



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental

Carolina Colares Rocha

**ESPECIALIZAÇÃO ELEVACIONAL DE BESOUROS E O MONITORAMENTO DOS
EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM MONTANHAS: UMA PROPOSTA
DE PROTOCOLO PARA O PARQUE NACIONAL DA SERRA DOS ÓRGÃOS -
PARNASO.**

**Rio de Janeiro
2020**



UFRJ

Carolina Colares Rocha

**ESPECIALIZAÇÃO ELEVACIONAL DE BESOUROS E O MONITORAMENTO DOS
EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM MONTANHAS: UMA PROPOSTA
DE PROTOCOLO PARA O PARQUE NACIONAL DA SERRA DOS ÓRGÃOS -
PARNASO.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadoras: Prof^ª. Maria Fernanda Santos
Quintela da Costa Nunes, D.Sc.
Prof^ª. Margarete de Macedo Monteiro, D.Sc.

**Rio de Janeiro
2020**

Rocha, Carolina Colares

Especialização elevacional de besouros e o monitoramento dos efeitos das mudanças climáticas em montanhas: uma proposta de protocolo para o Parque Nacional da Serra dos Órgãos – PARNASO / Carolina Colares Rocha. - 2020.

87 f. : 17 il. 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2020.

Orientadoras: Maria Fernanda Santos Quintela da Costa Nunes e Margarete de Macedo Monteiro.

1. Bioindicadores. 2. Mudanças climáticas. 3. Indicadores ecológicos. 4. Gradientes elevacionais. I. Nunes, Maria Fernanda Santos Quintela da Costa. II. Monteiro, Margarete de Macedo. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. IV. Especialização elevacional de besouros e o monitoramento dos efeitos das mudanças climáticas em montanhas: uma proposta de protocolo para o Parque Nacional da Serra dos Órgãos - PARNASO.



UFRJ

**ESPECIALIZAÇÃO ELEVACIONAL DE BESOUROS E O MONITORAMENTO DOS
EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM MONTANHAS: UMA PROPOSTA
DE PROTOCOLO PARA O PARQUE NACIONAL DA SERRA DOS ÓRGÃOS -
PARNASO.**

Carolina Colares Rocha

Orientadoras: Prof^a. Maria Fernanda Santos

Quintela da Costa Nunes, D.Sc.

Prof^a. Margarete de Macedo Monteiro, D.Sc.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:

Presidente: Prof^a. Maria Fernanda Santos Quintela da Costa Nunes, D.Sc, PEA/UFRJ

Prof^a. Margarete de Macedo Monteiro, D.Sc, IB/UFRJ

Prof. Sérgio Luiz Costa Bonecker, D.Sc. PEA/UFRJ

Prof. Nelson Ferreira Junior, D.Sc. IB/UFRJ

Prof.^a Monica Pertel, D.Sc. PEA/UFRJ

**Rio de Janeiro
2020**

*Dedico essa dissertação aos meus pais, Cristina e Júlio, e à minha irmã, Erica.
Dedico também à minha avó (in memoriam), Edina, que faleceu no decorrer deste trabalho*

AGRADECIMENTOS

Não há como negar que os últimos três anos foram muito intensos na minha vida. Passei por altos e baixos, trabalhei muito, perdi pessoas amadas e me distanciei de muitas coisas que gosto de fazer. Entretanto, o mestrado foi importante para o meu crescimento pessoal, profissional e espiritual, e tive muitas pessoas queridas ao meu lado ao longo dessa trajetória.

Primeiro vou falar daqueles que aturaram todas as minhas mudanças de humor, meus pedidos de silêncio para estudar e que pagaram a maior parte das minhas contas: meus pais. Apesar de todos os perrengues, eles nunca deixaram de me apoiar. Por isso, dedico esse primeiro parágrafo aos meus pais Rosa Cristina Colares Rocha e Julio Rocha Neto. Obrigada por estarem sempre ao meu lado, me apoiando e sendo tão compreensivos. Eu não seria quem sou e nem conquistaria tudo o que já conquistei se não fosse por vocês. Um dia ainda poderei retribuir tudo o que fizeram e continuam fazendo por mim. Não posso deixar de agradecer a minha irmã, Erica Colares Rocha, que me criou, sempre me apoiou, entendeu e aturou! Amo todos vocês!

Segundo, gostaria de agradecer àqueles que participaram da minha formação acadêmica e profissional. Agradeço a Maria Fernanda por aceitar me orientar e estar aberta às mudanças de pensamento e projeto que marcaram o meu mestrado. Agradeço com enorme carinho e amor a Margarete e Ricardo por todas as suas noites mal dormidas, trocas de mensagens e e-mails em horários e dias inoportunos (noite, madrugada, final de semana, natal, ano novo, viagens de férias), por me receberem tantas vezes em suas casas, pela extrema paciência e atenção. Obrigada por acreditarem e confiarem em mim, vocês são incríveis!

Um especial agradecimento a todos os amigos e colegas de trabalho que estiveram comigo ao longo dessa jornada: Aline S., Ana Letícia, André B., André (Pastor), André P., Angela, Beatriz M., Bianca, Bruno A., Camila N., Carlos (Abacaxi), Carol B., Deyvid, Emily, Felipe C., Felipe (Osso), Filipe (Quasí), Gabriel K., Grazi, Jessi, Julianna Freires, Lior, Livia, Luiz (Behind), Pedro (Prost), Pimenta, Rafa, Simone, Stephanie (Fox), Suziane, Tati, Thainá, Thais, Úrsula, Verônica, Vinícius Vivian, Yuri. Vocês são pessoas maravilhosas e contribuíram de diferentes maneiras para que eu chegasse até aqui.

Dedico um parágrafo especial ao meu amor, Raissa Andrade da Silva, que teve uma paciência de Jó ao longo do meu mestrado. Sem você eu não teria chão, forças e fé para continuar. Te amo.

Não posso deixar de agradecer aos meus tios queridos Carlos, Denise, Liana, Francisco e Patrícia.

Agradeço aos professores Cristina Nassar, Márcio Zikán, Monica Pertel, Nelson Ferreira Júnior, Sérgio Bonecker e Vinícius Peruzzi por aceitarem o convite para fazer parte da minha banca. Agradeço também ao professor José Ricardo M. Mermudes pelas contribuições.

Ao longo dessa jornada perdi uma das pessoas mais importantes da minha vida, a minha avó Edina Pedroso de Lima Rocha. Não me arrependo de ter ficado no

Rio de Janeiro nesses últimos anos, pois pude aproveitar bastante o carinho e o amor de vó. Não há nada nesse mundo que seja capaz de substituir isso. Portanto, gostaria de dedicar esse trabalho a ela.

Gostaria de agradecer por fim aos que tornaram essa pesquisa logística e financeiramente possível: ICMBIO/Parque Nacional da Serra dos Órgãos e Cecilia Cronemberger pelo suporte logístico; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelas bolsas de membros da equipe do laboratório ao longo de todo o desenvolvimento do projeto; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e CNPq pelo suporte financeiro ao laboratório por meio do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Hymenoptera Parasitoides (INCT Hympar) e do edital Pesquisador Visitante Especial (PVE).

RESUMO

ROCHA, Carolina Colares. Especialização elevacional de besouros e o monitoramento dos efeitos das mudanças climáticas em montanhas: uma proposta de protocolo para o Parque Nacional da Serra dos Órgãos - PARNASO. Rio de Janeiro, 2020. Dissertação (Mestrado) - Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Montanhas possibilitaram importante conhecimento sobre os impactos das mudanças climáticas na distribuição das espécies. Espera-se que organismos de montanhas tropicais sejam especializados a certos limites de temperatura (demonstrando baixa tolerância térmica), apresentem uma distribuição elevacional restrita em relação às espécies temperadas, e alterem sua amplitude de distribuição em resposta às mudanças climáticas. Particularmente, insetos são sensíveis e respondem rapidamente a variações na temperatura, o que os torna bioindicadores adequados para monitorar os efeitos das mudanças climáticas. Neste contexto, foram analisadas espécies de seis grupos de Coleoptera, selecionadas com base em quatro critérios, para indicar os táxons mais adequados como bioindicadores para monitorar os efeitos das mudanças climáticas sobre a biota de montanhas tropicais e foi proposto um protocolo de monitoramento para essas espécies. A coleta foi conduzida no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ, Brasil, na Mata Atlântica, um dos principais “hotspots” de biodiversidade globais. Foram usadas armadilhas de interceptação de voo do tipo “Malaise” em 15 diferentes elevações, de 130 m a 2170 m acima do nível do mar, ao longo de três meses consecutivos durante a estação chuvosa. Variáveis climáticas também foram registradas para este período. Foram coletados 2963 indivíduos de 272 espécies, pertencendo a seis grupos de Coleoptera sobre um gradiente de temperatura que diminui cerca de 0,5 °C a cada 100 m em elevação, sendo este o primeiro trabalho a relatar dados sobre a variação de temperatura ao longo de 2100 m de elevação na floresta tropical brasileira. Considerando a tolerância térmica das espécies de montanhas tropicais e a sua amplitude elevacional restrita, foram sugeridas cinco espécies de Coleoptera como adequados bioindicadores, sendo elas: duas espécies de Eumolpinae (Chrysomelidae); *Howdenia* sp. (Phengodidae); *Onocephala obliquata* (Cerambycidae) e *Photuris elliptica* (Lampyridae). Muitas espécies de Eumolpinae foram restritas aos Campos de Altitude, o que torna o grupo adequado para o monitoramento dos efeitos do aumento da temperatura neste habitat. Por fim, é apresentado um protocolo para o monitoramento das espécies sugeridas como bioindicadores, o que se espera que possa apoiar estratégias de conservação na área de estudo e em ambientes similares do sudeste brasileiro.

Palavras-chave: Bioindicadores; Mudanças Climáticas; Indicadores Ecológicos; Gradientes Elevacionais.

ABSTRACT

ROCHA, Carolina Colares. Beetle elevational specialization and the monitoring of the effects of climate change in Brazilian Rainforest Mountains. Rio de Janeiro, 2020. Dissertação (Mestrado) - Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Mountains have provided important insights on the impacts of climate change on species distribution. Organisms from tropical mountains are expected to be specialized to certain temperature limits (demonstrating low thermal tolerance), can show narrow elevational distributions relative to temperate species, and may shift their elevational range in response to climate change. Importantly, insects are sensitive, and respond rapidly, to temperature variation, making them suitable bioindicators to monitor the effects of climate change. In this context, it was analyzed species from six Coleoptera groups, selected based on four criteria, to indicate the most suitable taxa as bioindicators to monitor the effects of climate change on tropical mountain biota and proposed a protocol for monitoring those species. Sampling was conducted at Serra dos Órgãos National Park, RJ, Brazil, in the Atlantic Rainforest, one of the main global biodiversity hotspots. We used flight interception 'Malaise' traps at fifteen different elevations, from 130 m to 2170 m a.s.l., over three consecutive months during the rainy season. Climatic variables were also recorded for this period. We collected 2963 individuals of 272 species, belonging to six Coleoptera groups over a temperature gradient that decreased about 0.5 °C for each 100 m in elevation; ours is the first study to report data on temperature variation along 2100 m elevation in the Brazilian Rainforest. Considering the thermal tolerance of species from tropical mountains and their narrow elevational range, we suggest five species of Coleoptera as suitable bioindicators, namely: two species of Eumolpinae (Chrysomelidae); *Howdenia* sp. (Phengodidae); *Onocephala obliquata* (Cerambycidae) and *Photuris elliptica* (Lampyridae). Several Eumolpinae species were restricted to high elevation grasslands ('Campos de altitude'), making them a suitable group for monitoring the effects of warming temperatures in this habitat. Finally, we present guidelines for monitoring the species we suggest as bioindicators, that will hopefully support conservation planning in our study area and similar environments in Southeastern Brazil.

Keywords: Bioindicators; Climate Change; Ecological Indicators; Elevational Gradients.

LISTAS DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização do Parque Nacional da Serra dos Órgãos no estado do Rio de Janeiro, Brasil. A sede do Parque se encontra no município de Teresópolis, a cerca de 1000 m acima do nível do mar (22°32'S; 43°07'W). Fonte: Autoria própria.....15
- Figura 2.** Representação ilustrativa da distribuição elevacional das quatro diferentes fitofisionomias presentes no Parque Nacional da Serra dos Órgãos no estado do Rio de Janeiro, Brasil. As diferentes fitofisionomias estão indicadas como segue: BM - floresta pluvial baixo-montana, presente abaixo de aproximadamente 800 m; MO - floresta montana, de ~800 m a ~1500 m; AM - formação alto-montana, de ~1500 a ~2000 m; e CA - campos de altitude, acima de ~2000 m. Fonte: Autoria própria.....16
- Figura 3.** Armadilha de interceptação de voo do tipo “Malaise” usada na amostragem de insetos no presente estudo. O frasco coletor está indicado por uma seta vermelha. Foto adaptada de Vivian Flinte (2015).....17
- Figura 4.** Temperaturas máxima, média e mínima (com barras de desvio padrão) para a estação chuvosa (Dezembro / 2014, Janeiro e Fevereiro / 2015) ao longo de todo o gradiente coletado no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Autoria própria.....24
- Figura 5.** Curvas de rarefação baseadas em indivíduos para os seis grupos de besouros (Anthribidae, Carabidae, Cerambycidae, Eumolpinae, Lampyridae e Phengodidae), considerando todas as 15 elevações estudadas no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Autoria própria.....26
- Figura 6.** Amplitude elevacional média (com barras de desvio padrão) para cada um dos grupos de besouros (número de espécies) considerando as espécies com $n \geq 3$ indivíduos, ao longo da estação chuvosa (Dezembro / 2014, Janeiro e Fevereiro / 2015) no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil, coletados de 130 m a 2170 m a.s.l.. Diferentes letras acima das barras representam diferenças significativas (teste de Kruskal-Wallis; teste par-a-par de Mann-Whitney; $p < 0,05$). Fonte: Autoria própria.....27
- Figura 7.** Amplitude elevacional de distribuição das 15 espécies de potenciais bioindicadores, em ordem decrescente de abundância, no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil. A abundância das espécies está mostrada acima de cada barra e sua distribuição dentre as fitofisionomias está indicada como segue: BM - floresta baixo-montana (130, 250, 360, 550 e 700 m), MO - floresta montana (880, 960, 1070 e 1250 m), AM - floresta alto montana (1480, 1680 e 1810 m), CA - campos de altitude (1940, 2030 e 2170 m). Fonte: Autoria própria.....29
- Figura 8.** Frascos coletores das armadilhas “Malaise” (A) e exemplo de um frasco envelopado para proteção do material (B). Fonte: Autoria própria.....33
- Figura 9.** Desenho amostral para o monitoramento das espécies Eumolpinae sp. 11; Eumolpinae sp. 12; *Onocephala obliquata*; *Photuris elliptica*; e *Howdenia sp. 4*, sugeridas como bioindicadores no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ, Brasil. Fonte: Autoria própria.....38
- Figura 10.** Potes plásticos utilizados para o armazenamento das amostras em laboratório. É importante a manutenção de uma proporção adequada de álcool nos potes para evitar a perda de material. Fonte: Autoria própria.....40
- Figura 11.** Etiquetas de procedência para material preservado em via úmida (A) e etiqueta de identificação (B). Fonte: Autoria própria.....41
- Figura 12.** Exemplo de armazenamento de material identificado em coleção de via úmida. Fonte: Autoria própria.....42

- Figura 13.** Vistas dorsal (A), lateral (B) e ventral (C) de *Eumolpinae* sp. 11 (Chrysomelidae). Intumescência do élitro se encontra destacada em C. Barra de escala = 1 mm. Fonte: Autoria própria.....43
- Figura 14.** Vistas dorsal (A), lateral (B) e ventral (C) de *Eumolpinae* sp. 12 (Chrysomelidae). Variação de cor apresentada em A, A1 e A2. Ápice elitral truncado em vista lateral destacado em B. Barra de escala = 1 mm. Fonte: Autoria própria.....44
- Figura 15.** Vistas dorsal (A), lateral (B) e ventral (C) de *Onocephala obliquata* (Cerambycidae). Mácula elitral destacada em A e detalhamento da margem esternal em B. Barra de escala = 1 mm. Fonte: Autoria própria.....45
- Figura 16.** Vistas dorsal (A) e ventral (B) do vagalume *Photuris elliptica* (Lampyridae). Barra de escala = 1 mm. Fonte: Autoria própria.....46
- Figura 17.** Vistas dorsal (A) e ventral (B) de *Howdenia* sp. 4 (Phengodidae). Úmero muito mais claro do que o élitro destacado em A. Barra de escala = 1 mm. Fonte: Autoria própria.....46

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Elevações e coordenadas geográficas dos pontos de coleta no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Autoria própria.....18
- Tabela 2.** Abundâncias absoluta e relativa (%) e número de espécies absoluto e relativo (%) dos grupos de besouros estudados, de 130 m a 2170 m de elevação, ao longo da estação chuvosa (Dezembro / 2014, Janeiro e Fevereiro / 2015), no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Autoria própria.....25
- Tabela 3.** Riqueza observada (S_{obs}) e estimada (S_{est}) pelos estimadores assintóticos de riqueza de espécies ACE e Chao 1 para os diferentes grupos de besouros em todo o gradiente elevacional. Erro padrão (SE), valores mais baixo (CI_{inf}) e mais alto (CI_{sup}) do intervalo de confiança ($IC = 0,99$). Fonte: Autoria própria.....26
- Tabela 4.** Abundância, número total de espécies, número de espécies com abundância ≥ 15 (total e coletadas em uma única elevação), e número de espécies com abundância ≥ 25 indivíduos (total e com amplitude elevacional de distribuição de até 610 m) no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Autoria própria.....28
- Tabela 5.** Espécies selecionadas como potenciais bioindicadores no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil, com abundância, amplitude de distribuição, ocorrência nas fitofisionomias, tamanho e facilidade de reconhecimento. As primeiras cinco espécies (em negrito) são sugeridas como bioindicadores. Fonte: Autoria própria.....31
- Tabela 6.** Lista detalhada dos materiais necessários ao monitoramento, juntamente com sugestões quantidades e observações pertinentes. A lista é separada em materiais de campo e materiais de laboratório. Fonte: Autoria própria.....34
- Tabela A.1.** Lista das espécies coletadas dos seis grupos de Coleoptera do Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil. As espécies estão organizadas em ordem alfabética, considerando a família e a subfamília na qual pertencem. A distribuição nas fitofisionomias é apresentada juntamente com a amplitude elevacional de distribuição, onde: BM - floresta baixo-montana (130, 250, 360, 550 e 700 m), MO - floresta montana (880, 960, 1070 e 1250 m), AM - floresta alto montana (1480, 1680 e 1810 m), CA - campos de altitude (1940, 2030 e 2170 m). Fonte: Autoria própria.....64

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTAS DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	v
1 Introdução	1
1.1 <i>Justificativa</i>	3
2 Objetivos	4
2.1 <i>Objetivo Geral</i>	4
2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
3 Fundamentação teórica	5
3.1 <i>Mudanças climáticas</i>	5
3.1.1 <i>Mudanças climáticas na região tropical</i>	6
3.1.2 <i>Mudanças climáticas em montanhas de florestas tropicais</i>	7
3.2 <i>Bioindicadores</i>	8
3.2.1 <i>Definição e uso</i>	8
3.2.2 <i>Insetos como bioindicadores</i>	12
3.2.3 <i>Insetos como bioindicadores de mudanças climáticas</i>	13
4 Materiais e métodos	15
4.1 <i>Área de estudo</i>	15
4.2 <i>Amostragem</i>	17
4.3 <i>Triagem e identificação</i>	19
4.4 <i>Análise de dados</i>	20
4.4.1 <i>Composição, abundância, riqueza de espécies e suficiência amostral</i>	20
4.4.2 <i>Amplitude elevacional de distribuição das espécies</i>	21
4.4.3 <i>Critérios de seleção de bioindicadores</i>	21
4.5 <i>Proposta de protocolo de monitoramento</i>	23
5 Resultados	24
5.1 <i>Temperatura</i>	24
5.2 <i>Composição, abundância, riqueza de espécies e suficiência amostral</i>	24
5.3 <i>Amplitude elevacional de besouros</i>	26
5.4 <i>Potenciais bioindicadores</i>	27
5.5 <i>Proposta de protocolo de monitoramento</i>	32
5.5.1 <i>Material necessário</i>	32
5.5.2 <i>Desenho amostral</i>	36

	vii
5.5.3 Metodologia geral	38
5.5.4 Diagnose	43
6 Discussão	47
7 Conclusão	53
Referências	55
Apêndice A - Material Suplementar	64

1 Introdução

Os efeitos das mudanças climáticas nos seres vivos é uma das questões atuais mais importantes da ecologia e esses efeitos são amplos e geralmente danosos (e.g. HUGHES, 2000; WALTHER *et al.*, 2002; ROOT *et al.*, 2003; PARMESAN, 2006; MENÉNDEZ, 2007; WILSON *et al.*, 2007; BELLARD *et al.*, 2012; GRIMM *et al.*, 2013; MENÉNDEZ *et al.*, 2014; SHELDON, 2019). Esses e outros estudos mostram que o clima pode afetar a estrutura e dinâmica dos ecossistemas; a biodiversidade e composição de comunidades biológicas; a distribuição, amplitude e abundância das espécies; assim como a fenologia e interações com outros organismos, tanto direta quanto indiretamente.

Ambientes de montanha fornecem informações importantes sobre os impactos das mudanças climáticas na distribuição das espécies, uma vez que esses ambientes podem abranger os limites inferior e superior de distribuição de muitas das espécies que os habitam (MENÉNDEZ *et al.*, 2014). Tendo em vista a grande variação de parâmetros ambientais observados ao longo de montanhas, como a temperatura e a precipitação, é possível que a ocorrência, abundância e distribuição dos organismos sejam significativamente afetados ao longo de gradientes elevacionais (HODKINSON, 2005; HODKINSON; JACKSON, 2005; MARTINELLI, 2007). Montanhas tropicais são consideradas “hotspots” de biodiversidade, com muitas espécies endêmicas, altamente ameaçadas por mudanças ambientais em países como o Brasil (MARTINELLI, 2007). Organismos de montanha são potencialmente mais vulneráveis a mudanças de temperatura do que aqueles de outros ambientes, uma vez que são esperadas taxas crescentes de aquecimento com o aumento da elevação devido a um efeito conhecido como “aquecimento dependente de elevação” (PEPIN *et al.*, 2015). Alguns dos mecanismos que contribuem para essas taxas diferenciais de aquecimento incluem mudanças no albedo, nuvens e propriedades de nuvens, vapor d’água e fluxos radiativos, aerossóis e diferentes combinações desses mecanismos.

