; ZOLOTOFF, J. M. Biodiversity loss in Latin America coffee landscapes: Review of the evidence on ants, birds, and trees. *Conservation Biology*. v.22, p.1093-1105, 2008.
- PHILPOTT, S.M., PARDEE, G.L. & GONTIER, D.J. 2012: Cryptic biodiversity effects: importance of functional redundancy revealed through addition of food web complexity. – *Ecology* 93: 992-1001.
- PINOL, J., ESPADALER, X., CANELLAS, N. & PEREZ, N. (2009). Effects of the concurrent exclusion of ants and earwigs on aphid abundance in an organic citrus grove. *BioControl*, 54, 515–527.
- PROATER- Programa de assistência técnica e extensão rural, Governador lindenberg 2020-2023. Disponível em: https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municípios/Governador_Lindenberg.pdf. Acesso em: 20/05/2023.
- QUEIROZ, J.M.; ALMEIDA, F.S.; PEREIRA, M.P.S. Biodiversity conservation and the role of ants (Hymenoptera: Formicidae) in agroecosystems. *Floresta e Ambiente*, v.13, n.2, p.37-45, 2006.
- RODRIGUES-SILVA, N., DE OLIVEIRA CAMPOS, S., DE SÁ FARIAS, E., DE SOUZA, T. C., MARTINS, J. C., and PICANÇO, M. C. (2017). The relative importance of natural enemies and abiotic factors as sources of regulation of mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae) in Brazilian coffee plantations. *An. Appl. Biol.* 171, 303–315. doi: 10.1111/aab.12373
- ROELS, S. M., PORTER, J. L., & LINDELL, C. A. 2018. Predation pressure by birds and arthropods on herbivorous insects affected by tropical forest restoration strategy. *Restoration Ecology*, 26(6), 1203–1211. <https://doi.org/10.1111/rec.12693>.
- ROSLIN, T., HARDWICK, B., NOVOTNY, V., PETRY, W. K., ANDREW, N. R., ASMUS, A., BARRIO, I. C., BASSET, Y., BOESING, A. L., BONEBRAKE, T. C.,

- CAMERON, E. K., DÁTTILO, W., DONOSO, D. A., DROZD, P., GRAY, C. L., HIK, D. S., HILL, S. J., HOPKINS, T., HUANG, S., ... SLADE, E. M. 2017. Higher predation risk for insect prey at low latitudes and elevations. *Science*, 356(6339), 742–744. <https://doi.org/10.1126/science.aaj1631>.
- SANTOS, M.S.; LOUZADA, J.N.C.; DIAS.; ZANETTI, R.; DELABIE, J.H.C.; NASCIMENTO, I.C.N. Riqueza de formigas (Hymenoptera, Formicidae) da serapilheira em fragmentos de floresta semidecidua da Mata Atlântica na região do Alto do rio Grande, MG, Brasil. *Ilheringia Série Zoologia*, Porto Alegre, v.96, n.1, p. 95-101, 2006.
- SILVA GS, JAHNKE SM e JOHNSON NF (2020) Riparian forest fragments in rice fields under different management: differences on hymenopteran parasitoids diversity. *Brazilian Journal of Biology* 80:122-132. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.194760>.
- SINGER, M.S., CLARK, R.E., LICHTER-MARCK, I.H., JOHNSON, E.R., MOONEY, K.A., 2017. Predatory birds and ants partition caterpillar prey by body size and diet breadth. *J. Anim. Ecol.* 86, 1363–1371. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12727>.
- SOLAR, R.R. DE C., BARLOW, J., ANDERSEN, A.N., SCHÖREDER, J.H., BERENGUER, E., FERREIRA, J.N., GARDNER, T.A. 2016. Biodiversity consequences of land-use change and forest disturbance in the Amazon: A multi-scale assessment using ant communities. *Biol. Cons.* 197: 98–107.
- STYRSKY JD, EUBANKS MD. Ecological consequences of interactions between ants and honeydew-producing insects. *Proceedings of the Royal Society of London B*. 2007; 274: 151-164.
- TOGNI, P.H.B., VENZON, M., SOUZA, L.M., SOUSA, A.A.T.C., HARTERREITEN-SOUZA, E.S., PIRES, C.S.S., SUJII, E.R., 2019. Dynamics of predatory and herbivorous insects at the farm scale: the role of cropped and noncropped habitats. *Agr. Forest. Entomol.* 21, 351–362. <https://doi.org/10.1111/afe.12337>.
- TSCHARNTKE T., LEUSCHNER C., ZELLER M., GUHARDJA E., BIDIN A. (Ed.) Stability of tropical rainforest margins. Environmental Science and Engineering (Environmental Science) (pp. 225– 261). 2007.
- TSCHARNTKE, T., TYLIANAKIS, J.M., RAND, T.A., *et al.*, 2012. Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses. *Biol. Rev.* 87, 661–685. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00216.x>.
- VARGAS, A. B., MAYHÉ-NUNES A. J., QUEIROZ, J. M. G. O. SOUZA & E. F. RAMOS. 2007. Effects of environmental factors on the ant fauna of restinga community in Rio de

Janeiro, Brazil, RJ. Neotropical Entomology.; 6: 28-37. doi:
<http://dx.doi.org/10.1590/S1519-566X2007000100004>.

VERBURG PH, VAN ASSELEN S, VAN DER ZANDEN EH, STEHFEST E. The representation of landscapes in global scale assessments of environmental change. *Landscape Ecology* 2013; 28(6): 1067-1080. 10.1007/s10980-012-9745-0.

WIELGOSS A, TSCHARNTKE T, RUMEDE A, FIALA B, SEIDEL H, SHAHABUDDIN S, CLOUGH Y. Interaction complexity matters: disentangling services and disservices of ant communities driving yield in tropical agroecosystems. *Proc. R. Soc. B* 281, 20132144. (doi:10.1098/rspb.2013.2144). 2014.

WIN, A.T.; KINOSHITA, T.; TSUJI, K. 2018. The presence of an alternative food source changes the tending behavior of the big-headed ant, *Pheidole megacephala* (Hymenoptera: Formicidae) on *Dysmicoccus brevipes* (Homoptera: Pseudococcidae). *Applied Entomology and Zoology*, v.53, p.253–258.

ZVEREVA, E. L., CASTAGNEYROL, B., CORNELISSEN, T., FORSMAN, A., HERNÁNDEZ-AGÜERO, J. A., KLEMOLA, T., PAOLUCCI, L., POLO, V., SALINAS, N., THERON, K. J., XU, G., ZVEREV, V., & KOZLOV, M. V. 2019. Opposite latitudinal patterns for bird and arthropod predation revealed in experiments with differently colored artificial prey. *Ecology and Evolution*, 9(24), 14273–14285.
<https://doi.org/10.1002/ece3.5862>.