Muitos estudos apontam que as espécies podem alterar a amplitude de distribuição elevacional devido às mudanças climáticas, deslocando sua distribuição para elevações mais altas, de acordo com suas tolerâncias fisiológicas à temperatura (e.g. PARMESAN, 1996; ROOT *et al.*, 2003; PARMESAN, 2006;

MENÉNDEZ, 2007; MENÉNDEZ *et al.*, 2014; SHELDON, 2019). Além disso, é provável que organismos de florestas tropicais apresentem tolerância térmica restrita (sendo especializados a determinados limites de temperatura), especialmente os de maiores elevações (mas veja SUNDAY *et al.*, 2019) e, conseqüentemente, tenham uma amplitude de distribuição elevacional restrita, o que os torna particularmente vulneráveis a mudanças ambientais (LAURANCE *et al.*, 2011; GARCÍA-ROBLEDO *et al.*, 2016; MACEDO *et al.*, 2018). A situação é ainda pior nos topos de montanha, uma vez que esses ambientes apresentam menores áreas, com muitas espécies endêmicas e com pouca possibilidade de expandir suas distribuições (GARCÍA-ROBLEDO *et al.*, 2016; MACEDO *et al.*, 2016). Entretanto, para a maioria dos grupos de insetos, o que compreende uma grande fração da diversidade global, pouco se sabe sobre a amplitude de distribuição elevacional das espécies em montanhas tropicais e como as mudanças climáticas podem afetar a distribuição desses organismos.

Bioindicadores são “espécies, ou grupos de espécies, que rapidamente refletem o estado biótico e abiótico de um ambiente; que representam os impactos das mudanças ambientais em um habitat, comunidade ou ecossistema; ou indicam a diversidade de um grupo de táxons ou a diversidade completa de uma área” (McGEOCH, 1998). Esses organismos devem desempenhar um importante papel no monitoramento dos efeitos das mudanças ambientais em montanhas e permitir mitigar esses mesmos efeitos, contribuindo assim para a gestão da biodiversidade.

Insetos são altamente adequados como bioindicadores devido a sua grande sensibilidade e rápida resposta a distúrbios antrópicos, permitindo cientistas entenderem como organismos respondem a mudanças em fatores bióticos e abióticos (BROWN JR., 1996; McGEOCH, 1998; HUGHES, 2000; HODKINSON; JACKSON, 2005; MENÉNDEZ, 2007; UEHARA-PRADO *et al.*, 2009; MENÉNDEZ *et al.*, 2014). Esses organismos também foram reportados como bons indicadores de mudanças climáticas (MENÉNDEZ, 2007; GERLACH *et al.*, 2013), uma vez que o clima influencia diretamente sua sobrevivência, reprodução e desenvolvimento (BALE *et al.*, 2002). Insetos geralmente têm ciclos de vida curtos em comparação com outros seres vivos e desempenham importantes papéis no funcionamento dos ecossistemas, tendo representantes em diferentes níveis tróficos. Entretanto, para

monitorar os efeitos das mudanças climáticas em montanhas, é importante compreender a distribuição elevacional presente das espécies, assim como outras características biológicas e ecológicas dos insetos, a fim de acompanhar possíveis alterações na amplitude de distribuição e potencial risco de extinção. Dentre os insetos, os besouros (Coleoptera) se destacam como os seres vivos mais diversos, com 300.000 a 450.000 espécies existentes (NIELSEN; MOUND, 1999; BOUCHARD *et al.*, 2017), sendo facilmente coletados usando diferentes técnicas, e já foram sugeridos como bioindicadores em outros contextos (RAINIO; NIEMELÄ, 2003; HODKINSON; JACKSON, 2005; GERLACH *et al.*, 2013).

1.1 Justificativa

O bioma Mata Atlântica foi designado um dos mais importantes “hotspots” de biodiversidade globais (MYERS *et al.*, 2000; MITTERMEIER *et al.*, 2011). O bioma apresenta uma enorme diversidade de espécies animais e vegetais, sendo muitas dessas espécies endêmicas (RIBEIRO *et al.*, 2009). Apesar disso, este bioma vem sendo fortemente afetado pelas atividades antrópicas, especialmente a mudança do uso da terra, o que gera uma grande emissão de gases relevantes para as mudanças climáticas, permanecendo atualmente apenas cerca de 11,73% de sua vegetação original (RIBEIRO *et al.*, 2009; SCARANO; CEOTTO, 2015). Devido à forte alteração que o bioma vem sofrendo nas últimas décadas, centenas de espécies animais e vegetais correm hoje risco de extinção (SCARANO; CEOTTO, 2015).

Este padrão de vulnerabilidade é geral para vários outros “hotspots” de biodiversidade, ressaltando a importância de monitorar as respostas bióticas nesses ambientes frente às mudanças futuras (BELLARD *et al.*, 2014). É importante frisar que a Mata Atlântica se evidencia como um dos “hotspots” de biodiversidade mais vulneráveis às mudanças climáticas (BELLARD *et al.*, 2014; SCARANO; CEOTTO, 2015). Portanto, fica visível a relevância do presente estudo para fins científicos; para a definição e implementação de instrumentos públicos e privados de gestão da biodiversidade; e para fins de conservação dos ecossistemas e da biota.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o grau de especialização de diferentes grupos de besouros a fim de sugerir um protocolo para o monitoramento dos efeitos das mudanças climáticas sobre a biota em montanhas, servindo como instrumento de gestão ambiental para a conservação e manejo dos ecossistemas e da biota.

2.2 Objetivos Específicos

- Descrever a variação elevacional da temperatura na estação chuvosa;
- Descrever a distribuição elevacional de diferentes grupos de besouros;
- Reconhecer as espécies de besouros mais abundantes e com distribuição mais restrita como potenciais bioindicadores;
- Sugerir um protocolo para monitorar os efeitos das mudanças climáticas em diferentes faixas elevacionais.

3 Fundamentação teórica

3.1 Mudanças climáticas

Flutuações naturais na temperatura do planeta são de fato uma realidade. Entretanto, devido às atividades antrópicas e o consequente aumento das emissões de gases do efeito estufa, mudanças no sistema climático vêm acelerando em uma taxa sem precedentes, afetando não somente a temperatura da superfície do planeta, como também a precipitação, a temperatura e acidez dos oceanos, o nível dos mares e a frequência de eventos extremos (IPCC, 2014). Essas alterações são conhecidas como mudanças climáticas, um assunto de grande destaque no cenário global, sendo tema central do 50º Fórum Econômico Mundial de Davos, na Suíça (Sengupta, 2020).

De acordo com o 5º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), é esperado que a temperatura da superfície do planeta aumente substancialmente até o final deste século, afetando de forma drástica toda a dinâmica dos sistemas biótico e abiótico ao redor do Planeta. Tendo em vista os potenciais impactos das mudanças climáticas, quatro projeções de temperatura baseadas em cenários de emissões são apresentadas neste relatório, assim como os efeitos esperados para diferentes ambientes terrestres (COLLINS *et al.*, 2013). Os modelos apontam que as regiões de maiores latitudes experimentarão os maiores aumentos de temperatura (COLLINS *et al.*, 2013) e é exatamente nesses ambientes que se concentram grande parte dos estudos sobre os impactos das mudanças climáticas sobre a biota (FREELEY *et al.*, 2017; SHELDON, 2019).

Esses impactos se destacam como um dos tópicos de maior relevância para a gestão, conservação e manejo dos ecossistemas e da biodiversidade. Nesse sentido, muitos estudos apontam como as principais respostas dos seres vivos às mudanças climáticas futuras: alterações na distribuição geográfica, na abundância, na fenologia, nas interações entre as espécies e nos padrões de migração (*e.g.* HUGHES, 2000; WALTHER *et al.*, 2002; ROOT *et al.*, 2003; PARMESAN, 2006; MENÉNDEZ, 2007; WILSON *et al.*, 2007; BELLARD *et al.*, 2012; GRIMM *et al.*, 2013; MENÉNDEZ *et al.*, 2014; SHELDON, 2019). É importante destacar que a

maioria dos estudos foca nos efeitos do aquecimento global, aumento da temperatura, sobre os organismos, populações e comunidades biológicas, pois esses são mais bem entendidos do que os efeitos de outros fatores, como a precipitação (ROOT *et al.*, 2003).

O 5º Relatório de Avaliação do IPCC projetou em 2014 um aumento da temperatura média da superfície do ar nos trópicos de 0,3 a 1,4 °C para o cenário mais otimista (RCP 2.6), de 0,9 a 2,3 °C para um cenário intermediário (RCP 4.5), e de 2,2 a 4,4°C para o cenário mais pessimista (RCP 8.5), acima dos níveis pré-industriais, até o final deste século (COLLINS *et al.*, 2013). Esse aumento na temperatura pode causar uma alteração das zonas bioclimáticas e, conseqüentemente, nas interações entre as espécies (GROOT *et al.*, 1995; HUGHES, 2000; MENÉNDEZ, 2007; SHELDON, 2019), resultando em graves conseqüências para a biodiversidade e para a manutenção dos ecossistemas. Entretanto, apesar da ameaça iminente, as florestas tropicais ainda são pouco estudadas com relação aos efeitos das mudanças climáticas sobre a biota (LAURANCE *et al.*, 2011; FREELEY *et al.*, 2017; SHELDON, 2019) e a maioria das pesquisas na área se referem a ambientes temperados e polares (SHELDON, 2019).

3.1.1 Mudanças climáticas na região tropical

A biodiversidade não é igualmente distribuída ao redor do mundo, sendo amplamente conhecido que a região tropical é a mais diversa do planeta, compreendendo uma riqueza de espécies muito maior do que qualquer outra região (ROHDE, 1992), com inúmeras espécies endêmicas. Apesar disso, muitas das áreas que concentram grande parte da diversidade global se encontram sobre forte ameaça de desaparecimento devido às ações antrópicas (MITTERMEIER *et al.*, 2011). O aquecimento global representa mais uma importante ameaça à biota tropical (LAURANCE *et al.*, 2011), o que já foi relatado para vários grupos de seres vivos, como por exemplo: plantas (ZHAO *et al.*, 2013; MORUETA-HOLME *et al.*, 2015; FADRIQUE *et al.*, 2018); aves, répteis e anuros (POUNDS *et al.*, 1999; RAXWORTHY *et al.*, 2008; FORERO-MEDINA *et al.*, 2011; FREEMAN; FREEMAN, 2014; FREEMAN *et al.*, 2018); e artrópodes (CHEN *et al.*, 2009; LISTER; GARCIA, 2018).

Os trópicos apresentam um clima quente e temperaturas médias mensais que variam relativamente pouco ao longo do ano, resultando em menores variações sazonais na temperatura se comparadas com regiões temperadas (JANZEN, 1967). Considerando que as espécies são evolutivamente adaptadas às temperaturas encontradas em seu hábitat, espera-se que as espécies tropicais vivam em condições muito próximas aos seus limites de tolerância térmica (JANZEN, 1967; DEUTSCH *et al.*, 2008), resultando assim em uma maior especialização e, conseqüentemente, em uma maior sensibilidade dessas espécies frente as mudanças climáticas (DEUTSCH *et al.*, 2008; LAURANCE *et al.*, 2011; SHELDON, 2019).

3.1.2 Mudanças climáticas em montanhas de florestas tropicais

Dentre as florestas tropicais, os ambientes de montanha se destacam como os principais “hotspots” de diversidade do planeta (MITTERMEIER *et al.*, 2011), apresentando uma surpreendente riqueza de espécies e um elevado endemismo quando comparadas com outros ambientes (RAXWORTHY *et al.*, 2008; LAURANCE *et al.*, 2011; RAHBEEK *et al.*, 2019a,b; SHELDON *et al.*, 2019). Essa grande diversidade encontrada em montanhas está relacionada aos efeitos evolutivos do clima e da história geológica da região (MARTINELLI, 2007).

A grande especialização térmica e baixa plasticidade apresentada pelos organismos que habitam as montanhas de florestas tropicais contribuem para essa enorme riqueza (JANZEN, 1967; GARCÍA-ROBLEDO *et al.*, 2016). Nesse sentido, esses organismos teriam menores chances de ocupar novos ambientes, o que resultaria em uma sobreposição das ocorrências de várias espécies com amplitude de distribuição restrita (JANZEN, 1967; GARCÍA-ROBLEDO *et al.*, 2016), gerando grandes centros de endemismo (RAHBEEK *et al.*, 2019a,b).

Rahbek e colaboradores (2019b), em seu estudo sobre os processos geológicos e evolutivos que regem a biodiversidade em montanhas, ainda discutem que montanhas tropicais apresentam uma grande heterogeneidade de habitats, o que gera altas taxas de especiação (“berços” de diversidade). Além disso, são áreas onde as espécies tendem a permanecer por longos períodos de tempo em uma escala evolutiva (“museus” de diversidade), contribuindo assim para a alta riqueza

de espécies encontrada nesses sistemas.

Tendo em vista a baixa tolerância fisiológica a variações de temperatura apresentada pelos organismos de montanhas tropicais, esses se encontram particularmente vulneráveis às mudanças climáticas (JANZEN, 1967; GARCÍA-ROBLEDO *et al.*, 2016). Os principais impactos dessas mudanças sobre essas espécies dizem respeito a sua fenologia, abundância e distribuição, com a possibilidade de alterarem sua distribuição para maiores elevações como resposta ao aquecimento (*e.g.* GROOT *et al.*, 1995; PARMESAN, 1996; HUGHES, 2000; ROOT *et al.*, 2003; PARMESAN, 2006; MENÉNDEZ, 2007; MENÉNDEZ *et al.*, 2014; SHELDON, 2019). É importante ressaltar que alterações na distribuição das espécies são extremamente nocivas, principalmente na região tropical, onde muitas espécies são especialistas e apresentam interações exclusivas (FORISTER *et al.*, 2015). Como consequência, pode haver uma grave ruptura nas interações biológicas, causando danos irreparáveis ao funcionamento dos ecossistemas, inclusive levando espécies à extinção (*e.g.* POUNDS *et al.*, 1999).

Nesse sentido, entender as respostas bióticas frente às variações de temperatura causadas pelas mudanças climáticas nas montanhas de florestas tropicais é de extrema importância para que seja possível atuar de forma efetiva na mitigação dos efeitos dessas mudanças sobre os seres vivos. Os programas de monitoramento se destacam como um importante meio para atingir esses objetivos e o uso de espécies de bioindicadores é altamente indicado.

3.2 *Bioindicadores*

3.2.1 Definição e uso

O monitoramento de sistemas biológicos é um importante instrumento de gestão ambiental, que pode oferecer informações relevantes sobre a qualidade do ambiente, os efeitos de mudanças ambientais nos seres vivos, a eficácia de programas de conservação, assim como tendências espaciais e temporais dos sistemas naturais (BURGER, 2006). É importante ressaltar ainda que o biomonitoramento consiste no registro de determinados parâmetros de interesse para avaliar sua conformidade com padrões previamente definidos, servindo para

diferentes finalidades na área da conservação (McGEOCH, 1998; LEGG; NAGY, 2006). Neste sentido, os bioindicadores se destacam como uma importante ferramenta para o monitoramento.

O termo “bioindicador” é amplamente difundido no meio científico (e.g. McGEOCH, 1998; McGEOCH; CHOWN, 1998; BURGER, 2006; HOLT; MILLER, 2010; SIDDIG *et al.*, 2016). Também é possível verificar na literatura uma grande variação no emprego do termo, sendo alguns dos mais comuns: “espécies indicadoras”, “biomonitores”, “indicadores biológicos”, “indicadores ecológicos” e “indicadores ambientais”. A definição e o uso dos bioindicadores também pode variar. Portanto, apesar do presente trabalho não se tratar de um levantamento exaustivo da literatura acerca do tema, algumas importantes definições do termo são apresentadas a seguir, assim como usos comuns dos bioindicadores.

Para McGeoch e Chown (1998), os bioindicadores, de forma geral, são táxons que apresentam uma resposta rápida a algum parâmetro do hábitat no qual são encontrados por meio de alterações em sua abundância ou ocorrência. Neste sentido, os bioindicadores permitiriam a obtenção de importantes informações sobre a qualidade do ambiente, a biodiversidade e os impactos das mudanças ambientais em sistemas naturais (McGEOCH, 1998).

Burger (2006), em seu estudo sobre os tipos, desenvolvimento e uso de bioindicadores na avaliação e pesquisa ecológica, aponta que os bioindicadores podem ser usados para uma série de objetivos, sendo alguns dos mais comuns: avaliar a saúde de uma espécie ou do ecossistema, os efeitos das ações antrópicas sobre os ecossistemas, a eficácia de ações de manejo, mitigação e restauração ambientais ou mesmo para acompanhar tendências ao longo do tempo. A autora ressalta que um bioindicador, para ser efetivo e atuar em projetos de monitoramento de longo prazo, deve ser capaz de englobar o maior número de objetivos de monitoramento. Para a autora, o monitoramento da saúde dos ecossistemas exige o uso de bioindicadores que sejam relevantes biológica, metodológica e socialmente, de forma que esses possam ser usados efetivamente na avaliação de tendências e no alerta precoce de alterações na qualidade do ambiente e de riscos à saúde humana. Portanto, um bom bioindicador, além de indicar a qualidade do ambiente e do componente biótico de um determinado ecossistema, também deve ser capaz de

fornecer informações sobre a saúde humana, avaliando tendências espaciais e temporais.

Holt e Miller (2010) também consideram a avaliação da qualidade do ambiente no conceito de bioindicador e que esses organismos devem permitir o entendimento das mudanças ambientais ao longo do tempo. Para esses autores, bioindicador é um termo genérico que se refere amplamente à detecção das respostas bióticas a estresses ambientais. Ainda segundo eles, para que a atuação desses organismos seja efetiva, os bioindicadores devem ter uma tolerância moderada às variações ambientais quando comparados com espécies raras (pouco abundantes e extremamente sensíveis a mudanças no ambiente) ou espécies amplamente distribuídas (altamente tolerantes a mudanças ambientais). Para Holt e Miller (2010) biomonitor está associado a medidas quantitativas da resposta biótica a mudanças ambientais, enquanto que bioindicadores avaliam qualitativamente essas respostas. Entretanto, os termos geralmente são utilizados como sinônimos.

Siddig e colaboradores (2016), em seu trabalho de revisão sobre o uso de espécies indicadoras, considerando todos os trabalhos publicados sobre o assunto na revista “Ecological Indicators” entre os anos de 2001 e 2014, observaram que os principais usos de bioindicadores se referem ao monitoramento de mudanças ambientais, à avaliação da eficácia de programas de gestão ambiental e para fornecer sinais de aviso sobre alterações ecológicas iminentes. Os resultados do trabalho mostram que a maioria dos estudos usou ou sugeriu o uso de grupos de espécies como bioindicadores ao invés de uma única espécie. Os autores ainda definem espécies indicadoras como organismos fáceis de monitorar, refletindo ou permitindo prever as condições do ambiente no qual são encontrados.

O trabalho de McGeoch (1998), no qual a autora discorre sobre a seleção, teste e aplicação de insetos terrestres como bioindicadores, ainda é o que apresenta maior detalhamento sobre o tema e a sua definição de bioindicadores é uma das mais amplamente utilizadas na literatura, sendo ela: “espécies, ou grupo de espécies, que rapidamente refletem o estado biótico ou abiótico de um ambiente; que representam os impactos de mudanças ambientais em um hábitat, comunidade ou ecossistema; ou indicam a diversidade de um conjunto de táxons ou de toda a diversidade de uma área”. A autora ainda aponta que apesar de haver um crescente

número de estudos sobre o tema, a maioria desses não apresenta uma definição clara do termo bioindicador e então propõe três categorias de acordo com sua aplicação, nomeadas: i) indicadores ambientais; ii) indicadores ecológicos; e iii) indicadores de biodiversidade.

i) Indicadores ambientais

Os indicadores ambientais são táxons capazes de responder previsivelmente a distúrbios ambientais ou mudanças no estado do ambiente (McGEOCH, 1998). Neste sentido, são considerados indicadores ambientais táxons que apresentam uma resposta mensurável às mudanças, permitindo uma quantificação dos efeitos. Seu uso é geralmente relacionado a distúrbios ambientais, poluição, bioacumulação e toxicidade.

ii) Indicadores ecológicos

De acordo com McGeoch (1998), os indicadores ecológicos seriam espécies, ou grupos de espécies, capazes de demonstrar os efeitos das mudanças ambientais sobre os sistemas bióticos, indo além da simples indicação do estado do ambiente. Os indicadores ecológicos devem ser capazes de representar a resposta de ao menos parte dos outros táxons presentes no hábitat estudado, o que seria possível devido à sensibilidade dos mesmos aos fatores de estresse ambiental. O seu uso em projetos de monitoramento está geralmente associado a alteração do hábitat, fragmentação, poluição, mudanças climáticas, dentre outros estressores. Devido a essas características, os indicadores ecológicos são de particular interesse para a conservação.

iii) Indicadores de biodiversidade

Os indicadores de biodiversidade se referem a um grupo taxonômico ou grupo funcional no qual a diversidade reflete, em certa medida, a diversidade de outros taxons superiores presentes no hábitat estudado (McGEOCH, 1998). O seu uso é associado a parâmetros ou variáveis de biodiversidade, como a riqueza de espécies, a composição da comunidade e a amplitude de distribuição, atuando como indicativo da saúde e funcionamento do ecossistema (McGEOCH, 1998). Nos indicadores de biodiversidade a riqueza de espécies de um táxon é usada para

estimar a riqueza de espécies de outros táxons (McGEOCH, 1998). Os indicadores de biodiversidade são então espécies representativas (“surrogates”) da comunidade como um todo.

No presente trabalho será utilizada a definição de bioindicadores pontuada por McGeoch (1998), considerando principalmente a ideia de indicadores ecológicos.

3.2.2 Insetos como bioindicadores

O grupo dos insetos é o principal representante animal em florestas tropicais, destacando-se pelo número de espécies, abundância e biomassa, desempenhando importantes papéis no funcionamento dos ecossistemas (McGEOCH, 1998; CORLETT; PRIMACK, 2011). Entretanto, pouco se sabe sobre a riqueza e distribuição desses organismos nesses ambientes (e.g. NOVOTNY; BASSET, 2000; SÁNCHEZ-REYES *et al.*, 2014, 2016). De acordo com Hodkinson (2005), a distribuição e a composição dos insetos ao longo de gradientes elevacionais podem ser afetadas por diversos fatores bióticos e abióticos, não apresentando uma resposta única a esses fatores. Os insetos são geralmente sensíveis e respondem rapidamente a mudanças ambientais - inclusive distúrbios antrópicos - o que os torna particularmente adequados para entender de que forma os organismos respondem a mudanças no ambiente (McGEOCH, 1998; HUGHES, 2000; MENÉNDEZ, 2007; MENÉNDEZ *et al.*, 2014).

Tendo em vista essas características, o papel dos insetos como bioindicadores vem sendo amplamente discutido desde o século passado e há uma vasta literatura acerca do uso desses organismos para este fim (e.g. BROWN JR., 1996, 1997; McGEOCH, 1998; RAINIO; NIEMELÄ, 2003; HODKINSON; JACKSON, 2005; UEHARA-PRADO *et al.*, 2009; McGEOCH *et al.*, 2011; GERLACH *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2014). De maneira geral, o uso desses organismos como bioindicadores está principalmente associado a fatores como: mudanças no ambiente físico, como alterações na temperatura, precipitação, seca, cobertura de gelo e exposição a raios ultra-violeta; alterações químicas no ambiente, especialmente relacionadas a poluição; qualidade ou valor de conservação de um habitat (“biological surrogates”); e alterações no status ecológico de um habitat ao

longo do tempo e espaço (HODKINSON; JACKSON, 2005).

Dentre os insetos, algumas ordens se destacam por serem boas indicadoras em ambientes aquáticos, como é o caso de Odonata, Trichoptera, Plecoptera, Ephemeroptera e larvas de Diptera; enquanto outras se apresentam como bons indicadores em ambientes terrestres, sendo elas: Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera, Orthoptera e Hemiptera (HODKINSON; JACKSON, 2005; GERLACH *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2014). É importante ressaltar que dentre os bioindicadores de ambientes terrestres, os besouros se distinguem dos demais por apresentarem uma ampla variedade de grupos tróficos dentro de um mesmo grupo taxonômico, permitindo uma maior variedade de respostas (GERLACH *et al.*, 2013).

3.2.3 Insetos como bioindicadores de mudanças climáticas

Os insetos já foram apontados como bioindicadores adequados para monitorar os efeitos das mudanças climáticas (*e.g.* HODKINSON; JACKSON, 2005; MENÉNDEZ, 2007; GERLACH *et al.*, 2013). Em um cenário de aquecimento global, insetos tropicais devem enfrentar temperaturas muito próximas daquelas consideradas letais para esses organismos e isso deve ocorrer mais rápido do que em espécies de insetos de climas temperados, devido à baixa tolerância térmica das primeiras (DEUTSCH *et al.*, 2008), mesmo que a taxa de aquecimento nos trópicos seja metade da prevista para maiores latitudes (IPCC, 2014). É importante destacar que alguns grupos, como Orthoptera e Diptera, apresentam espécies que são conhecidamente sensíveis a fatores climáticos (GERLACH *et al.*, 2013) e essas, por sua vez, poderiam ser usadas para fins de monitoramento.

Existem vários exemplos de espécies de insetos que alteraram sua distribuição devido ao aumento da temperatura. Uma investigação compreendendo borboletas europeias mostrou uma mudança na distribuição desses organismos em direção a maiores latitudes devido ao aumento da temperatura na região (PARMESAN *et al.*, 1999). Foram reportadas também alterações na distribuição de mosquitos vetores de doenças por esse mesmo motivo (EPISTEIN *et al.*, 1998). Em outro importante estudo, foram observadas mudanças na distribuição de besouros da família Scarabaeidae para maiores elevações em resposta ao aumento de temperatura em duas regiões de montanha (MENÉNDEZ *et al.*, 2014).

Os principais efeitos das mudanças climáticas sobre os insetos já foram reportados por alguns autores (e.g. HUGHES, 2000; MENÉNDEZ, 2007; WILSON *et al.*, 2007; MENÉNDEZ *et al.*, 2014). Esses estudos discorrem sobre algumas mudanças possíveis para essas espécies, sendo elas: (i) na fisiologia, afetando o metabolismo e as taxas de desenvolvimento desses organismos; (ii) na fenologia, o que poderia levar ao multivoltismo, ao aumento do período de atividade, a espécies ocorrendo mais cedo no ano e a desequilíbrios tróficos; (iii) na abundância, podendo gerar rápidos aumentos ou declínios populacionais; (iv) na distribuição, com espécies aumentando seu limite superior e contraindo seu limite inferior de distribuição em gradientes elevacionais, ou movendo-se em direção a maiores latitudes em gradientes latitudinais; e (v) nas interações entre as espécies, afetando interações inseto-planta, parasitoide-hospedeiro, competição e mutualismo; o que pode acarretar em extinções ou mesmo em mudanças na estrutura e composição das comunidades biológicas.

Para entender e mitigar os efeitos das mudanças climáticas sobre as espécies de insetos, muito mais do que registrar as variações de temperatura ao longo do tempo, é fundamental monitorar como esses organismos respondem a essas mudanças. Neste sentido, o presente estudo se apresenta como uma importante contribuição.

4 Materiais e métodos

4.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido no Parque Nacional da Serra dos Órgãos ($22^{\circ}32'S$; $43^{\circ}07'W$), uma Unidade de Conservação de proteção integral, que compreende a cadeia de montanhas da Serra do Mar no Sudeste brasileiro, estado do Rio de Janeiro. O Parque cobre uma área de 20024 hectares de vegetação de Mata Atlântica, com elevações que variam de 80 m a 2263 m acima do nível do mar (CASTRO, 2008) e abrange os municípios de Magé, Guapimirim, Teresópolis e Petrópolis (Fig. 1). Este é o terceiro Parque Nacional mais antigo do Brasil, fundado em 1939, com o objetivo de conservar a biodiversidade na região da Serra do Mar, especialmente os Campos de Altitude, que contém inúmeras espécies endêmicas (VASCONCELOS, 2011). As montanhas são caracterizadas por temperaturas que diminuem com o aumento da elevação, porém a taxa de diminuição nunca foi precisamente quantificada nesta região. Há uma estação que é caracterizada por maiores precipitação e temperatura (a estação chuvosa), de Outubro a Março, e outra relativamente mais seca e fria (a estação seca), que vai de Abril a Setembro (CASTRO, 2008).

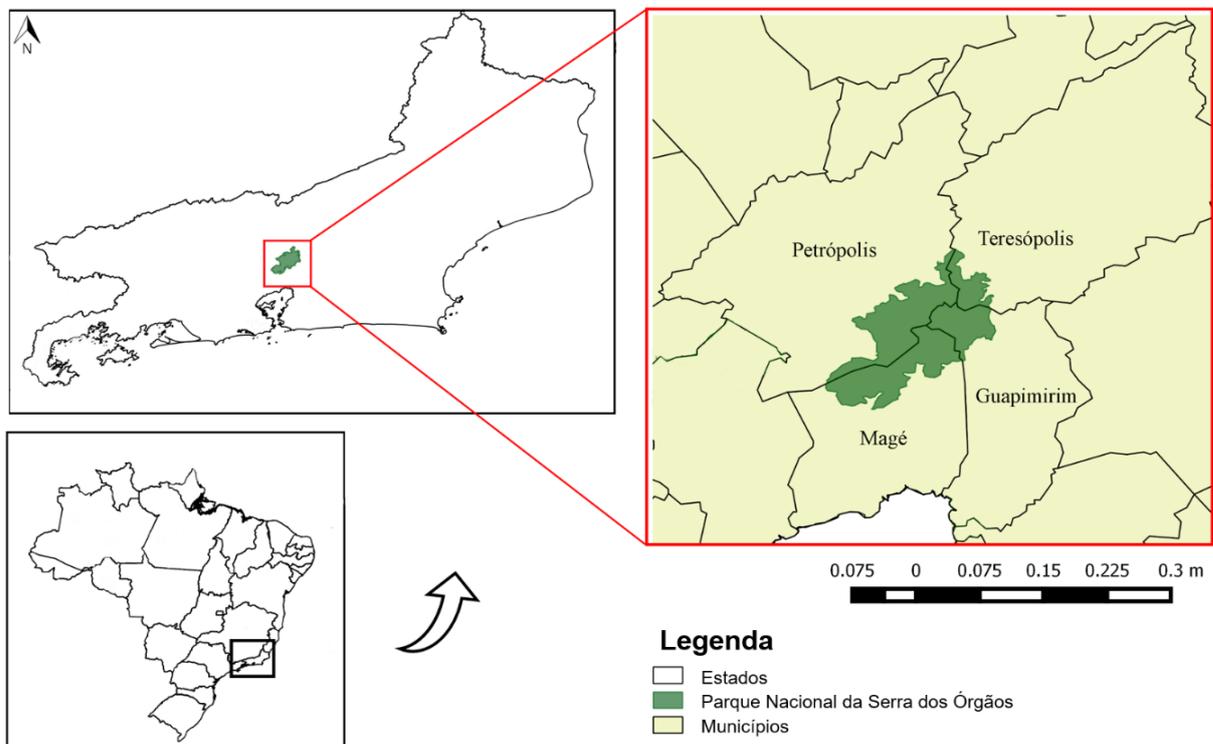


Figura 1. Localização do Parque Nacional da Serra dos Órgãos no estado do Rio de Janeiro, Brasil. A sede do Parque se encontra no município de Teresópolis, a cerca de 1000 m acima do nível do mar ($22^{\circ}32'S$; $43^{\circ}07'W$). Fonte: Autoria própria.

O Parque Nacional da Serra dos Órgãos é formado por Floresta Tropical Pluvial Atlântica e apresenta quatro diferentes tipos de vegetação (fitofisionomias) ao longo das elevações, sendo elas: a floresta pluvial baixo-montana, presente abaixo de aproximadamente 800 m e apresenta uma camada de serapilheira pouco espessa, com vegetação bastante densa e sem estratos definidos; a floresta montana, presente de ~800 m a ~1500 m, com estratos definidos e camada de serapilheira espessa; a formação alto-montana, presente de ~1500 a ~2000 m, que apresenta alta umidade e é dominada por espécies de pequeno porte; e os campos de altitude, que estão presentes acima de ~2000 m, onde a vegetação fica mais baixa e aberta, com predominância herbáceo-arbustiva, baixo aporte de matéria orgânica, solo raso e intensa radiação solar, sendo esta uma formação muito distinta das demais (Fig. 2 - veja RIZZINI, 1954 para a identificação da flora; VELOSO *et al.*, 1991 para a classificação da vegetação; e veja MACEDO *et al.*, 2018 para maiores detalhes sobre a área de estudo e vegetação).

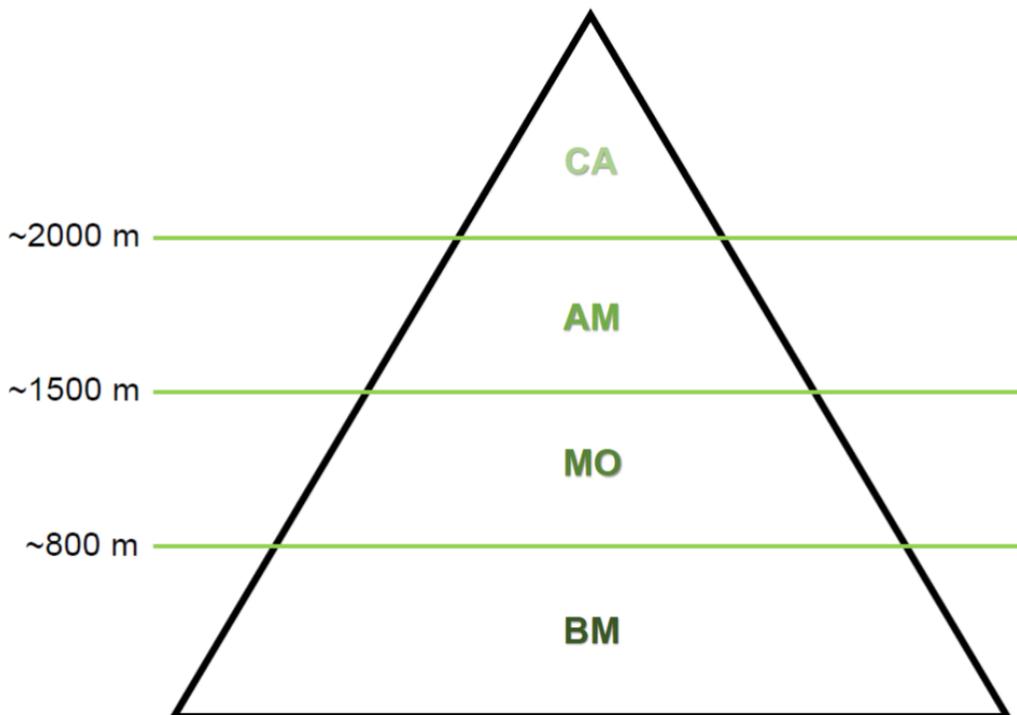


Figura 2. Representação ilustrativa da distribuição elevacional das quatro diferentes fitofisionomias presentes no Parque Nacional da Serra dos Órgãos no estado do Rio de Janeiro, Brasil. As diferentes fitofisionomias estão indicadas como segue: BM - floresta pluvial baixo-montana, presente abaixo de aproximadamente 800 m; MO - floresta montana, de ~800 m a ~1500 m; AM - formação alto-montana, de ~1500 a ~2000 m; e CA - campos de altitude, acima de ~2000 m. Fonte: Autoria própria.

4.2 Amostragem

A amostragem foi conduzida utilizando 30 armadilhas de interceptação de voo do tipo “Malaise” (Fig. 3), instaladas ao nível do solo, com o frasco coletor a uma altura de 1,7 metros acima do solo. Os pontos de coleta foram posicionados ao longo da estrada de Guapimirim (130 m a.s.l.) até Teresópolis (880 m), e da entrada de Teresópolis do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (940 m) até 2170 m ao longo da trilha da Pedra do Sino (MACEDO *et al.*, 2018), muito próximo da elevação mais alta da região, que se encontra a 2263 m. Os pontos de coleta abaixo de 1250 m estão sob maior influência de atividades humanas, uma vez que a estrada de Guapimirim à Teresópolis é pavimentada e apresenta tráfego intenso.



Figura 3. Armadilha de interceptação de voo do tipo “Malaise” usada na amostragem de insetos no presente estudo. O frasco coletor está indicado por uma seta vermelha. Foto adaptada de Vivian Flinte (2015).

As armadilhas Malaise foram colocadas em duplicata ao longo de todo o gradiente elevacional, em 15 pontos de coleta, de 130 m a 2170 m acima do nível do mar (Tabela 1), espaçadas em intervalos de 100 a 200 m em elevação. Em cada

ponto de coleta, duas armadilhas foram posicionadas a ao menos 50 m de distância uma da outra para garantir que nenhuma das armadilhas afetaria a coleta da outra e que seriam amostrados ambientes suficientemente diferentes. Os frascos coletores (1 litro de capacidade) continham álcool 94,4% para a fixação e preservação do material coletado e foram trocados mensalmente (30 dias de coleta). As amostras foram coletadas ao longo da estação chuvosa, de Dezembro de 2014 a Fevereiro de 2015, totalizando 90 amostras. A estação chuvosa foi usada pois os besouros são mais ativos e abundantes, sendo coletados em maiores quantidades (mesmo em maiores elevações) nesta estação do que na estação seca (e.g. BOUZAN *et al.*, 2015; FLINTE *et al.*, 2015; SILVEIRA; MERMUDES, 2017), que seria muito fria para algumas espécies. Quatro frascos coletores foram perdidos ao longo do período de coleta, sendo eles: um frasco de 2170 m em Dezembro de 2014; um de 550 m e outro de 1680 m em Janeiro de 2015; e um frasco de 2170 m em Fevereiro de 2015. Para essas amostras perdidas, nenhuma estimativa foi feita.

Tabela 1. Elevações e coordenadas geográficas dos pontos de coleta no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Autoria própria.

Elevações (m)	Coordenadas
130	22°31'55"S; 43°00'07"W
250	22°31'00"S; 43°00'24"W
360	22°29'41"S; 42°59'54"W
550	22°28'36"S; 42°59'31"W
700	22°28'37"S; 42°59'45"W
880	22°28'11"S; 43°00'06"W
960	22°27'29"S; 42°59'11"W
1070	22°27'11"S; 42°59'34"W
1250	22°26'55"S; 43°00'16"W
1480	22°26'54"S; 43°00'49"W
1680	22°27'8"S; 43°00'54"W
1810	22°27'18"S; 43°00'59"W
1940	22°27'18"S; 43°01'12"W
2030	22°27'35"S; 43°01'36"W
2170	22°27'39"S; 43°01'46"W

Os dados de temperatura (°C) foram coletados a cada hora em todas as 15 elevações usando Data Loggers (MicroLite II USB Temperature Data Logger, Fourtec - Fourier Technologies Ltd.), para os meses de Dezembro de 2014, Janeiro

de 2015 e Fevereiro de 2015. Desses dados, foram obtidas as temperaturas média, máxima e mínima diárias, das quais foram calculadas as médias mensais e a temperatura média da estação chuvosa para cada ponto elevacional.

4.3 *Triagem e identificação*

Os insetos foram preservados em álcool 94,4% e armazenados em potes plásticos. A triagem foi realizada em laboratório, com o auxílio de microscópios estereoscópicos Leica. Todos os Coleoptera foram contados e seis grupos (famílias ou subfamílias) de besouros, pertencentes a diferentes grupos tróficos, foram contados e identificados ao menor nível taxonômico. Os grupos tróficos foram representados por predadores (Carabidae, Lampyridae e Phengodidae), herbívoros (Cerambycidae e Eumolpinae) e fungívoros (Anthribidae). Como não se sabia *a priori* quais grupos taxonômicos poderiam ser mais adequados como bioindicadores, esses grupos de besouros foram escolhidos pois representam diferentes posições tróficas no ecossistema, podendo responder diferentemente a mudanças ambientais (VOIGHT *et al.*, 2003), e apresentam diferentes graus de especialização elevacional (MACEDO *et al.*, 2018).

Taxonomistas especialistas identificaram os diferentes grupos taxonômicos, sendo eles: José Ricardo Miras Mermudes e André Silva Roza – Instituto de Biologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – Brasil (Anthribidae, Carabidae e Phengodidae); Luiz Felipe Lima da Silveira – Western Carolina University – EUA (Lampyridae); e Marcela Laura Monné Freire – Museu Nacional do Rio de Janeiro – UFRJ – Brasil (Cerambycidae). Os Eumolpinae foram triados em morfoespécies e foram posteriormente checados por Jéssica Herzog Viana (Universidade do Estado do Pará - UEPA - Brasil). A maioria dos espécimes foram identificados ao nível de gênero e então em morfoespécies, contudo todos eles serão referidos como espécie ao longo deste trabalho.

O uso de morfoespécies (*i.e.* indivíduos classificados com base em caracteres fenotípicos) como substitutos de espécies é amplamente discutido, assim como seu uso na estimativa de riqueza de espécies para comparações ao longo do tempo e espaço (OLIVER; BEATTIE, 1996; DERRAIK, 2002). Apesar da morfoespeiação poder levar à separação de uma única espécie em várias morfoespécies diferentes

“splitting”) ou à agregação de diferentes espécies em uma única morfoespécie (“lumping”), essa é geralmente a única maneira de avaliar a diversidade de espécies em grupos com baixa resolução taxonômica (OLIVER; BEATTIE, 1996; DERRAIK, 2002).

O material coletado foi depositado nas seguintes coleções entomológicas brasileiras (siglas apresentadas antes do nome de cada coleção): espécimes de Anthribidae, Carabidae e Phengodidae – Coleção Entomológica Professor José Alfredo Pinheiro Dutra (DZRJ), Universidade Federal do Rio de Janeiro; espécimes de Eumolpinae e Lampyridae – Coleção do Laboratório de Ecologia de Insetos (CLEI), Universidade Federal do Rio de Janeiro; e espécimes de Cerambycidae – Coleção Entomológica do Museu Nacional (MNRJ), Universidade Federal do Rio de Janeiro, estado do Rio de Janeiro, Brasil.

4.4 Análise de dados

4.4.1 Composição, abundância, riqueza de espécies e suficiência amostral

O número de indivíduos foi contado para todas as espécies dentre os seis grupos de besouros, e a abundância total foi considerada ao longo dos três meses de coleta. Para avaliar a riqueza de espécies ao longo do gradiente elevacional, as espécies foram consideradas presentes em todas as elevações entre os seus pontos mais baixo e mais alto de ocorrência (interpolação), como em Grytnes e Veetas (2002) e Almeida-Neto *et al.* (2006).

Com o intuito de verificar a suficiência amostral de cada grupo de besouro (Anthribidae, Carabidae, Cerambycidae, Eumolpinae, Lampyridae e Phengodidae), foram plotadas curvas de rarefação de espécies baseadas em indivíduos (dados de abundância) para os seis grupos de Coleoptera, considerando todas as 15 elevações. As curvas de rarefação baseadas em indivíduos são mais aplicáveis e comparáveis devido ao pequeno número de unidades amostrais consideradas, e foram realizadas utilizando a função “Individual rarefaction” do programa PAST (HAMMER *et al.*, 2001), Versão 3.25.

Além disso, foram comparados o número observado de espécies (S_{obs}) com estimadores não-paramétricos de riqueza total de espécies através do estimador de

cobertura baseado em abundância, em inglês “Abundance-based Coverage Estimator” - ACE (CHAO; LEE, 1992) e do estimador de riqueza baseado em abundância, em inglês “Abundance-based estimator of species richness” - Chao 1 (CHAO, 1984). Esses estimadores são conhecidos por apresentar um melhor desempenho em relação a outros estimadores não-paramétricos quando o número de espécies raras é grande (SMITH; VAN BELLE, 1984), que é o caso do presente estudo. As análises foram realizadas utilizando o pacote “SPECIES” (WANG, 2011) do programa R, Versão 3.6.1 (2019-07-05, Action of the Toes).

4.4.2 Amplitude elevacional de distribuição das espécies

A amplitude elevacional foi calculada subtraindo a elevação mais baixa da elevação mais alta em que uma espécie foi coletada. Usando essa informação é possível avaliar o grau de especialização de diferentes espécies na montanha a fim de calcular a amplitude elevacional média para cada grupo de besouros e sugerir os táxons com amplitude elevacional mais restrita como aqueles mais adequados para o monitoramento de mudanças ambientais. Para avaliar as diferenças na amplitude elevacional média de distribuição entre os seis grupos de besouro estudados, foram feitos um teste de Kruskal-Wallis e posterior teste par-a-par de Mann-Whitney. Cada elevação foi atribuída a uma fitofisionomia considerando os estudos que descrevem a composição da vegetação de montanhas (RIZZINI, 1954; VELOSO *et al.*, 1991). Portanto, a ocorrência das espécies nas fitofisionomias foi registrada como segue: BM - floresta baixo-montana (130, 250, 360, 550 e 700 m), MO - floresta montana (880, 960, 1070 e 1250 m), AM - floresta alto montana (1480, 1680 e 1810 m), CA - campos de altitude (1940, 2030 e 2170 m). É importante ressaltar que a ocorrência através das fitofisionomias foi analisada para todas as espécies estudadas.

4.4.3 Critérios de seleção de bioindicadores

A seleção das potenciais espécies de bioindicadores considerou dois critérios principais, na seguinte ordem: (i) A abundância deve ser adequada, uma vez que quanto maior a abundância, maior a probabilidade de reamostragem da espécie, deixando de fora aquelas espécies que provavelmente são mais difíceis de monitorar. Muitos estudos sugerem o uso da abundância como critério de seleção de

bioindicadores (e.g. MCGEOCH, 1998; UEHARA-PRADO *et al.*, 2009). Entretanto, nenhum número de indivíduos específico é sugerido e os estudos geralmente se referem a “adequado”, “abundante” ou qualquer outro termo subjetivo. Então, as espécies foram consideradas adequadas caso sua abundância total fosse ao menos de 25 indivíduos para as espécies com até 610 m de amplitude de distribuição, ou ao menos 15 indivíduos caso coletada em uma única elevação; e (ii) A amplitude elevacional de distribuição da espécie deve ser restrita, uma vez que as espécies mais especializadas geralmente apresentam tolerância térmica restrita, o que significa que elas possivelmente responderiam mais rápido a variações de temperatura (LAURANCE *et al.*, 2011; GARCÍA-ROBLEDO *et al.*, 2016; MACEDO *et al.*, 2018). Portanto, considerando as distâncias entre os 15 pontos de coleta, uma amplitude elevacional de 610 m garante uma amostragem mínima de três pontos, o que é importante para permitir o monitoramento da variação da distribuição elevacional das espécies ao longo do tempo. Além disso, espécies com amplitude elevacional maior que 610 m, em teoria, estão sujeitas a uma maior variação de temperatura, dentre outros fatores, e então seriam menos responsivas a potenciais mudanças ambientais, reduzindo seu potencial como bioindicadores.

Para as espécies selecionadas como potenciais bioindicadores, foram utilizados dois critérios adicionais para selecionar as espécies mais adequadas: (iii) As espécies devem ser mais especializadas em relação às fitofisionomias, uma vez que alterações diretas na vegetação, causadas pela variação na temperatura, podem resultar em uma resposta mais rápida de espécies mais especializadas de inseto. A amplitude de distribuição de espécies de insetos pode ser indiretamente afetada por mudanças induzidas pela temperatura mediadas por outros fatores, como interações com a vegetação (planta hospedeira), como já foi reportado em outros trabalhos (e.g. GROOT *et al.*, 1995; MENÉNDEZ, 2007). Portanto, espécies foram consideradas adequadas caso fossem mais restritas em relação às fitofisionomias; e (iv) O reconhecimento das espécies deve ser fácil, uma vez que isso permite que as espécies de bioindicadores sejam rapidamente reconhecidas pela equipe de monitoramento (GROOT *et al.*, 1995). Então, as espécies maiores e/ou com características fáceis de reconhecer, quando comparadas com outras espécies do mesmo grupo amostradas na região, foram consideradas com prioridade.

4.5 Proposta de protocolo de monitoramento

A partir da aplicação de todos os métodos descritos anteriormente, foram selecionadas as espécies de bioindicadores, para as quais será apresentada uma proposta de protocolo de monitoramento detalhada, descrevendo todos os materiais e métodos necessários à sua implementação.

5 Resultados

5.1 Temperatura

Ao longo da estação chuvosa, as temperaturas máxima, média e mínima reduziram cerca de 0,5 °C a cada 100 m em elevação (Fig. 4) no Parque Nacional da Serra dos Órgãos. A temperatura média diminuiu 0,47 °C / 100 m, a temperatura máxima reduziu 0,41 °C / 100 m e a temperatura mínima diminuiu 0,51 °C / 100 m, mas todas as três variáveis apresentaram coeficientes de correlação altamente significativos ($R^2 > 0,96$; $p < 0,0001$; $n = 15$).

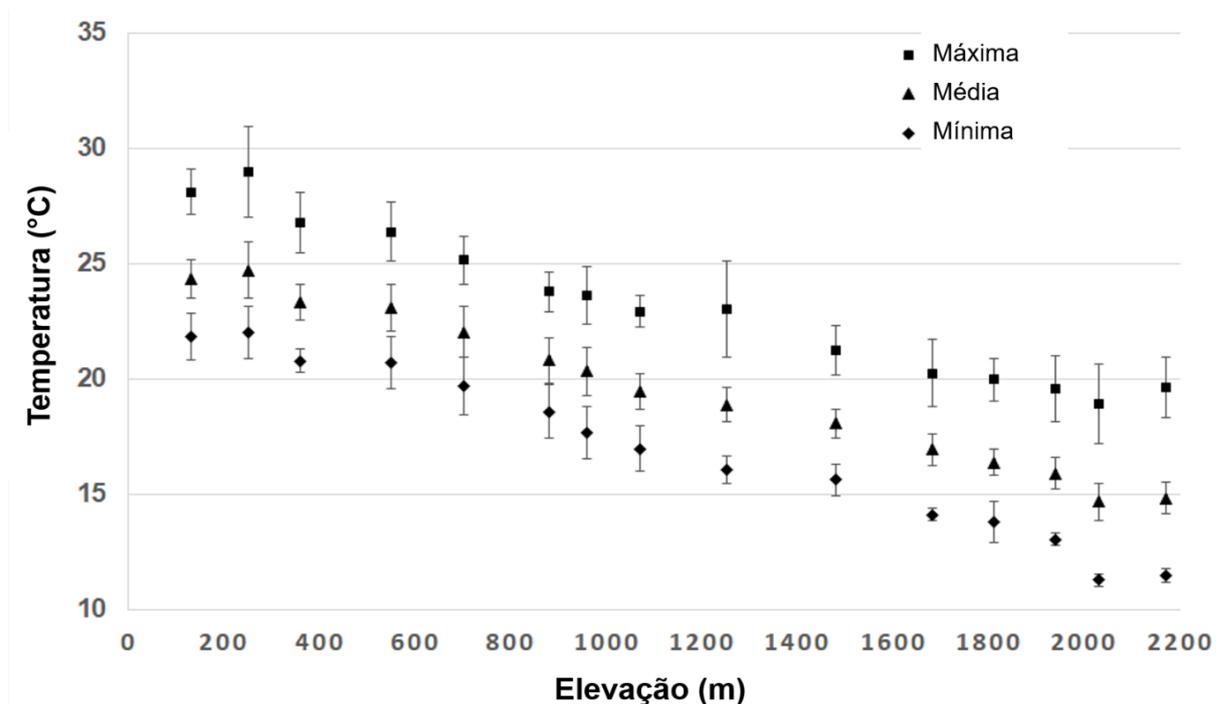


Figura 4. Temperaturas máxima, média e mínima (com barras de desvio padrão) para a estação chuvosa (Dezembro / 2014, Janeiro e Fevereiro / 2015) ao longo de todo o gradiente coletado no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Autoria própria.

5.2 Composição, abundância, riqueza de espécies e suficiência amostral

Um total de 2963 besouros, pertencentes aos seis grupos foram coletados ao longo de todo o estudo. Deste total, 115 são predadores (41 espécies de Carabidae, 51 de Lampyridae e 23 de Phengodidae), 111 espécies são herbívoros (48 espécies de Cerambycidae e 63 de Eumolpinae) e 46 espécies são fungívoros (todas Anthribidae) (Tabela 2; Tabela A.1). Os Coleoptera coletados são amplamente representados por singletons (espécies com apenas um indivíduo coletado) e

doubletons (espécies com apenas dois indivíduos coletados) ($n = 126$), correspondendo a 46,32% de todas as espécies coletadas. Desses, os fungívoros apresentaram o maior número de espécies com um ou dois indivíduos (Anthribidae – 56,52%), seguidos pelos herbívoros (Total: 52,25%; Cerambycidae – 58,33%; Eumolpinae – 47,62%) e predadores (Total: 36,52%; Carabidae – 41,46%; Lampyridae – 35,29%; Phengodidae – 30,43%).

Tabela 2. Abundâncias absoluta e relativa (%) e número de espécies absoluto e relativo (%) dos grupos de besouros estudados, de 130 m a 2170 m de elevação, ao longo da estação chuvosa (Dezembro / 2014, Janeiro e Fevereiro / 2015), no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Autoria própria.

Grupos	Abundância	% Abundância	Riqueza	% Riqueza
Anthribidae	173	5,8	46	16,9
Carabidae	406	13,7	41	15,1
Cerambycidae	256	8,6	48	17,6
Eumolpinae	912	30,8	63	23,2
Lampyridae	597	20,1	51	18,7
Phengodidae	619	20,9	23	8,5
Total	2963	100,0	272	100,0

As curvas de rarefação de Carabidae, Lampyridae e Phengodidae parecer ter quase atingido a assíntota (Fig. 5) e tiveram o número observado de espécies (S_{obs}) dentro do intervalo de confiança ($p = 0,01$) para ao menos um dos dois estimadores usados: ACE e Chao 1 (Tabela 3). Eumolpinae e Anthribidae apresentaram apenas uma ou duas espécies abaixo do limite inferior do intervalo de confiança e Cerambycidae, apesar de apresentar a porcentagem mais baixa de riqueza observada em relação à estimada, não pode ser considerado mal amostrado (69,57%).

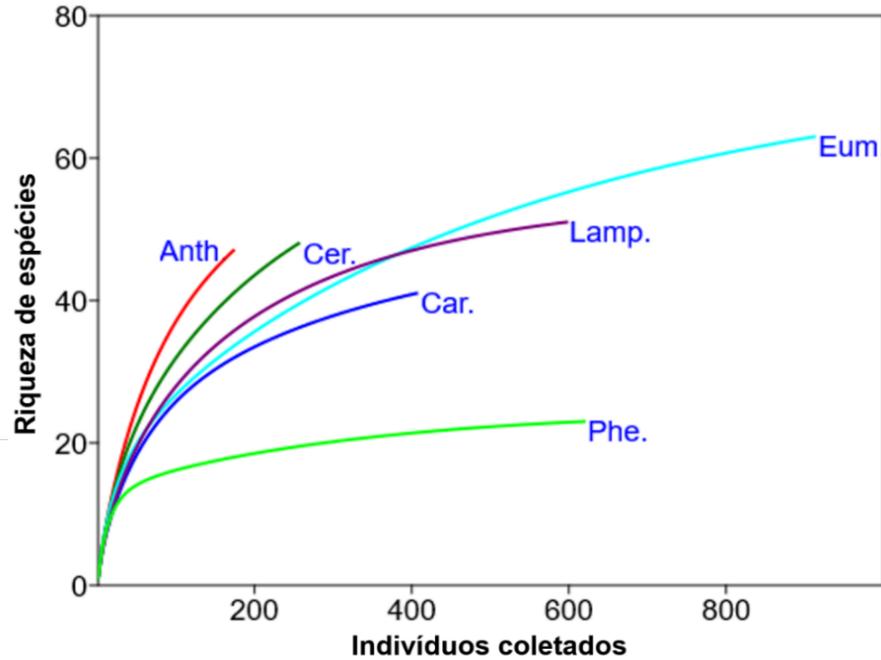


Figura 5. Curvas de rarefação baseadas em indivíduos para os seis grupos de besouros (Anthribidae, Carabidae, Cerambycidae, Eumolpinae, Lampyridae e Phengodidae), considerando todas as 15 elevações estudadas no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Autoria própria.

Tabela 3. Riqueza observada (S_{obs}) e estimada (S_{est}) pelos estimadores assintóticos de riqueza de espécies ACE e Chao 1 para os diferentes grupos de besouros em todo o gradiente elevacional. Erro padrão (SE), valores mais baixo (CI_{inf}) e mais alto (CI_{sup}) do intervalo de confiança (IC = 0,99). Fonte: Autoria própria.

TAXA	S_{obs}	ACE				Chao 1			
		S_{est}	SE	CI_{inf}	CI_{sup}	S_{est}	SE	CI_{inf}	CI_{sup}
Anthribidae	46	58	6,46	48	86	59	8,37	49	106
Carabidae	41	48	4,74	40	67	48	5,90	42	87
Cerambycidae	48	69	10,29	53	113	64	10,04	52	118
Eumolpinae	63	79	8,29	64	109	74	7,05	65	113
Lampyridae	51	56	3,31	49	67	54	3,06	51	76
Phengodidae	23	25	2,37	20	32	24	1,77	23	43

5.3 Amplitude elevacional de besouros

Houve diferenças significativas na amplitude elevacional média de distribuição dentre os seis grupos de besouro estudados, considerando todas as espécies amostradas com abundância ≥ 3 indivíduos (Fig. 6). Os grupos com amplitude

elevacional mais restrita foram os Eumolpinae (cerca de 317 m) e Lampyridae (cerca de 450 m). Os Anthribidae, Carabidae e Cerambycidae apresentaram a maior amplitude elevacional (~684 m, ~765 m e 835 m, respectivamente), e Phengodidae foi o grupo de espécies com amplitude elevacional intermediária (cerca de 573 m).

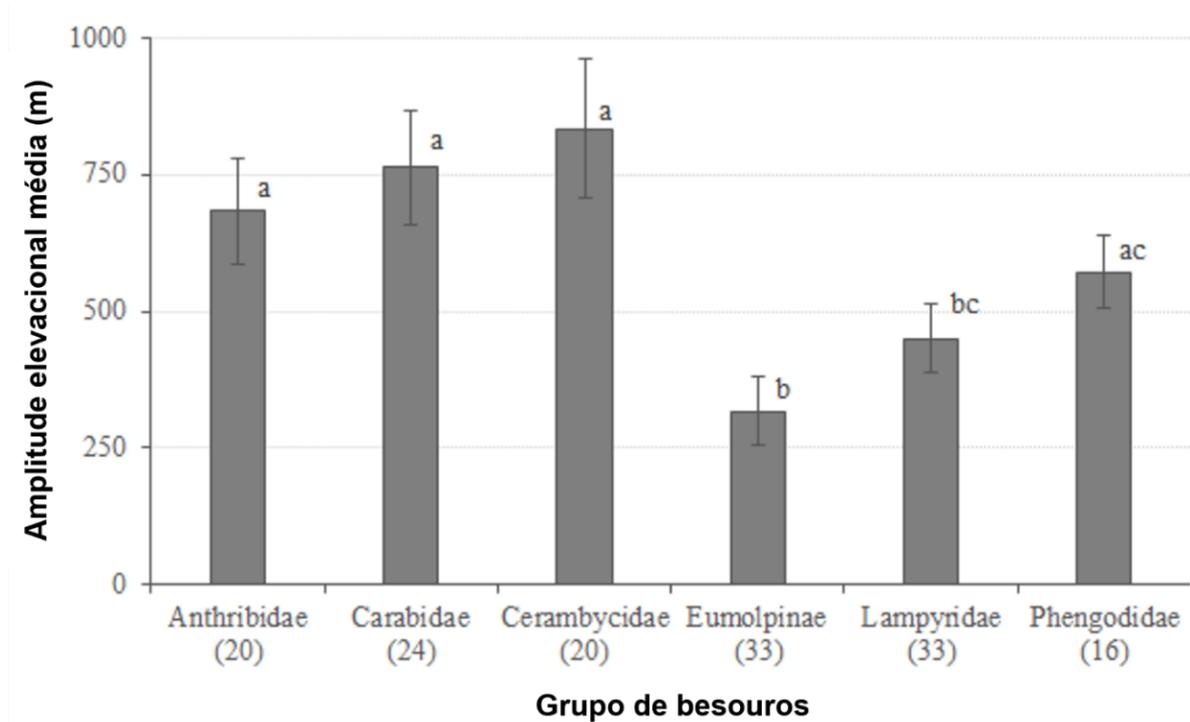


Figura 6. Amplitude elevacional média (com barras de desvio padrão) para cada um dos grupos de besouros (número de espécies) considerando as espécies com $n \geq 3$ indivíduos, ao longo da estação chuvosa (Dezembro / 2014, Janeiro e Fevereiro / 2015) no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil, coletados de 130 m a 2170 m a.s.l.. Diferentes letras acima das barras representam diferenças significativas (teste de Kruskal-Wallis; teste par-a-par de Mann-Whitney; $p < 0,05$). Fonte: Autoria própria.

5.4 Potenciais bioindicadores

De todos os seis grupos de Coleoptera estudados, Cerambycidae, Eumolpinae, Lampyridae e Phengodidae, tiveram ao menos uma espécie de acordo com os critérios de abundância e amplitude elevacional (com abundância ≥ 15 se coletado em uma única elevação; ou ≥ 25 , caso tivesse amplitude elevacional de distribuição de até 610 m). Nenhuma espécie de Anthribidae ou Carabidae atenderam a algum desses critérios (Tabela 4).

Apenas uma espécie de Cerambycidae, *Onocephala obliquata*, atendeu a ambos os critérios, com uma amplitude elevacional de 460 m. Nove espécies de Eumolpinae atenderam os critérios de abundância e amplitude elevacional. Dessas,

uma espécie apresentou amplitude elevacional de 520 m, sete espécies 230 m e uma espécie só foi registrada em uma única elevação (Eumolpinae sp. 14). A única espécie de Lampyridae que atendeu a ambos os critérios foi *Photuris elliptica*. Essa espécie de vagalume foi registrada em apenas uma elevação, com uma abundância de 15 indivíduos. Quatro espécies de Phengodidae atenderam ao primeiro e ao segundo critérios, com uma abundância de 40 indivíduos ou mais e com amplitude elevacional de distribuição de até 610 m, sendo elas: *Stenophrixothrix sp. 4*, *Stenophrixothrix sp. 2*, *Howdenia sp. 4* e *Taximastinocerus sp. 1* (Fig. 7; Tabela 4).

Tabela 4. Abundância, número total de espécies, número de espécies com abundância ≥ 15 (total e coletadas em uma única elevação), e número de espécies com abundância ≥ 25 indivíduos (total e com amplitude elevacional de distribuição de até 610 m) no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Autoria própria.

Grupos	Abundância	Número de espécies				
		Total	Ab. ≥ 15		Ab. ≥ 25	
			Total	Única elevação	Total	até 610 m
Anthribidae	173	46	2	0	1	0
Carabidae	406	41	5	0	3	0
Cerambycidae	256	48	4	0	2	1
Eumolpinae	912	63	15	1	13	8
Lampyridae	597	51	7	1	5	0
Phengodidae	619	23	13	0	11	4
Total	2963	272	46	2	35	13

Portanto, no total, duas espécies com abundância ≥ 15 , coletadas em uma única elevação, e 13 espécies com abundância ≥ 25 com até 610 m de amplitude elevacional de distribuição atenderam aos dois primeiros critérios de seleção (Tabela 4), e então foram selecionadas como potenciais bioindicadores. Essas espécies foram então avaliadas em relação a sua especialização às fitofisionomias e a facilidade de reconhecimento para a seleção final.

Dessas 15 espécies pré-selecionadas, potenciais bioindicadores, oito (53,33%) foram restritas a uma única fitofisionomia, a maioria delas eram herbívoros e pertenciam a Eumolpinae ($n = 7$). Dessas espécies de Eumolpinae, seis eram restritas aos campos de altitude e uma era restrita a vegetação de floresta montana. Apenas uma das espécies restritas a uma única fitofisionomia não era de herbívoro. Tratou-se de uma espécie de vaga-lume: *Photuris elliptica*, a qual pertence a Lampyridae e foi restrita a floresta montana. Nenhuma espécie foi restrita às

vegetações de floresta baixo-montana e alto-montana. Todas as outras espécies não foram restritas a uma única fitofisionomia (Fig. 7).

Oito dos 15 potenciais bioindicadores foram registrados na floresta montana, enquanto sete foram registradas nos campos de altitude, quatro na floresta alto-montana e apenas três na vegetação de floresta baixo-montana. A espécie *Eumolpinae* sp. 6 foi registrada na elevação mais alta da vegetação de floresta montana e na elevação mais baixa da floresta alto-montana, com uma amplitude elevacional de 230 m. Por este motivo, apesar da distribuição em duas fitofisionomias, essa espécie foi considerada adequada para o terceiro critério de seleção (Fig. 7).

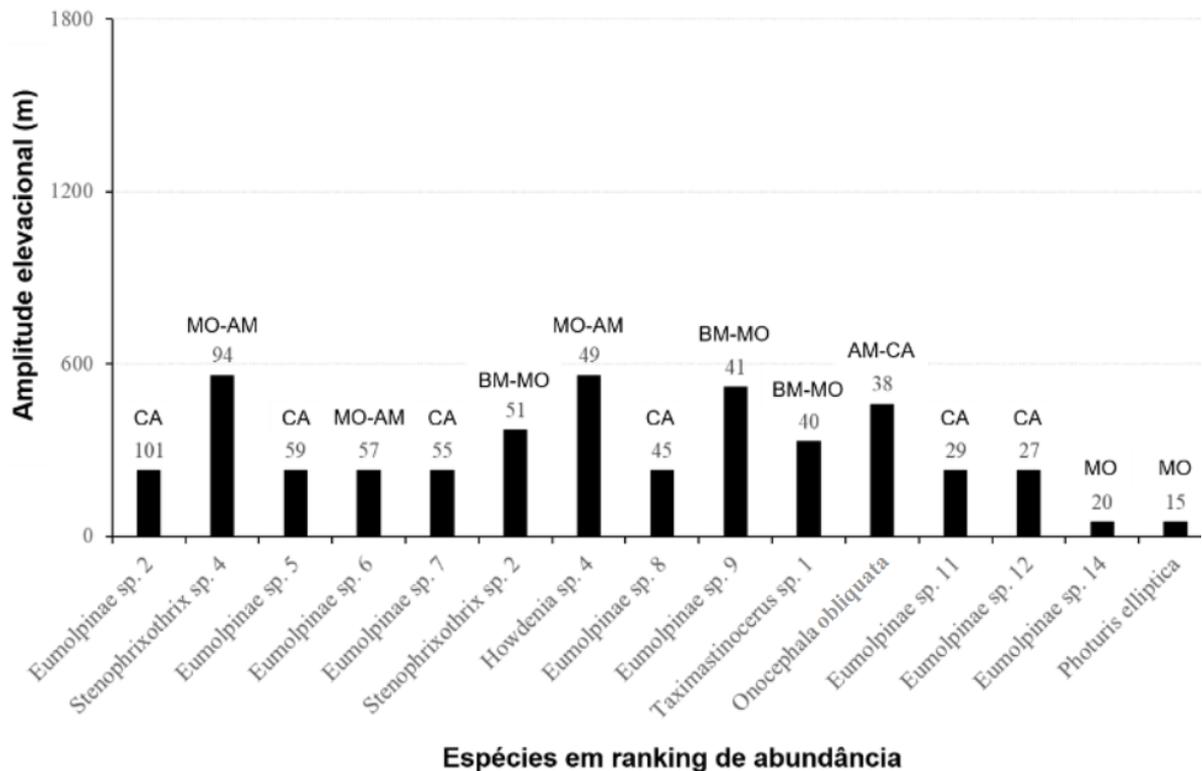


Figura 7. Amplitude elevacional de distribuição das 15 espécies de potenciais bioindicadores, em ordem decrescente de abundância, no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil. A abundância das espécies está mostrada acima de cada barra e sua distribuição dentre as fitofisionomias está indicada como segue: BM - floresta baixo-montana (130, 250, 360, 550 e 700 m), MO - floresta montana (880, 960, 1070 e 1250 m), AM - floresta alto montana (1480, 1680 e 1810 m), CA - campos de altitude (1940, 2030 e 2170 m). Fonte: Autoria própria.

Considerando a especialização às fitofisionomias e a facilidade de reconhecimento das 15 espécies pré-selecionadas, cinco delas são adequadas como bioindicadores (Tabela 5) e, para essas espécies, são apresentadas fotos em

diferentes posições juntamente com uma descrição dos principais caracteres usados para seu reconhecimento. Dessas, três espécies foram de herbívoros: duas espécies de Eumolpinae (Chrysomelidae - Figs. 13 e 14) e *Onocephala obliquata* (Cerambycidae - Fig. 15); e duas espécies foram de predadores: *Photuris elliptica* (Lampyridae - Fig. 16) e *Howdenia sp.* (Phengodidae - Fig. 17). Apesar de que *Howdenia sp.* e *Onocephala obliquata* não foram restritas a uma única fitofisionomia, ambas foram selecionadas como bioindicadores. Isso porque foi priorizada a facilidade de reconhecimento acima da restrição a uma única fitofisionomia.

Tabela 5. Espécies selecionadas como potenciais bioindicadores no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil, com abundância, amplitude de distribuição, ocorrência nas fitofisionomias, tamanho e facilidade de reconhecimento. As primeiras cinco espécies (em negrito) são sugeridas como bioindicadores. Fonte: Autoria própria.

Espécies	Abundância	Amplitude elevacional (m)	Ocorrência nas fitofisionomias	Tamanho médio* (mm)	Grau de facilidade de reconhecimento
<i>Howdenia sp. 4</i>	49	560 (1250 m a 1810 m)	Montana e alto-montana	5,11 mm	Fácil
<i>Onocephala obliquata</i>	38	460 (1480 m a 1940 m)	Alto-montana e campos de altitude	16,39 mm	Fácil
Eumolpinae sp. 11	29	230 (1940 m a 2170 m)	Campos de altitude	4,37 mm	Fácil
Eumolpinae sp. 12	27	230 (1940 m a 2170 m)	Campos de altitude	5,03 mm	Fácil
<i>Photuris elliptica</i>	15	50 (1250 m ^{**})	Montana	13,39 mm	Fácil
Eumolpinae sp. 2	101	230 (1940 m a 2170 m)	Campos de altitude	2,49 mm	Difícil
<i>Stenophrixothrix sp. 4</i>	94	560 (1250 m a 1810 m)	Montana e alto-montana	5,94 mm	Difícil
Eumolpinae sp. 5	59	230 (1940 m a 2170 m)	Campos de altitude	2,47 mm	Difícil
Eumolpinae sp. 6	57	230 (1250 m a 1480 m)	Montana e alto-montana	2,76 mm	Difícil
Eumolpinae sp. 7	55	230 (1940 m a 2170 m)	Campos de altitude	2,96 mm	Difícil
<i>Stenophrixothrix sp. 2</i>	51	370 (700 m a 1070 m)	Baixo-montana e montana	6,48 mm	Difícil
Eumolpinae sp. 8	45	230 (1940 m a 2170 m)	Campos de altitude	3,04 mm	Difícil
Eumolpinae sp. 9	41	520 (360 m a 880 m)	Baixo-montana e montana	5,32 mm	Difícil
<i>Taximastinocerus sp. 1</i>	40	330 (550 m a 880 m)	Baixo-montana e montana	4,75 mm	Difícil
Eumolpinae sp. 14	20	50 (1250 m ^{**})	Montana	2,77 mm	Difícil

* Tamanho médio considerando 5 indivíduos da mesma espécie.

** Coletado em uma única elevação.

5.5 *Proposta de protocolo de monitoramento*

5.5.1 Material necessário

Para que o protocolo de monitoramento seja implementado adequadamente, é necessário o uso de alguns equipamentos e materiais básicos (Tabela 6). Especial atenção deve ser dada às armadilhas do tipo Malaise e aos Data Loggers, que foram descritos detalhadamente a seguir.

As armadilhas de interceptação de voo do tipo “Malaise” (Fig. 3) são peças-chave deste protocolo. São armadilhas do tipo tenda que servem para a coleta passiva de material em campo, podendo ficar montadas por tempo indeterminado, o que as torna ideais para uma amostragem de longo prazo. Essas armadilhas coletam insetos que têm tendência a subir quando se deparam com um obstáculo vertical. A “Malaise” utilizada no presente estudo se baseou no modelo comercial de Townes (1972) e pode ser encontrada no mercado com as seguintes dimensões: frasco coletor a 1,80 m de altura x 1,80 m de comprimento.

No ápice de cada armadilha há um frasco coletor acoplado, responsável pela coleta e armazenamento do material ao longo do período de coleta. Considerando o tempo de amostragem (detalhado na seção 5.5.3), os frascos coletores das armadilhas devem ter 1 litro de capacidade. Esses frascos são fabricados em plástico fosco, rígido e resistente (Fig. 8 A), com uma tampa em rosca de boa vedação. Para proteger a amostra da incidência dos raios solares, é importante que o frasco seja envelopado (Fig. 8 B). É importante ainda ressaltar que as armadilhas precisam de revisão e manutenção periódica, evitando desta forma a perda de material e, conseqüentemente, de informação.

Os Data Loggers também são parte importante do monitoramento, pois são responsáveis pela coleta de dados climáticos, como a temperatura e umidade da área onde são fixados. Esses equipamentos precisam de uma estrutura para sua fixação e proteção em campo, que pode ser feita em madeira ou utilizando garrafas pet e estacas de madeira, sempre respeitando as especificações fornecidas pelo fabricante do equipamento. O uso de uma marreta pode ser útil para a fixação da estrutura no solo.

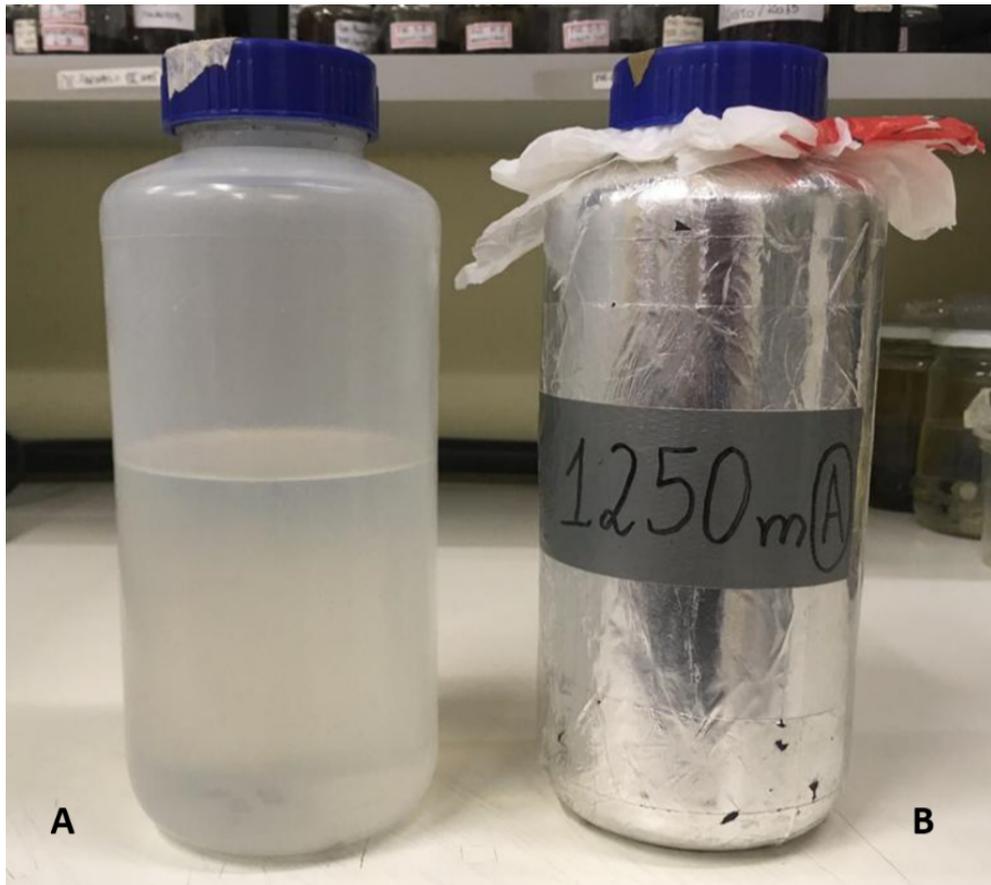


Figura 8. Frascos coletores das armadilhas “Malaise” (A) e exemplo de um frasco envelopado para proteção do material (B). Fonte: Autoria própria.

Tabela 6. Lista detalhada dos materiais necessários ao monitoramento, juntamente com sugestões quantidades e observações pertinentes. A lista é separada em materiais de campo e materiais de laboratório. Fonte: Autoria própria.

MATERIAL	QUANTIDADE	OBSERVAÇÕES
CAMPO		
Armadilhas do tipo "Malaise"	22	Armadilhas reserva são necessárias.
Cordas de poliéster	Conforme demanda. Ver Figura 2.	Fixação das armadilhas em campo. É importante ter uma quantidade reserva.
Estacas metálicas (specs)	Conforme demanda. Ver Figura 2.	Importante ter uma quantidade reserva em campo.
Agulha	Conforme demanda.	Reparo e manutenção das armadilhas. Sempre levar para o campo.
Linha	Conforme demanda.	Reparo e manutenção das armadilhas. Deve ser resistente. Sempre levar para o campo.
Fita veda rosca	Conforme demanda.	Para vedação dos frascos nas armadilhas.
Frasco coletor	44	Capacidade de 1 litro. Frascos reserva são necessários.
Parafilm M	Conforme demanda.	Vedação dos frascos durante o transporte.
Álcool 94,4%	Conforme demanda.	Fixação e preservação do material coletado. Usado nos frascos coletores e na manutenção das amostras em laboratório.
Data Loggers	11	Data Loggers reserva são necessários. Testar antes de usar.
Estrutura para os data Loggers	11	Suporte e proteção dos Data Loggers em campo.
Estacas de madeira	11	Fixação da estrutura para os Data Loggers em campo.
Marreta pequena	1	Fixação da estrutura para os Data Loggers em campo.
Caneta permanente	Conforme demanda.	Etiquetagem externa dos frascos coletores.
LABORATÓRIO		
Microscópios estereoscópicos	2	Triagem das amostras coletadas. Recomenda-se as marcas

		Leica e Zeiss. O número de Lupas deve ser considerado de acordo com o tamanho da equipe de triagem e também deve considerar a concretização de parcerias.
Pinças entomológicas	10	Recomenda-se a compra de pinças BioQuip. Variar entre pinças rígidas e moles.
Pincel	5	Auxílio na triagem.
Placas de Petri	20	Triagem das amostras coletadas.
Funil	4	Passagem do álcool.
Contador manual	2	Contagem dos indivíduos.
Papel vegetal	Conforme demanda.	Fabricação das etiquetas do material em via úmida e dos frascos coletores.
Potes de vidro	Conforme demanda.	Armazenamento da coleção em via úmida.
Potes plásticos	Conforme demanda.	Armazenamento da coleção em via úmida.
Tubos de ensaio	Conforme demanda.	Armazenamento da coleção em via úmida.
Algodão	Conforme demanda.	Vedação dos tubos de ensaio.
Plástico acetato	Conforme demanda.	Vedação dos potes de vidro.
Fita adesiva	Conforme demanda.	Fixação de etiquetas externas.
Caneta nanquim	Conforme demanda.	Preenchimento das etiquetas. Tamanhos: 0.05; 0.1; 0.2; 0.4.
Lápis de escrever	Conforme demanda.	Usos gerais.

5.5.2 Desenho amostral

Para o monitoramento das espécies sugeridas como bioindicadores, o posicionamento dos pontos de coleta deve ser reorganizado. Considerando a redução de 0,5 °C na temperatura a cada 100 m em elevação, os pontos de coleta devem ser dispostos considerando aproximadamente essa mesma distância elevacional. É fundamental que o monitoramento de qualquer parte do gradiente inclua ao menos dois pontos de coleta abaixo do limite inferior e outros dois pontos acima do limite superior de distribuição de cada espécie monitorada, dispostos aproximadamente a 100 m em elevação de distância um do outro. Desta maneira a disposição das armadilhas representará uma boa possibilidade de registrar uma possível mudança na distribuição das espécies para um aumento de até 1 °C na temperatura. No entanto, a variação interanual da distribuição das espécies deve ser considerada com cautela, sendo importante o monitoramento contínuo para conclusões mais consistentes. Além disso, o uso de armadilhas de interceptação de voo do tipo “Malaise” deve ser mantido, uma vez que os padrões de abundância são claramente influenciados pela técnica de coleta utilizada. Ressalta-se ainda a importância de colocar duas armadilhas “Malaise” em cada ponto de coleta, com distância de, no mínimo, 50 m corridos uma da outra, permitindo, assim, maior possibilidade de amostrar diferentes micro habitats.

Levando em consideração as informações anteriores e visando preservar ao máximo os limites de distribuição observados para as espécies, o desenho amostral para os cinco bioindicadores sugeridos está indicado a seguir:

- Eumolpinae sp. 11 e Eumolpinae sp. 12 estão distribuídas de 1940 m a 2170 m (campos de altitude), então dois pontos de coleta devem ser adicionados abaixo da elevação mais baixa na qual essas espécies foram registradas, em 1810 m e 1700 m, aproximadamente. Nenhum ponto de coleta pode ser adicionado acima do limite superior de distribuição dessas espécies (2170 m), uma vez que a maior elevação do Parque Nacional da Serra dos Órgãos se encontra a 2263 m (CASTRO, 2008) e nessa região, de solo rochoso e com pouca vegetação, não há estrutura para montagem das armadilhas “Malaise”. Assim, o novo desenho amostral para essas espécies deverá compreender as seguintes elevações: ~1700 m, ~1810 m, ~1940 m, ~2055 m e ~2170 m. Essas elevações estão indicadas de forma

aproximada (~) em virtude da dificuldade da instalação segura e adequada das armadilhas.

- *Howdenia sp. 4* apresenta distribuição de 1250 m a 1810 m, então quatro pontos de coleta devem ser adicionados. Desses, dois devem ser adicionados abaixo de 1250 m, nas elevações de 1150 m e 1050 m, e os outros dois pontos de coleta devem ser adicionados acima de 1810 m, nas elevações de ~1940 m e ~2055 m. Considerando a distribuição elevacional observada dessa espécie, sugerimos que sejam instaladas armadilhas nas seguintes elevações: ~1050 m, ~1150 m, ~1250 m, ~1365 m, ~1480 m, ~1590 m, ~1700 m, ~1810 m, ~1940 m e ~2055 m, totalizando dez pontos de coleta ao longo do gradiente elevacional. Este desenho amostral, apesar de não apresentar pontos equidistantes, respeita ao máximo os limites de distribuição das espécies e permite o aproveitamento dos pontos de coleta para a amostragem das outras espécies sugeridas como bioindicadores neste estudo.

- *Onocephala obliquata* se encontra distribuída de 1480 m a 1940 m. Desta maneira, três pontos de coleta devem ser posicionados entre o limite superior e inferior de distribuição dessa espécie (~1590 m, ~1700 m e ~1810 m). Adicionalmente, dois pontos devem ser colocados abaixo do limite inferior (~1365 m e ~1250 m) e outros dois acima do limite superior (~2055 m e ~2170 m). Portanto, essa espécie deverá ter 9 pontos de coleta no total, tendo início em 1250 m e terminando em 2170 m, conforme descrito anteriormente.

- *Photuris elliptica* teve seu registro restrito a uma única elevação (1250 m), portanto a amostragem deve se iniciar em 1050 m e terminar em 1480 m, e para maximizar o uso dos pontos de coleta considerados para as outras espécies, serão amostradas as seguintes elevações: ~1050 m, ~1150 m, ~1250 m, ~1365 m, ~1480 m.

De forma a facilitar a visualização dos pontos amostrais, é apresentado um esquema com as elevações e o desenho amostral para cada espécie de bioindicador (Fig. 9).

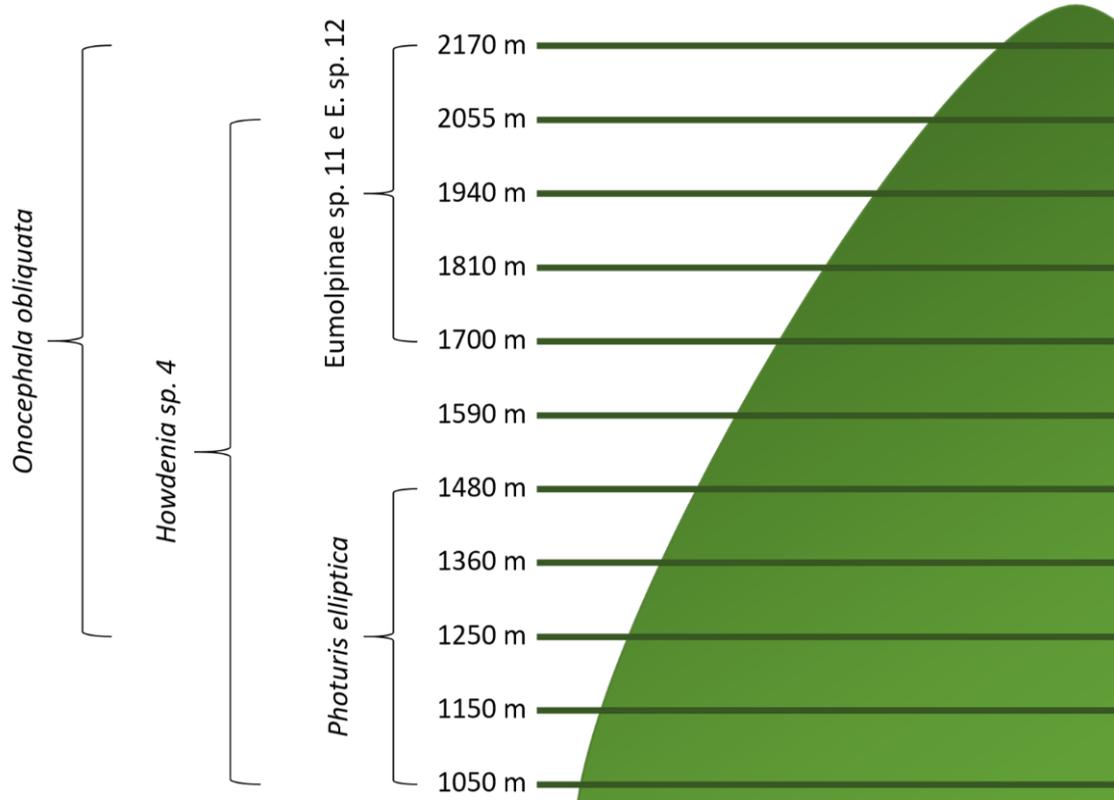


Figura 9. Desenho amostral para o monitoramento das espécies *Eumolpinae sp. 11*; *Eumolpinae sp. 12*; *Onocephala obliquata*; *Photuris elliptica*; e *Howdenia sp. 4*, sugeridas como bioindicadores no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ, Brasil. Fonte: Autoria própria.

5.5.3 Metodologia geral

Para a coleta de dados das variáveis climáticas, os aparelhos Data Logger devem ser instalados em campo no dia da armadilhagem. A instalação desses aparelhos exige a presença de uma estrutura de sustentação e proteção, conforme explicado na seção 5.5.1. Nos Data Loggers serão armazenados dados de medição de temperatura e umidade a cada hora, que poderão ser posteriormente resgatados ligando-os a um computador. Esses aparelhos devem ser retirados apenas no dia da retirada das armadilhas.

Para fins de comparação, considerando o período de coleta da estação chuvosa, é importante que as armadilhas “Malaise” sejam instaladas entre os dias 25 de novembro e 5 de dezembro para o início da amostragem e que só sejam retiradas entre os dias 25 de fevereiro e 5 de março, totalizando aproximadamente 90 dias de coleta. As armadilhas devem ser dispostas em campo conforme o desenho amostral sugerido no item anterior. É importante que elas sejam bem instaladas, de forma firme e que sejam bem esticadas, como exemplificado na

Figura 3. Maiores informações sobre a estrutura, montagem e posicionamento dessas armadilhas podem ser encontradas em Rafael (2002).

As vistorias das armadilhas à procura de rasgos e furos que possam comprometer a amostragem do material devem ser frequentes. A manutenção pode ser feita utilizando agulha, linha e amostras do exato mesmo tecido utilizado para a fabricação das armadilhas. Entretanto, se os estragos não forem seguramente reparáveis, a armadilha deve ser trocada por completo. Por este motivo, sugere-se que duas armadilhas extras sejam levadas com a equipe de monitoramento em cada vistoria e troca mensal de frascos.

Os frascos coletores devem ter 60% do seu volume preenchido com álcool 94,4% e devem ser trocados a cada aproximadamente 30 dias, portanto, aproximadamente, entre os dias 25 de dezembro e 5 de janeiro pela primeira vez, entre os dias 25 de janeiro e 5 de fevereiro pela segunda vez, e, por último, entre os dias 25 de fevereiro e 5 de março, quando as armadilhas deverão ser retiradas. O álcool presente nos frascos servirá para fixar e preservar, ao longo do mês de coleta, os insetos que caírem nas armadilhas. É fundamental que todos os 22 frascos coletores sejam trocados no mesmo dia, evitando, assim, diferenças de esforço amostral entre os pontos de coleta. Cada frasco deve ter uma etiqueta própria, indicando a elevação, o mês e a armadilha na qual será acoplado e coletará os insetos ao longo dos 30 dias. Sugere-se que cada frasco tenha duas etiquetas: uma externa (Fig. 8 B), que pode ser feita com caneta permanente no corpo do frasco (não fazer na tampa); e outra interna, que deve ser feita em papel vegetal, escrita usando caneta nanquim e posteriormente submersa no álcool do frasco. Esses mecanismos podem evitar que a importante informação sobre a ocorrência dos organismos seja perdida e que o monitoramento seja afetado.

Ressalta-se ainda que é importante conferir se o frasco acoplado à armadilha foi bem enroscado e se ficou bem preso ao anteparo para evitar perda de material. Caso o frasco esteja frouxo na armadilha, fita veda rosca pode ser usada para o deixar bem preso. As amostras coletadas devem ser lacradas e bem vedadas para o transporte do material até o laboratório. Para isso, é indicado o uso de Parafilm M entre o frasco e sua tampa, mas a vedação também pode ser feita usando sacos plásticos (Fig. 8 B).

Ao chegar no laboratório, as amostras devem ser transferidas para potes plásticos com tampas de boa vedação (Fig. 10), onde ficarão armazenadas. É importante que essas recebam um novo álcool 94,4%, pois o teor alcoólico certamente foi alterado durante o período de 30 dias de coleta em campo. Essa troca de álcool é fundamental para garantir a preservação do material em laboratório, evitando o surgimento de fungos, larvas de mosca e outras pragas. Ressalta-se ainda a importância da etiquetagem correta. Cada frasco coletor, como mencionado anteriormente, deve conter os dados do ponto de coleta e do mês. Esses dados serão aproveitados na fabricação de novas etiquetas para o material durante a transferência para os potes. Portanto, assim como para os frascos coletores, é sugerido o uso de duas etiquetas: uma externa e outra interna, mas com informações de procedência completas, conforme exemplificado na Figura 11 A. As etiquetas externas não devem ser colocadas na tampa dos potes, pois as tampas podem ser acidentalmente trocadas de pote.



Figura 10. Potes plásticos utilizados para o armazenamento das amostras em laboratório. É importante a manutenção de uma proporção adequada de álcool nos potes para evitar a perda de material. Fonte: Autoria própria.

É recomendado o uso de potes de diferentes tamanhos para o armazenamento do material, otimizando assim o espaço da coleção de via úmida. A amostra não deve ultrapassar 2/3 do volume do pote e o restante deve ser preenchido com álcool. Essa proporção deve ser considerada para a escolha do pote que será utilizado para armazenar cada amostra. O nível de álcool nos potes da coleção deve ser verificado periodicamente. Maiores informações sobre técnicas de preservação de material zoológico, manutenção de coleções em via úmida, assim como organização e curadoria de coleções, podem ser encontradas em Papavero (1994).

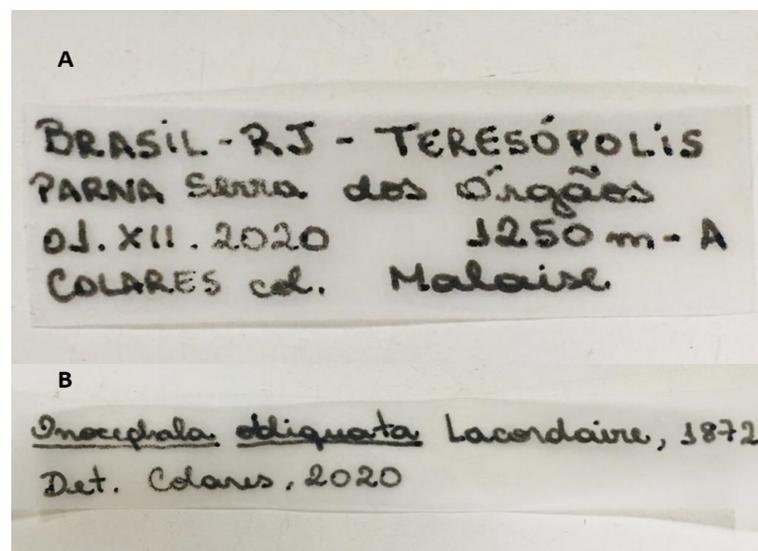


Figura 11. Etiquetas de procedência para material preservado em via úmida (A) e etiqueta de identificação (B). Fonte: Autoria própria.

A triagem deve ser feita com o auxílio de microscópios estereoscópicos por equipe treinada, utilizando placas de Petri e pinças entomológicas. Os besouros (ordem Coleoptera) podem ser separados das demais ordens de insetos com o auxílio da chave para identificação de ordens presente no livro “Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia” (CASARI; IDE, 2012). Depois de separados, deve ser usada uma chave para a identificação das famílias Cerambycidae, Chrysomelidae, Lampyridae e Phengodidae, o que auxiliará na identificação dos bioindicadores. O mesmo livro sugerido anteriormente pode ser usado para essa finalidade. Para os Chrysomelidae ainda será necessário o uso de uma chave para identificação de subfamílias, podendo chegar assim aos Eumolpinae (CASARI; IDE, 2012).

A melhor alternativa ao processo de triagem do material coletado em campo é a parceria com equipes de instituições de pesquisa interessadas nos táxons que não são de interesse da equipe de monitoramento. Nesse caso, a(s) equipe(s) parceira(s) fariam a triagem dos espécimes em nível de ordem, ou até mesmo dos besouros em nível de família, e entregariam ao grupo de monitoramento apenas aquelas famílias que tem representantes dos bioindicadores. Independentemente de quem fez a triagem do material, a diagnose dos bioindicadores deve ser de responsabilidade dos interessados no monitoramento.

A diagnose fornecida na seção 5.5.4 deve ser utilizada para a identificação dos bioindicadores. Esses devem ser contados com o auxílio de um contador manual (diminuindo as chances de erro) e, posteriormente, devem ser acondicionados em tubos de ensaio. Cada tubo deve receber etiquetas individuais de procedência e identificação (Fig. 11 B), ser preenchido com álcool 94,4% e fechado com algodão (Fig. 12). Os tubos podem ser acondicionados em potes de vidro, vedados com plástico acetato e fechados com tampa de metal (Fig. 12).

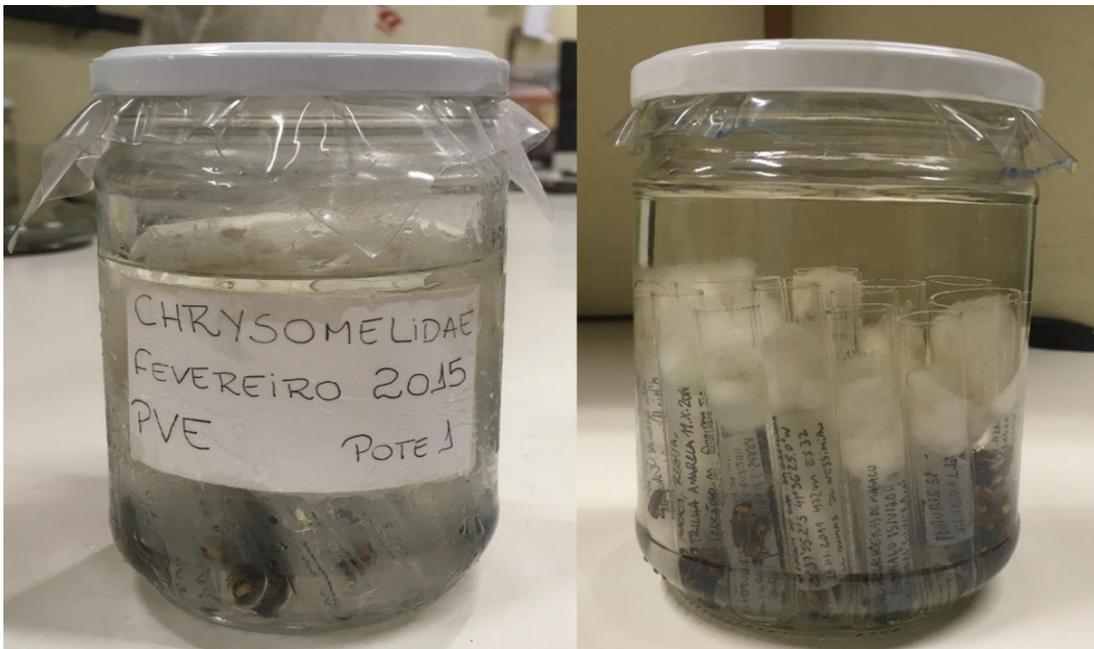


Figura 12. Exemplo de armazenamento de material identificado em coleção de via úmida. Fonte: Autoria própria.

Depois de toda a triagem, o material coletado que não for utilizado deve voltar para o pote original, com álcool. Uma sugestão importante é a doação dos espécimes que não serão aproveitados pela equipe de monitoramento para o Museu

Nacional do Rio de Janeiro ou outra instituição de pesquisa que possa aproveitá-lo. Isso ajudará na otimização do espaço da coleção e ainda permitirá o aproveitamento dos organismos coletados para fins científicos.

5.5.4 Diagnose

Adicionalmente, uma diagnose objetiva é fornecida para cada uma das cinco espécies sugeridas como bioindicadores a fim de ajudar a equipe de monitoramento a reconhecê-las. Para conhecer detalhadamente o desenvolvimento e a morfologia de besouros, é sugerido que se consulte o capítulo dedicado a esse grupo no livro “Insetos do Brasil” (CASARI; IDE, 2012) ou outro livro especializado.

Eumolpinae sp. 11 (Figura 13)

Diagnose. Cor: Antena marrom amarelada; escape marrom escuro na base e marrom claro no ápice; pedicelo e antenômeros III-IV marrom claros, escurecendo em direção ao ápice da antena. Tegumento iridescente, verde metálico (Fig. 13 A; B). Segmentos ventrais e pernas com pubescências amarelo claro, pequenas e dispersas (Fig. 13 B). Morfologia: Tamanho médio – 4,37 mm. Antena filiforme. Cabeça, pronoto e élitro fortemente pontuados (Fig. 13 A; B). Dois dentes em cada margem lateral do pronoto. Úmero do élitro com tubérculo. Epipleura elitral dobrada no terço apical do élitro, criando uma intumescência (Fig. 13 B; destacado em C).

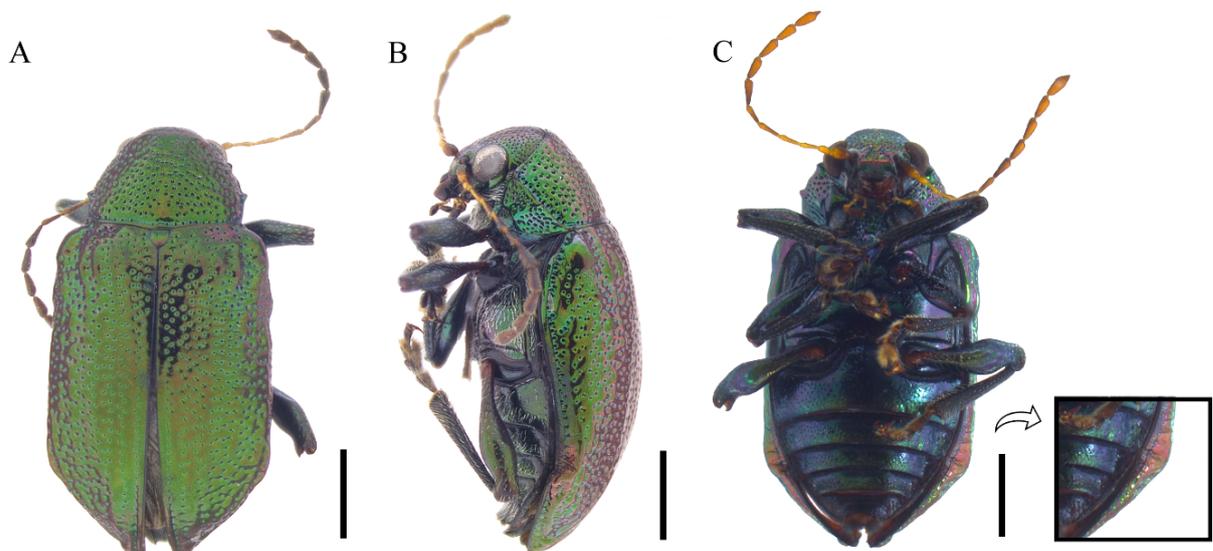


Figura 13. Vistas dorsal (A), lateral (B) e ventral (C) de Eumolpinae sp. 11 (Chrysomelidae). Intumescência do élitro se encontra destacada em C. Barra de escala = 1 mm. Fonte: Autoria própria.

Eumolpinae sp. 12 (Figura 14)

Diagnose. Cor: Antena marrom claro amarelado. A cor varia de uma pequena mancha metálica no élitro, com uma cor geral marrom clara a completamente verde metálico, com exceção das pernas marrom escuras (algumas das variações estão apresentadas em Fig. 14 A; A1 e A2). Morfologia: Tamanho médio – 5,03 mm. Antena filiforme. Cabeça, pronoto e élitro fortemente pontuados. Um dente na margem lateral do pronoto. Úmero com tubérculo. Margens laterais dos élitros obliquamente truncados no terço apical do élitro; ápice elitral truncado, abruptamente deprimido em vista lateral (Fig. 14, destacado em in B).

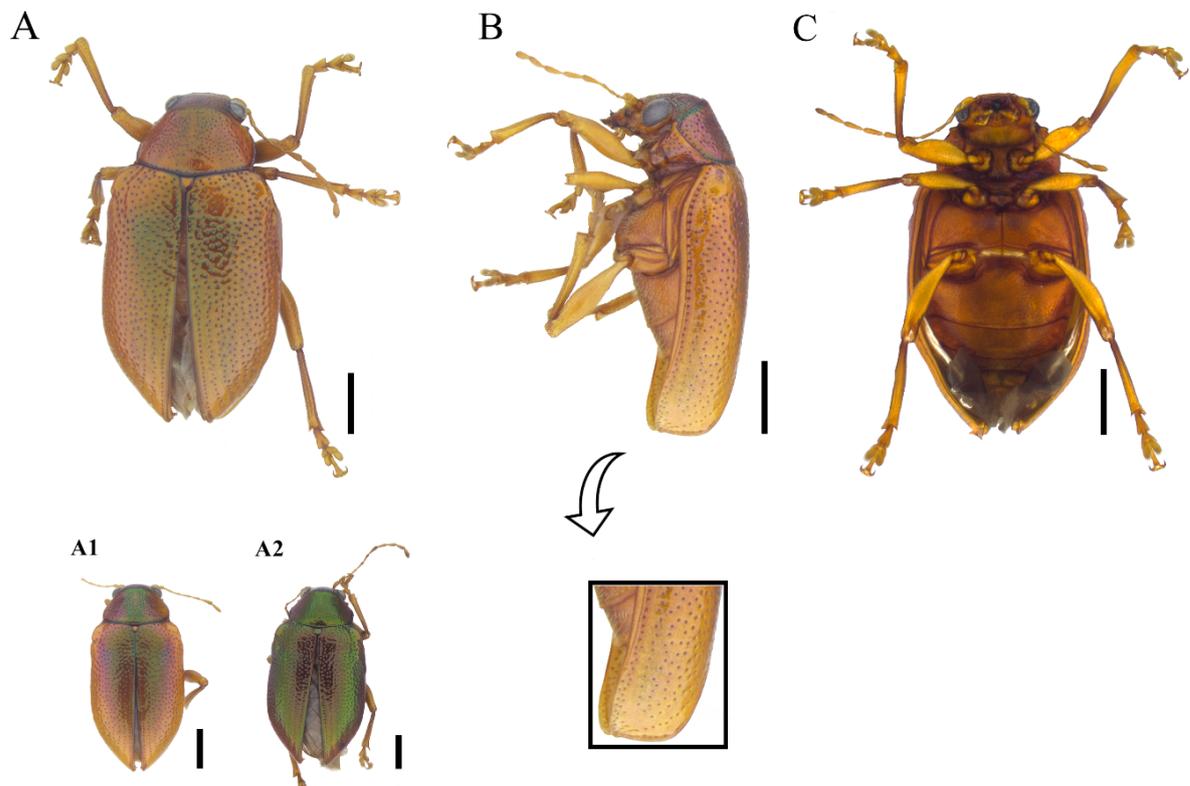


Figura 14. Vistas dorsal (A), lateral (B) e ventral (C) de *Eumolpinae* sp. 12 (Chrysomelidae). Variação de cor apresentada em A, A1 e A2. Ápice elitral truncado em vista lateral destacado em B. Barra de escala = 1 mm. Fonte: Autoria própria.

Onocephala obliquata (Figura 15)

Diagnose. Cor: Antena marrom amarelado; Tubérculos antenais, escapo, pedicelo e antenômeros III–IV cobertos com uma pubescência amarelo claro bastante densa. Tegumento marrom, completamente coberto por pubescência amarelo claro densa. Morfologia: Tamanho médio – 16,39 mm. Antena filiforme e

com tamanhos que variam de 1 a 2,5 vezes mais longa do que o comprimento do corpo. Pronoto cilíndrico, com uma faixa mediana longitudinal e escutelo pubescente. Úmero pronunciado, agudo e tuberculado. Base do élitro tuberculada e grandes tubérculos anteriores organizados em linhas sinuosas longitudinais. Élitro com macula lateral premediana amarelo claro (Fig. 15, destacado em A), alongada, estreita e oblíqua, que não atinge a margem do esterno (Fig. 15, destacado em B); élitro com duas faixas longitudinais amarelo claro de pubescência, dorsolateral, de origem pós mediana e pontuada ao longo do comprimento (Fig. 15, destacado em A).

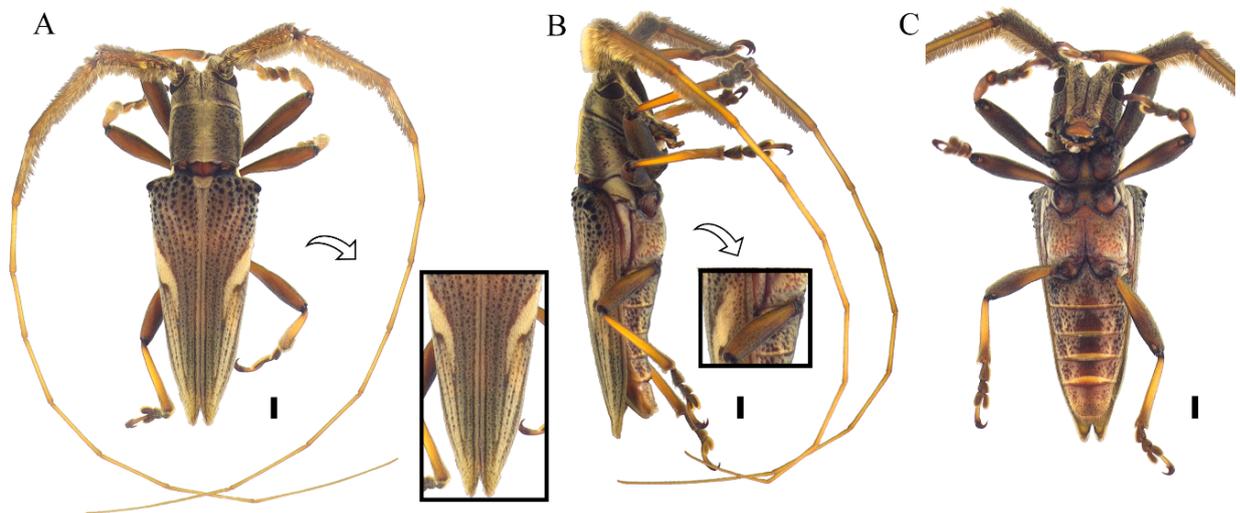


Figura 15. Vistas dorsal (A), lateral (B) e ventral (C) de *Onocephala obliquata* (Cerambycidae). Mácula elitral destacada em A e detalhamento da margem esternal em B. Barra de escala = 1 mm. Fonte: Autoria própria.

Photuris elliptica (Figura 16)

Diagnose. Cor: Cabeça e antena de marrom escuro a preto. Pronoto amarelado. Élitro de marrom escuro a preto. Pro e mesoesterno amarelos. Pro e mesocoxa amarelas. Pernas marrom escuro/preto, exceto os pro e mesofemor, com os 2/3 basais amarelos. Primeiros quatro segmentos ventrais abdominais de marrom escuro a preto. Morfologia: Tamanho médio – 13,39 mm. Antena filiforme. Olhos expostos na frente do pronoto. Pronoto semicircular, cobrindo a cabeça quase totalmente. Élitro arredondado, coberto com pubescência curta e fina (Fig. 16 A). Lanternas ocupando quase totalmente os esternos V e VI, com margem anterior reta e posterior um pouco arredondada; lanterna anterior maior que a posterior (Fig. 16 B).

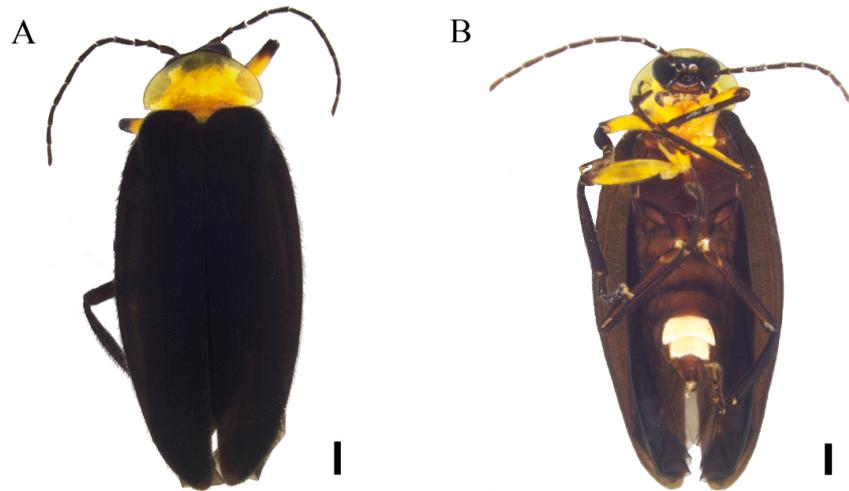


Figura 16. Vistas dorsal (A) e ventral (B) do vagalume *Photuris elliptica* (Lampyridae). Barra de escala = 1 mm. Fonte: Autoria própria.

Howdenia sp. 4 (Figura 17)

Diagnose. Cor: Cabeça marrom escura. Antena com XII antenômero, escape e antenômero II marrom amarelado, antenômeros III-XII marrons. Pronoto marrom escuro, completamente coberto com pubescência preta e densa. Élitro marrom escuro, com o úmero marrom amarelado, muito mais claro do que o élitro (Fig. 17, destacado em A). Tergitos e esternitos pretos, exceto pelos dois últimos segmentos amarelos. Pernas amarelas, exceto pela tibia e pelo tarso marrom amarelados, que são altamente pubescentes (Fig. 17 A; B). Morfologia: Tamanho médio – 5,11 mm. Antena biflabelada. Pronoto trapezoidal e mais estreito do que a distância umeral. Élitro curto, 3,5 vezes mais longo do que largo, afinado apicalmente.

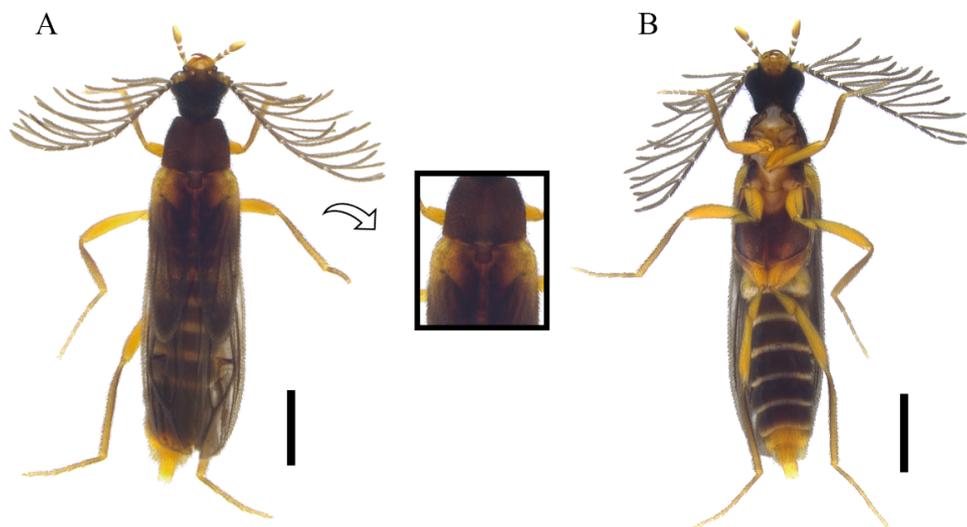


Figura 17. Vistas dorsal (A) e ventral (B) de *Howdenia sp. 4* (Phengodidae). Úmero muito mais claro do que o élitro destacado em A. Barra de escala = 1 mm. Fonte: Autoria própria.

6 Discussão

Neste estudo, foram analisadas espécies de seis grupos de Coleoptera, com base nos critérios selecionados, para sugerir os táxons mais adequados para atuar como bioindicadores dos efeitos das mudanças climáticas sobre montanhas da Mata Atlântica. Além disso, também foi sugerido um protocolo para o monitoramento de espécies de insetos nesse ambiente a fim de acompanhar possível mudanças na distribuição frente ao aumento da temperatura esperado. Foi observada uma redução na temperatura de cerca de 0,5 °C a cada 100 m em elevação, sendo este o primeiro trabalho a reportar dados sobre a variação de temperatura ao longo de um gradiente elevacional de 2100 m. Os resultados deste trabalho são discutidos tendo em vista os possíveis efeitos diretos e indiretos das mudanças climáticas sobre espécies de insetos tropicais em sistemas de montanhas, suas implicações para conservação e o uso potencial dos grupos estudados para monitorar mudanças ambientais.

Muitas das 272 espécies de Coleoptera coletadas são “singletons” e “doubletons” (46,32%), e poucas são muito abundantes, um padrão geral comumente observado em vários grupos de insetos em comunidades muito ricas, principalmente nos trópicos (NOVOTNY; BASSET, 2000). Várias explicações foram sugeridas para essa abundância desigual (McGILL *et al.*, 2007) e amostragem insuficiente é uma das hipóteses (NOVOTNY; BASSET, 2000). Entretanto, no presente trabalho três dos seis grupos de Coleoptera têm o número observado de espécies dentro do intervalo de confiança (Tabela 3; $p = 0,01$) e os outros três grupos, apesar de não poderem ser considerados mal amostrados, ainda podem ter muito mais espécies a serem coletadas do que os outros três grupos de Coleoptera estudados.

A falta de informação taxonômica e biogeográfica, conhecidas como lacunas Linneana e Wallaciana, respectivamente, são certamente importantes limitações na seleção e no uso de insetos como bioindicadores, assim como para fins de conservação (WHITTAKER *et al.*, 2005). Neste sentido, o presente estudo se destaca como um importante passo em direção a conhecer a diversa fauna de insetos tropicais e a sua aplicação como bioindicadores, especialmente no monitoramento dos efeitos de mudanças ambientais e na gestão da biodiversidade.

Cinco espécies de Coleoptera foram sugeridas como os melhores potenciais bioindicadores, tendo como base os critérios considerados neste estudo (veja a seção 4.4.3 dos Métodos). Apesar de três dessas cinco espécies não estarem identificadas ao nível de espécie, elas podem ser reconhecidas utilizando a diagnose apresentada no presente trabalho (veja a seção 5.5.4 dos Resultados) e as figuras fornecidas (Figs. 13; 14; 15; 16 e 17). Dos bioindicadores sugeridos, três espécies são de herbívoros (Eumolpinae sp. 11; Eumolpinae sp. 12 e *Onocephala obliquata*) e duas espécies são de predadores (*Photuris elliptica* e *Howdenia sp. 4*). Voight *et al.* (2003) encontraram que a sensibilidade às mudanças climáticas é maior em grupos tróficos mais altos ao analisar a média da variação temporal da abundância de espécies de artrópodes que é explicada pelo clima. Por outro lado, Macedo *et al.* (2016) observaram que, ao considerar a amplitude elevacional de distribuição das espécies, os insetos herbívoros tenderam a apresentar a amplitude mais restrita de distribuição ao longo de dois gradientes elevacionais no bioma Mata Atlântica, enquanto que os predadores apresentaram a maior amplitude, sugerindo que os herbívoros provavelmente são mais vulneráveis às mudanças climáticas do que os predadores. Entretanto, é importante enfatizar que dependendo das variáveis consideradas, diferentes grupos podem responder de maneira diferente aos efeitos das mudanças no ambiente (heterogeneidade de resposta entre os grupos).

O 5º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas projeta um aumento da temperatura média da superfície do ar nos trópicos de 0,9 a 2,3 °C (RCP 4.5) e de 2,2 a 4,4 °C (RCP 8.5) acima dos níveis pré-industriais até o final deste século (COLLINS *et al.*, 2013). Considerando as variações de temperatura projetadas de 2,3 °C (RCP 4.5) e 4,4 °C (RCP 8.5) até o final deste século e os dados de variação da temperatura ao longo do gradiente elevacional obtidos no presente trabalho, isso significaria uma alteração nas zonas bioclimáticas de 460 m e cerca de 880 m em elevação, respectivamente. Groot *et al.* (1995), apontam um padrão similar, sugerindo que um aumento de 3 °C na temperatura significaria uma alteração latitudinal de 600 km ou uma alteração elevacional de 600 m nas zonas bioclimáticas na Europa.

Espera-se que espécies tropicais sejam mais sensíveis a mudanças climáticas devido a sua história evolutiva, dadas as menores variações sazonais na

temperatura, com espécies vivendo em condições muito próximas aos seus limites inferior e superior de tolerância térmica (JANZEN, 1967; DEUTSCH *et al.*, 2008). Tendo em vista esses cenários e assumindo uma tolerância térmica restrita de organismos de montanhas tropicais (JANZEN, 1967; POLATO *et al.*, 2018), uma alteração das zonas bioclimáticas poderia resultar em um descompasso na distribuição das espécies e, conseqüentemente, nas interações entre as espécies (GROOT *et al.*, 1995; HUGHES, 2000; MENÉNDEZ, 2007; SHELDON, 2019). É importante ressaltar que no presente estudo foram consideradas apenas as distribuições das espécies e seu nicho climático, independentemente das interações entre os organismos, o que certamente afeta a distribuição das espécies (GROOT *et al.*, 1995; HUGHES, 2000; WALTHER *et al.*, 2002; MENÉNDEZ, 2007; SHELDON, 2019). Essa é a abordagem mais comum (SHELDON, 2019), mas é esperado que com o aumento das informações sobre a biologia das espécies estudadas, essas variáveis possam ser incluídas nos modelos para fazer projeções mais acuradas.

Dentro desta abordagem, um dos principais pontos é se as espécies serão capazes de acompanhar as alterações na amplitude das zonas bioclimáticas e, em caso positivo, algumas considerações podem ser feitas. Ao usar como exemplo a espécie *Eumolpinae sp. 12* sugerida como bioindicador, um novo aumento de 2,3 °C (RCP 4.5) na temperatura até o final do século, significaria um deslocamento de 460 m para cima em sua distribuição. Considerando que *Eumolpinae sp. 12* é restrita aos campos de altitude, a espécie seria considerada localmente extinta, uma vez que não haveria o hábitat da elevação necessária em seu ótimo de temperatura. Neste cenário, os campos de altitude e as espécies restritas a essa fitofisionomia parecem particularmente ameaçadas pelas mudanças climáticas, especialmente se sua amplitude elevacional de distribuição é restrita, como apontado por Macedo *et al.* (2016).

Exemplificando outra espécie sugerida como bioindicador, *Howdenia sp. 4*, com distribuição que vai de 1250 m até 1810 m no gradiente elevacional, um novo aumento de 2,3 °C (RCP 4.5) significaria que a espécie provavelmente teria um novo limite inferior de distribuição em aproximadamente 1710 m. A espécie poderia também ter o seu limite superior de distribuição elevado em 460 m. Entretanto, se os campos de altitude forem considerados uma fitofisionomia limitada não somente

pelas condições climáticas, mas também por outras variáveis como o solo, por exemplo (VASCONCELOS, 2011), as espécies não seriam capazes de ultrapassar facilmente os ~2000 m, resultando em uma amplitude elevacional restrita. A situação é ainda pior se for considerado um aumento de 4,4 °C até o final do século, como projetado pelo RCP 8.5. Neste cenário, *Howdenia sp. 4* teria o seu limite inferior de distribuição alterado para aproximadamente 2130 m, o que significa que a espécie se tornará localmente extinta caso não seja capaz de colonizar os campos de altitude.

Então, os bioindicadores abundantes e com distribuição restrita sugeridos poderiam responder rapidamente a um aumento na temperatura, e a resposta observada, caso monitorada, poderia permitir a tomada de decisão sobre o que fazer para mitigar os impactos do aumento da temperatura. Para além da relevância de sugerir espécies como bioindicadores e descrever a amplitude elevacional dos grupos de besouros, o que é importante para rastrear a resposta biótica a variações na temperatura, a descrição da temperatura ao longo do gradiente *per se* permite quantificar o aumento da temperatura localmente.

Alguns estudos sugerem que a tolerância de espécies de insetos a variações de temperatura é uma característica de plasticidade fenotípica e evolução limitadas (e.g. GARCÍA-ROBLEDO *et al.*, 2016). García-Robledo *et al.* (2016) observaram que espécies das regiões mais quentes da montanha (base da montanha - vegetação de floresta baixo-montana), apresentam uma maior tolerância ao aumento da temperatura do que aquelas de maiores elevações. Neste sentido, a importância da capacidade adaptativa de espécies de topo de montanha se torna evidente. Entretanto, é importante enfatizar que alterações na amplitude de distribuição das espécies não são as únicas consequências possíveis das mudanças climáticas sobre a biota em montanhas. Mudanças nas interações entre as espécies, abundância, fenologia, ciclo de vida, mudanças na comunidade, extinção local e global, e respostas evolutivas também podem ser esperadas (GROOT *et al.*, 1995; HUGHES, 2000; WALTHER *et al.*, 2002; PARMESAN, 2006; MENÉNDEZ, 2007; SHELDON, 2019).

Em contrapartida, estudos recentes sobre a tolerância de espécies a variações na temperatura mostram que o limite térmico superior das espécies de

gradientes elevacionais não declinam com o aumento da elevação como acontece com o limite térmico inferior (SUNDAY *et al.*, 2019). Contudo, os autores discutem que essa tendência pode estar relacionada com as maiores amplitudes de distribuição apresentadas pelas espécies de ectotérmicos terrestres do conjunto de dados utilizado, as quais podem, conseqüentemente, não ser localmente adaptadas as elevações nas quais elas foram coletadas. Ao contrário disso, o presente estudo incluiu diversas espécies com distribuição mais restrita, tornando mais provável que as espécies dos pontos mais altos apresentem uma menor tolerância ao aumento de temperatura, como observado por García-Robledo *et al.* (2016).

Apesar de apenas um transecto ter sido amostrado no presente estudo, havia duas armadilhas em cada elevação, aumentando as chances de amostrar diferentes microhabitats. Além disso, os resultados deste trabalho foram extrapolados de espécies para níveis taxonômicos mais altos (*e.g.* gênero, subfamília) ao discutir abaixo os bioindicadores sugeridos.

Embora a distribuição geográfica de algumas espécies estudadas ser potencialmente restrita à Mata Atlântica da região Sudeste brasileira, ou até mesmo à região montanhosa da Serra do Mar, algumas considerações gerais podem ser discutidas em relação aos níveis taxonômicos mais altos. Os Eumolpinae (Chrysomelidae) foram o grupo com a menor amplitude elevacional média (Fig. 6) e o maior número de espécies restritas aos campos de altitude. Então, esse grupo pode ser considerado adequado para monitorar os efeitos das mudanças climáticas, particularmente nos campos de altitude.

Os Lampyridae também apresentaram uma amplitude elevacional relativamente pequena, sugerindo que este grupo também pode ser incluído como um grupo de interesse relevante ao projetar um programa de monitoramento. Como algumas espécies dessa família já foram anteriormente sugeridas como potenciais bioindicadores de poluição luminosa e impactos ambientais (*e.g.* VIVIANI *et al.*, 2010), outras mudanças ambientais também podem ser estudadas ao coletar Lampyridae. Esse grupo de besouros de corpo mole é particularmente interessante pois muitas espécies possuem baixa capacidade de dispersão (Cicero, 1988), o que as torna mais sensíveis a variações na temperatura e umidade.

Apesar dos Carabidae serem amplamente utilizados para indicar alterações do hábitat e serem possivelmente adequados como bioindicadores ambientais e ecológicos (RAINIO; NIEMELÄ, 2003; KOIVULA, 2011; GERLACH *et al.*, 2013), nenhuma espécie do presente trabalho foi considerada adequada para o monitoramento dos efeitos das mudanças climáticas em montanhas. Isso porque as espécies de Carabidae que atenderam ao critério de abundância apresentaram amplitude elevacional muito grande.

7 Conclusão

A presente abordagem tem algumas limitações mencionadas anteriormente, mas oferece informações importantes sobre a variação de temperatura regional em um gradiente elevacional e para o monitoramento das respostas da biota de insetos às mudanças climáticas na região tropical, usando armadilhas Malaise. Dentre os seis grupos de besouros analisados, Eumolpinae e Lampyridae apresentaram as menores amplitudes elevacionais de distribuição, o que sugere uma maior especialização e, conseqüentemente, uma maior sensibilidade a variações de temperatura. Esses grupos, portanto, podem ser destacados como grupos de interesse relevante para o monitoramento dos efeitos das mudanças climáticas sobre a biota de insetos em montanhas tropicais. Além disso, os Eumolpinae ainda se destacam para o monitoramento especificamente nos campos de altitude e se encontram extremamente vulneráveis ao aumento de temperatura.

Este trabalho representa uma grande contribuição, uma vez que apresenta uma lista de espécies, juntamente com sua distribuição atual e as condições de temperatura na qual vivem, que podem ser monitorados ao longo do tempo. Cinco espécies foram selecionadas como potenciais bioindicadores considerando a abundância e amplitude de distribuição (mais restritas). Três dessas não estão identificadas ao nível de espécie, mas são apresentadas fotos e uma diagnose detalhada para auxiliar na identificação e monitoramento. Espécies podem ser removidas ou adicionadas conforme o programa de monitoramento continue, uma vez que novas informações sobre sua biologia e facilidade de reconhecimento estejam disponíveis.

As armadilhas Malaise foram efetivas na amostragem dos dois grupos de besouros mais especializados elevacionalmente (Eumolpinae e Lampyridae). Além disso, são baratas e de fácil manutenção. Nesse sentido, o seu uso é recomendado para monitorar os efeitos das mudanças climáticas sobre a biota de insetos, especialmente em ambientes de montanha, onde o acesso pode ser complicado. O uso de outros métodos de coleta pode apresentar diferenças nos padrões de riqueza, abundância e distribuição daquele visto com Malaise. Entretanto, caso se opte por usar outro método de coleta ou uma combinação de diferentes métodos, um estudo preliminar da especialização elevacional do grupo focal deve ser

conduzido para fins de monitoramento, independente do grupo avaliado.

Recomenda-se que um programa de monitoramento de longo prazo seja conduzido no Parque Nacional da Serra dos Órgãos para permitir um melhor entendimento dos efeitos das mudanças climáticas em espécies de insetos de montanhas de florestas tropicais. Assim, o protocolo de monitoramento e os bioindicadores sugeridos no presente trabalho podem servir como base para estudos futuros, contribuindo para a gestão da biodiversidade e conservação dos sistemas em áreas de montanha.

Referências

- ALMEIDA-NETO, M.; MACHADO, G.; PINTO-DA-ROCHA, R.; GIARETTA, A. A. Harvestman (Arachnida: Opiliones) species distribution along three Neotropical elevational gradients: An alternative rescue effect to explain Rapoport's rule? *Journal of Biogeography*, v. 33, n. 2, p. 361-375, 2006.
- BALE, J. S.; MASTERS, G. J.; HODKINSON, I. D.; AWMACK, C.; BEZEMER, T. M.; BROWN, V. K.; BUTTERFIELD, J.; BUSE, A.; COULSON, J. C.; FARRAR, J.; GOOD, J. E. G.; HARRINGTON, R.; HARTLEY, S.; JONES, T. H.; LINDORTH, R. L.; PRESS, M. C.; SYMRNIODIS, I.; WATT, A. D.; WHITTAKER, J. B. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, v. 8, p. 1–16, 2002.
- BELLARD, C.; BERTELSMEIER, C.; LEADLEY, P.; THUILLER, W.; COURCHAMP, F. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, v. 15, p. 365–377, 2012.
- BELLARD, C.; LECLERC, C.; LEROY, B.; BAKKENES, M.; VELOZ, S.; THUILLER, W.; COURCHAMP, F. Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. *Global Ecology and Biogeography*, v. 23, p.1376–1386, 2014.
- BOUCHARD, P.; SMITH, A. B. T.; DOUGLAS, H.; GIMMEL, M. L.; BRUNKE, A. J.; KANDA, K. Biodiversity of Coleoptera. *Insect Biodiversity*, p. 337–417, 2017.
- BOUZAN, A. M.; FLINTE, V.; MACEDO, M. V.; MONTEIRO, R. F. Elevation and temporal distributions of Chrysomelidae in southeast Brazil with emphasis on the Galerucinae. *ZooKeys*, n. 547, p. 103–117, 2015.
- BROWN JR., K. S. The use of insects in the study, inventory, conservation and monitoring of biological diversity in the Neotropics, in relation to land use models. In: AE, S. A. *et al.* (Eds.), *Decline and Conservation of Butterflies in Japan*, III. Lepidopterological Society of Japan, Osaka, p. 128–149, 1996.
- BROWN JR., K. S. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. *Journal of Insect Conservation*, v. 1, n. 1, p.25-42, 1997.
- BURGER, J. Bioindicators: types, development, and use in ecological assessment and research. *Environmental Bioindicators*, v. 1, n. 1, p. 22-39, 2006.
- CASARI, S. A.; IDE, S. Coleoptera Linnaeus, 1758. In: RAFAEL, J. A. *et al.* (eds.). *Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia*. Holos Editora, p. 454 – 535, 2012.
- CASTRO E. B. V. Plano de manejo do Parque Nacional da Serra dos Órgãos. ICMBio, Brasília, Brazil, 90 pp., 2008.
- CHAO, A. “Nonparametric estimation of number of classes in a population.” *Scandinavian Journal of Statistics*, v. 11, p. 265-275, 1984.
- CHAO, A.; LEE, S. M. Estimating the Number of Classes via Sample Coverage.

- Journal of the American Statistical Association, v. 87, p. 210-217, 1992.
- CHEN, I-C.; SHIU, H-J.; BENEDICK, S.; HOLLOWAY, J. D.; CHEY, V. K.; BARLOW, H. S.; HILL, J. K.; THOMAS, C. D. Elevation increases in moth assemblages over 42 years on a tropical mountain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 106, n. 5, p. 1479-1483, 2009.
- CICERO, J. M. Onthophylogenetics of cantharoid larviforms (Coleoptera: Catharoidea). *The Coleopterists' Bulletin*, v. 42, n. 2, p. 105-151, 1988.
- COLLINS, M.; KNUTTI, R.; ARBLASTER, J.; DUFRESNE, J. L.; FICHEFET, T.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GAO, X.; GUTOWSKI, W. J.; JOHNS, T.; KRINNER, G.; SHONGWE, M.; TEBALDI, C.; WEAVER, A. J.; WEHNER, M. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (eds.) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.
- CORLETT, R. T.; PRIMACK, R. B. *Tropical rain forests: an ecological and biogeographical comparison*. John Wiley & Sons, 2011.
- DERRAIK, J. G.; CLOSS, G. P.; DICKINSON, K. J.; SIRVID, P.; BARRATT, B. I.; PATRICK, B. H. Arthropod morphospecies versus taxonomic species: a case study with Araneae, Coleoptera, and Lepidoptera. *Conservation Biology*, v. 16, p. 1015–1023, 2002.
- DEUTSCH, C. A.; TEWKSBURY, J. J.; HUEY, R. B.; SHELDON, K. S.; GHALAMBOR, C. K.; HAAK, D. C.; MARTIN, P. R. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 105, p. 6668–6672, 2008.
- EPSTEIN, P. R.; DIAZ, H. F.; ELIAS, S.; GRABHERR, G.; GRAHAM, N. E.; MARTENS, W. J. M.; MOSLEY-THOMPSON, E.; SUSSKIND, J. Biological and physical signs of climate change: focus on mosquito-borne diseases. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 79, n. 3, p. 409-418, 1998.
- FADRIQUE, B.; BÁEZ, S.; DUQUE, A.; MALIZIA, A.; BLUNDO, C.; CARILLA, J.; OSINAGA-ACOSTA, O.; MALIZIA, L.; SILMAN, M.; FURFÁN-RÍOS, W.; MALHI, Y.; YOUNG, K. R.; CUESTA, F.; HOMEIER, J.; PERALVO, M.; PINTO, E.; JADAN, O.; AGUIRRE, N.; AGUIRRE, Z.; FEELEY, K. J. Widespread but heterogeneous responses of Andean forests to climate change. *Nature*, v. 564, n. 7735, p. 207-212, 2018.
- FEELEY, K. J.; STROUD, J. T.; PEREZ, T. M. Most 'global' reviews of species' responses to climate change are not truly global. *Diversity and Distributions*, v. 23, n. 3, p. 231-234, 2017.
- FLINTE, V.; HENTZ, E.; MORGADO, B. M.; LIMA, A. C. M.; KHATTAR, G.; MONTEIRO, R. F.; MACEDO, M. V. Biology and phenology of three leaf beetle species (Chrysomelidae) in a montane forest in southeast Brazil. In: JOLIVET, P.;

- SANTIAGO-BLAY, J.; SCHMITT, M. (Ed.) Research on Chrysomelidae 5. ZooKeys, v. 547, p. 119–132, 2015.
- FORERO-MEDINA, G.; TERBORGH, J.; SOCOLAR, S. J.; PIMM, S. L. Elevational ranges of birds on a tropical montane gradient lag behind warming temperatures. PLoS One, v. 6, n. 12, 5 p., 2011.
- FORISTER, M. L.; NOVOTNY, V.; PANORSKA, A. K.; BAJE, L.; BASSET, Y.; BUTTERILL, P. L.; CIZEK, L.; COLEY, P. D.; DEM, F.; R. DINIZ, I. R.; DROZD, P.; FOX, M.; GLASSMIRE, A. E.; HAZEN, R.; HRCEK, J.; JAHNER, J. P.; KAMAN, O.; KOZUBOWSKI, T. J.; KURSAR, T. A.; LEWIS, O. T.; LILL, J.; MARQUIS, R. J.; MILLER, S. E.; MORAIS, H. C.; MURAKAMI, M.; NICKEL, H.; PARDIKES, N. A.; RICKLEFS, R. E.; SINGER, M. S.; SMILANICH, A. M.; STIREMAN, J. O.; VILLAMARÍN-CORTEZ, S.; VODKA, S.; VOLF, M.; WAGNER, D. L.; WALLA, T.; WEIBLEN, G. D.; DYER, L. A. The global distribution of diet breadth in insect herbivores. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 112, n. 2, p.442-447, 2015.
- FREEMAN, B. G.; FREEMAN, A. M. C. Rapid upslope shifts in New Guinean birds illustrate strong distributional responses of tropical montane species to global warming. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 111, n. 12, p. 4490-4494, 2014.
- FREEMAN, B. G.; SCHOLER, M. N.; RUIZ-GUTIERREZ, V.; FITZPATRICK, J. W. Climate change causes upslope shifts and mountaintop extirpations in a tropical bird community. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 115, n. 47, p. 11982-11987, 2018.
- GARCÍA-ROBLEDO, C.; KUPREWICZ, E. K.; STAINES, C. L.; ERWIN, T. L.; KRESS, W. J. Limited tolerance by insects to high temperatures across tropical elevational gradients and the implications of global warming for extinction. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 113, n. 3, p. 680–685, 2016.
- GERLACH, J.; SAMWAYS, M.; PRYKE, J. Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. Journal of Insect Conservation, v. 17, n. 4, p. 831–850, 2013.
- GRIMM, N. B.; CHAPIN III, F. S.; BIERWAGEN, B.; GONZALEZ, P.; GROFFMAN, P. M.; LUO, Y.; MELTON, F.; NADELHOFFER, K.; PAIRIS, A.; RAYMOND, P. A.; SCHIMEL, J.; WILLIAMSON, C. E. The impacts of climate change on ecosystem structure and function. Frontiers in Ecology and the Environment, v. 11, n. 9, p. 474–82, 2013.
- GROOT, R. S.; KETNER, P.; OVAAH, A. H. Selection and use of bio-indicators to assess the possible effects of climate change in Europe. Journal of Biogeography, v. 22, p. 935-943, 1995.
- GRYTNES, A. J.; VEETAS, R. O. Species richness and altitude: A comparison between null models and interpolated plant species richness along the Himalayan altitudinal gradient Nepal. The American Naturalist, v. 159, n. 3, p. 294-304, 2002.

- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, v. 4, n. 1, 9 pp., 2001.
- HODKINSON, I. D. Terrestrial insects along elevation gradients: species and community responses to altitude. *Biological Reviews*, v. 80, n. 3, p. 489–513, 2005.
- HODKINSON, I. D.; JACKSON, J. K. Terrestrial and aquatic invertebrates as bioindicators for environmental monitoring, with particular reference to mountain ecosystems. *Environmental Management*, v. 35, p. 649–666, 2005.
- HOLT, E. A.; MILLER, S. W. Bioindicators: using organisms to measure environmental impacts. *Nature*, v. 3, n. 10, p. 8–13, 2010.
- HUGHES, L. Biological consequences of globalwarming: Is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution*, v. 15, p. 56–61, 2000.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Geneva, Switzerland, 2014. 138 p.
- JANZEN, D. H. Why mountain passes are higher in the tropics. *The American Naturalist*, v. 101, n. 919, p. 233-249, 1967.
- KOIVULA, M. Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) reflecting environmental conditions. *ZooKeys*, v. 100, p. 287-317, 2011.
- LAURANCE, W. F.; USECHE, D. C.; SHOO, L. P.; HERZOG, S. K.; KESSLER, M.; ESCOBAR, F.; BREHM, G.; AXMACHER, J. C.; CHEN, I. C.; ARELLANO GAMEZ, L.; HIETZ, P.; FIEDLER, K.; PYRCZ, T.; WOLF, J.; MERKORD, C. L.; CARDELUS, C.; MARSHALL, A. R.; AH-PENG, C.; APLET, G. H.; DEL CORO ARIZMENDI, M.; BAKER, W. J.; BARONE, J.; BRUEHL, C. A.; BUSSMANN, R.; CICUZZA, D.; EILU, G.; FAVILA, M. E.; HEMP, A.; HEMP, C.; HOMEIER, J.; HURTADO, J.; JANKOWSKI, J.; KATTAN, G.; KLUGE, J.; KROEMER, T.; LEES, D. C.; LEHNERT, M.; LONGINO, J. T.; LOVETT, J.; MARTIN, P. H.; PATTERSON, B. D.; PEARSON, R. G.; PEH, K. S. H.; RICHARDSON, B.; RICHARDSON, M.; SAMWAYS, M. J.; SENBETA, F.; SMITH, T. B.; UTTERIDGE, T. M. A.; WATKINS, J. E.; WILSON, R.; WILLIAMS, S. E.; THOMAS, C. D. Global warming, elevational ranges and the vulnerability of tropical biota. *Biological Conservation*, v. 144, p. 548–557, 2011.
- LEGG, C. J.; NAGY, L. Why most conservation monitoring is, but need not be, a waste of time. *Journal of environmental management*, v. 78, n. 2, p.194-199, 2006.
- LISTER, B. C.; GARCIA, A. Climate-driven declines in arthropod abundance restructure a rainforest food web. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 115, n. 44, p. E10397-E10406, 2018.
- MACEDO, M. V.; FLINTE, V.; ARAUJO, C. O.; SILVEIRA, L. F. L.; BOUZAN, A. M.; DUFRAYER, R.; VIANA, J. H.; ARAUJO, R. O.; HENTZ, E.; MONTEIRO, R. F.

Elevational ranges and local extinction risk of beetles occurring in the 'Campos de Altitude' in southeastern Brazil. *Oecologia Australis*, v. 20, p. 121–132, 2016.

- MACEDO M. V.; MONTEIRO, R. F.; FLINTE, V.; ALMEIDA-NETO, M.; KHATTAR, G.; SILVEIRA, L. F. L.; ARAÚJO, C. O.; ARAÚJO, R.; COLARES, C.; GOMES, C. V. S.; MENDES, C. B.; SANTOS, E. F.; MAYHEW, P. J. Insect elevational specialization in a tropical biodiversity hotspot. *Insect Conservation and Diversity*, v. 11, n. 3, p. 240-254, 2018.
- MARTINELLI, G. Mountain biodiversity in Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 30, n. 4, p. 587-597, 2007.
- McGEOCH, M. A. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, v. 73, p. 181–201, 1998.
- McGEOCH, M. A.; CHOWN, S. L. Scaling up the value of bioindicators. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 13, n. 2, p. 46-47, 1998.
- McGEOCH, M. A.; SITHOLE, H.; SAMWAYS, M. J.; SIMAIKA, J. P.; PRYKE, J. S.; PICKER, M.; UYS, C.; ARMSTRONG, A. J.; DIPPENAAR-SCHOEMAN, A. S.; ENGELBRECHT, I. A. Conservation and monitoring of invertebrates in terrestrial protected areas. *Koedoe*, v. 53, n. 2, p.131-143, 2011.
- McGILL, B. J.; ETIENNE, R. S.; GRAY, J. S.; ALONSO, D.; ANDERSON, M. J.; BENECHA, H. K.; DORNELAS, M.; ENQUIST, B. J.; GREEN, J. L.; HE, F.; HURLBERT, A. H.; MAGURRAN, A. E.; MARQUET, P. A.; MAURER, B. A.; OSTLING, A.; SOYKAN, C. U.; UGLAND, K. I.; WHITE, E. P. Species abundance distributions: moving beyond single prediction theories to integration within an ecological framework. *Ecology letters*, v. 10, n. 10, p. 995-1015, 2007.
- MENÉNDEZ, R. How are insects responding to global warming? *Tijdschrift voor Entomologie*, v. 150, p. 355–65, 2007.
- MENÉNDEZ, R.; GONZÁLEZ-MEGÍAS, A.; JAY-ROBERT, P.; MARQUÉZ-FERRANDO, R. Climate change and elevational range shifts: Evidence from dung beetles in two European mountain ranges. *Global Ecology and Biogeography*, v. 23, p. 646–657, 2014.
- MITTERMEIER, C. G.; TURNER, W. R.; LARSEN, F. W.; BROOKS, T. M.; GASCON, C. Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots. In: ZACHOS, F. E.; HABEL, J. C. (Eds.) *Biodiversity Hotspots: Distribution and Protection of Priority Conservation Areas*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 3–22, 2011.
- MORUETA-HOLME, N.; ENGEMANN, K.; SANDOVAL-ACUÑA, P.; JONAS, J. D.; SEGNIETZ, R. M.; SVENNING, J-C. Strong upslope shifts in Chimborazo's vegetation over two centuries since Humboldt. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 112, n. 41, p. 12741-12745, 2015.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2000.

- NIELSEN, E. S.; MOUND, L. A. Global diversity of insects: the problems of estimating numbers. In: RAVEN, P. H. editor, editor/s. *Nature and Human Society: the quest for a sustainable world*. Washington, D.C.: National Academy Press, p. 213-222, 2000.
- NOVOTNÝ, V.; BASSET, Y. Rare species in communities of tropical insect herbivores: pondering the mystery of singletons. *Oikos*, v. 89, n. 3, p. 564-572, 2000.
- OLIVEIRA, M. A. D.; GOMES, C. F. F.; PIRES, E. M.; MARINHO, C. G. S.; DELLALUCIA, T. M. C. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. *Revista Ceres*, v. 61, p. 800-807, 2014.
- OLIVER, I.; BEATTIE, A. J. Invertebrate morphospecies as surrogates for species: a case study. *Conservation Biology*, v. 10, n. 1, p. 99-109, 1996.
- PAPAVERO, N. *Fundamentos práticos de taxonomia zoológica*. São Paulo: Editora Unesp, 1994. 285 p.
- PARMESAN, C. Climate and species' range. *Nature*, v. 382, p. 765-766, 1996.
- PARMESAN, C. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, v. 399, n. 6736, p. 579-583, 1999.
- PARMESAN, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, v. 37, p. 637-669, 2006.
- PEPIN, N.; BRADLEY, R. S.; DIAZ, H. F.; BARAER, M.; CACERES, E. B.; FORSYTHE, N.; FOWLER, H.; GREENWOOD, G.; HASHMI, M. Z.; LIU, X. D.; MILLER, J. R.; NING, L.; OHMURA, A.; PALAZZI, E.; RANGWALA, I.; SCHÖNER, W.; SEVERSKIY, I.; SHAHGEDANOVA, M.; WANG, M. B.; WILLIAMSON, S. N.; YANG, D. Q. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change*, v. 5, p. 424-430, 2015.
- POLATO, N. R.; GILL, B. A.; SHAH, A. A.; GRAY, M. M.; CASNER, K. L.; BARTHELET, A.; MESSER, P. W.; SIMMONS, M. P.; GUAYASAMIN, J. M.; ENCALADA, A. C.; KONDRATIEFF, B. C.; FLECKER, A. S.; THOMAS, S. A.; GHALAMBOR, C. K.; POFF, N. L.; FUNK, W. C.; ZAMUDIO, K. R. Narrow thermal tolerance and low dispersal drive higher speciation in tropical mountains. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 115, n 49, p. 12471-12476, 2018.
- POUNDS, J. A.; FOGDEN, M. P.; CAMPBELL, J. H. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*, v. 398, n. 6728, p.611-615, 1999.
- RAFAEL, J. A. A amostragem. Protocolo e técnicas de captura de Diptera. In: COSTA, C.; VANIN, S. A.; LOBO, J. M.; MELIC, A. (Eds.) *Proyecto de red iberoamericana de biogeografía y entomología sistemática: PRIBES*. Zaragoza: Sociedade Entomológica Aragonesa, v.2, p.301-304, 2002. Disponível em: http://sea-entomologia.org/PDF/M3M_PRIBES_2002/301_304_Albertino.pdf. Acesso em: 22 jan. 2020.

- RAHBEK, C.; BORREGAARD, M. K.; COLWELL, R. K.; DALSGAARD, B.; HOLT, B. G.; MORUETA-HOLME, N.; NOGUES-BRAVO, D.; WHITTAKER, R. J.; FJELDSÅ, J. Humboldt's enigma: What causes global patterns of mountain biodiversity? *Science*, n. 365, v. 6458, p.1108-1113, 2019a.
- RAHBEK, C.; BORREGAARD, M. K.; ANTONELLI, A.; COLWELL, R. K.; HOLT, B. G.; NOGUES-BRAVO, D.; RASMUSSEN, C. M. Ø.; RICHARDSON, K.; ROSING, M. T.; WHITTAKER, R. J.; FJELDSÅ, J. Building mountain biodiversity: Geological and evolutionary processes. *Science*, v. 365, n. 6458, p.1114-1119, 2019b.
- RAINIO, J.; NIEMELÄ, J. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and Conservation*, v. 12, n. 3, p. 487-506, 2003.
- RAXWORTHY, C. J.; PEARSON, R. G.; RABIBISOA, N.; RAKOTONDRAZAFY, A. M.; RAMANAMANJATO, J-B.; RASELIMANANA, A. P.; SHENGHAI, W.; NUSSBAUM, R.; STONE, D. Extinction vulnerability of tropical montane endemism from warming and upslope displacement: a preliminary appraisal for the highest massif in Madagascar. *Global Change Biology*, v. 14, n. 8, p.1703-1720, 2008.
- RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, v. 142, p.1141–1153, 2009.
- RIZZINI, C. T. Flora Organensis: lista preliminar das Cormophyta da Serra dos Órgãos. *Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro*, v. 13, p. 115-259, 1954.
- ROHDE, K. Latitudinal gradients in species diversity: the search for the primary cause. *Oikos*, p.514-527, 1992.
- ROOT, T. L.; PRICE, J. T.; HALL, K. R.; SCHNEIDER, C. R.; POUNDS, J. A. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, v. 421, p. 57–60, 2003.
- SÁNCHEZ-REYES, U. J.; NIÑO-MALDONADO, S.; JONES, R. W. Diversity and altitudinal distribution of Chrysomelidae (Coleoptera) in Peregrina Canyon, Tamaulipas, Mexico. *ZooKeys*, n. 417, p. 103, 2014.
- SÁNCHEZ-REYES, U. J.; NIÑO-MALDONADO, S.; BARRIENTOS-LOZANO, L.; CLARK, S. M.; JONES, R. W. Faunistic patterns of leaf beetles (Coleoptera, Chrysomelidae) within elevational and temporal gradients in Sierra de San Carlos, Mexico. *ZooKeys*, n. 611, p. 11, 2016.
- SCARANO, F. R.; CEOTTO, P. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. *Biodiversity Conservation*, v. 24, p. 2319–2331, 2015.
- SENGUPTA, S. What was said at Davos on climate change? New York: The New York Times International Edition, Section A, p. 8, 2020. Disponível em: <http://www.nytimes.com/2020/01/27/business/energy-environment/davos-climate-change-solutions.amp.html>. Acesso em: 31 jan. 2020.

- SHELDON, K. S. Climate Change in the Tropics: Ecological and Evolutionary Responses as Low Latitudes. *Annual Reviews of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 50, p. 303–333, 2019.
- SIDDIG, A. A.; ELLISON, A. M.; OCHS, A.; VILLAR-LEEMAN, C.; LAU, M. K. How do ecologists select and use indicator species to monitor ecological change? Insights from 14 years of publication in *Ecological Indicators*. *Ecological Indicators*, v. 60, p. 223-230, 2016.
- SILVEIRA, L. F. L.; MERMUDES, J. R. M. A new tropical montane firefly genus and species, active during winter and endemic to the southeastern Atlantic Rainforest (Coleoptera: Lampyridae). *Zootaxa*, v. 4221, n. 2, p. 205-214, 2017.
- SMITH, E. P.; VAN BELLE, G. "Nonparametrics Estimation of Species Richness." *Biometrics*, v. 40, p. 119-129, 1984.
- SUNDAY, J.; BENNET, J. M.; CALOSI, P.; CLUSELLA-TRULLAS, S.; GRAVEL, S.; HARGREAVES, A. L.; LEIVA, F. P.; VERBERK, W. C. E. P.; OLALLA-TÁRRAGA, M. A.; MORALES-CASTILLA, I. Thermal tolerance patterns across latitude and elevation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 374, n. 1778, 10 p., 2019.
- TOWNES, H. A light-weight Malaise trap. *Entomological news*, v. 83, n. 9, p. 239-247, 1972.
- UEHARA-PRADO, M.; FERNANDES, J. O.; BELLO, A.; MACHADO, G.; SANTOS, A.; VAZ-DE-MELLO, F.; FREITAS, A. Selecting terrestrial arthropods as indicators of small-scale disturbance: A first approach in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, p. 1220-1228, 2009.
- VASCONCELOS, M. F. D. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil? *Brazilian Journal of Botany*, v. 34, n. 2, p. 241–246, 2011.
- VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. IBGE, Rio de Janeiro, Brazil, 124 p., 1991.
- VIVIANI, V. R.; ROCHA, M. Y.; HAGEN, O. Bioluminescent beetles (Coleoptera: Elateroidea: Lampyridae, Phengodidae, Elateridae) in the municipalities of Campinas, Sorocaba-Votorantim and Rio Claro-Limeira (SP, Brazil): biodiversity and influence of urban sprawl. *Biota Neotropica*, v. 10, n. 2, p. 103-116, 2010.
- VOIGT, W.; PERNER, J.; DAVIS, A. J.; EGGERS, T.; SCHUMACHER, J.; BÄHRMANN, R.; FABIAN, B.; HEINRICH, W.; KOHLER, G.; LICHTER, D.; MARSTALLER, R.; SANDER, F. W. Trophic levels are differentially sensitive to climate. *Ecology*, v. 84, p. 2444–2453, 2003.
- WALTHER, G. R.; POST, E.; CONVEY, P.; MENZEL, A.; PARMESAN, C.; BEEBEE, T. J. C.; FROMENTIN, J. M.; HOEGH-GUIDBERG, O.; BAIRLEIN, F. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, v. 416, p. 389-395, 2002.

- WANG, J. P. SPECIES: An R Package for Species Richness Estimation. *Journal of Statistical Software*, v. 40, n. 9, p. 1-15, 2011. URL: <http://www.jstatsoft.org/v40/i09/>.
- WILSON, R.; DAVIES, Z.; THOMAS, C. Insects and Climate Change: Processes, Patterns and Implications for Conservation. *Insect Conservation Biology: Proceedings of the Royal Entomological Society's 23rd Symposium*, p. 245–279, 2007.
- WHITTAKER, R. J.; ARAÚJO, M. B.; JEPSON, P.; LADLE, R. J.; WATSON, J. E. M.; WILLIS, K. J. Conservation Biogeography: assessment and prospect. *Diversity and Distribution*, v. 11, p. 3–23, 2005.
- ZHAO, J.; ZHANG, Y.; SONG, F.; XU, Z.; XIAO, L. Phenological response of tropical plants to regional climate change in Xishuangbanna, south-western China. *Journal of Tropical Ecology*, v. 29, n. 2, p. 161-172, 2013.

Apêndice A - Material Suplementar

Tabela A.1. Lista das espécies coletadas dos seis grupos de Coleoptera do Parque Nacional da Serra dos Órgãos, estado do Rio de Janeiro, Brasil. As espécies estão organizadas em ordem alfabética, considerando a família e a subfamília na qual pertencem. A distribuição nas fitofisionomias é apresentada juntamente com a amplitude elevacional de distribuição, onde: BM - floresta baixo-montana (130, 250, 360, 550 e 700 m), MO - floresta montana (880, 960, 1070 e 1250 m), AM - floresta alto montana (1480, 1680 e 1810 m), CA - campos de altitude (1940, 2030 e 2170 m).

TAXON	BM	MO	AM	CA	Amplitude (m)
ANTHRIBIDAE					
Subfamília Anthribinae					
<i>Anthrenosoma sp. 1</i>	X				420
<i>Anthrenosoma sp. 2</i>		X			50
<i>Dasyrhopala tarsalis</i>	X				50
<i>Discotenes sp. 1</i>		X			50
<i>Euparius pardalis</i>	X				50
<i>Euparius sp. 1</i>		X	X		600
<i>Euparius sp. 2</i>			X		200
<i>Euparius sp. 3</i>		X	X		720
<i>Euparius sp. 4</i>		X			50
<i>Euparius sp. 5</i>	X				50
<i>Eusphyrus sp. 1</i>				X	50
<i>Gymnognathus sp. 1</i>	X	X	X		1680
<i>Gymnognathus sp. 2</i>	X	X			750
<i>Gymnognathus sp. 3</i>	X				50
<i>Homocloeus sp. 1</i>	X	X	X	X	1240
<i>Homocloeus sp. 2</i>	X				300
<i>Homocloeus sp. 4</i>		X			50
<i>Hylotribus plaumanni</i>			X	X	360
<i>Hylotribus sp. 1</i>				X	50
<i>Hypselotropis prasinata</i>		X			50
<i>Monocloeus sp. 1</i>	X				420
<i>Monocloeus sp. 2</i>	X	X	X		1130
<i>Monocloeus sp. 6</i>	X				50

<i>Ormiscus sp. 1</i>		X	X	720	
<i>Ormiscus sp. 3</i>	X	X	X	780	
<i>Phaenithon cryptocephaloides</i>	X	X		180	
<i>Phaenithon semigriseus</i>	X			230	
<i>Phaenithon sp. 1</i>	X	X		330	
<i>Phaenithon sp. 2</i>	X			120	
<i>Phaenithon sp. 3</i>		X		50	
<i>Phaenithon sp. 4</i>	X			50	
<i>Piesocorynus aspis</i>		X	X	600	
<i>Piesocorynus dispar</i>	X	X		750	
<i>Piesocorynus tristis</i>	X	X		180	
<i>Ptychoderes antiquus</i>	X			300	
<i>Scymnopsis sp. 1</i>	X	X	X	780	
<i>Stenocerus sigillatus</i>	X			50	
<i>Strabus sp. 1</i>	X	X	X	1230	
<i>Toxonotus farinatus</i>	X	X	X	1350	
<i>Zygaenodini gen. 1 sp. 1</i>		X	X	560	
Subfamilia Choraginae					
<i>Araecerini gen. 1 sp. 1</i>			X	50	
<i>Araecerini gen. 1 sp. 3</i>			X	50	
<i>Choraginae gen. 1 sp. 1</i>				X	50
<i>Choragini gen. 1 sp. 1</i>		X	X	600	
<i>Choragini gen. 1 sp. 2</i>			X	330	
<i>Choragini gen. 1 sp. 3</i>			X	X	550
CARABIDAE					
Subfamilia Anthiinae					
<i>Helluomorhoides sp. 1</i>		X		290	
Subfamilia Cicindelinae					
<i>Ctenostoma (Euctenostoma) rugosum</i>	X			570	
<i>Ctenostoma (Euctenostoma) sahlberg</i>			X	330	
<i>Ctenostoma (Myrmecilla) coracinum</i>			X	330	
<i>Ctenostoma (Myrmecilla) ichneumoneum</i>	X	X		410	

<i>Ctenostoma (Myrmecilla) pygmaeum</i>	X				50
<i>Ctenostoma (Myrmecilla) unifasciatum</i>	X				150
<i>Euprosopus quadrinotatus</i>	X				50
<i>Iresia binotata</i>	X	X	X		1350
<i>Odontocheila nodicornis</i>	X	X			940
<i>Opisthocentrus dentipennis</i>		X			50
<i>Pentacomia (Mesochila) procera</i>		X			50
<i>Pentacomia (Mesochila) smaragdula</i>		X	X		850
<i>Phyllodroma luteomaculata</i>	X				450
Subfamilia Harpalinae					
<i>Morion brasiliensis</i>				X	50
<i>Stenolophus sp. 1</i>	X	X			890
<i>Stenolophus sp. 2</i>	X	X	X	X	1900
Subfamilia Lebiinae					
<i>Agra rutilipennis</i>				X	50
<i>Calleida sp. 1</i>			X		50
<i>Cryptobatida sp. 1</i>			X		50
<i>Lebia (Chelonodema) sp. 1</i>				X	50
<i>Lebia (Lebia) sp. 1</i>		X	X	X	1060
<i>Lebia (Lebia) sp. 10</i>		X	X		410
<i>Lebia (Lebia) sp. 11</i>	X	X			600
<i>Lebia (Lebia) sp. 12</i>				X	50
<i>Lebia (Lebia) sp. 13</i>		X			50
<i>Lebia (Lebia) sp. 2</i>		X	X		600
<i>Lebia (Lebia) sp. 3</i>	X	X			630
<i>Lebia (Lebia) sp. 5</i>		X	X		520
<i>Lebia (Lebia) sp. 6</i>	X	X	X		1130
<i>Lebia (Lebia) sp. 7</i>			X	X	690
<i>Lebia (Lebia) sp. 8</i>	X	X	X	X	1690
<i>Lebia (Lebia) sp. 9</i>		X	X	X	960
<i>Lebia (Loxopeza) sp. 1</i>	X				50
<i>Lebiini (Calleidina) sp. 1</i>		X			50

<i>Pentagonica sp. 1</i>	X	X	X	X	1900
<i>Pentagonica sp. 2</i>			X		330
<i>Pentagonica sp. 3</i>	X	X			180
<i>Pentagonica sp. 4</i>	X				230
Subfamilia Trechinae					
<i>Elaphropus sp. 1</i>	X				570
<i>Elaphropus sp. 2</i>			X		50
CERAMBYCIDAE					
Subfamilia Lamiinae					
<i>Adetus analis</i>			X		50
<i>Alcidion ludicrum</i>	X				300
<i>Colobothea poecila</i>	X				150
<i>Colobothea subcincta</i>	X	X			180
<i>Esthlogena (Esthlogena) glaucipennis</i>	X			X	1810
<i>Estola sp. 1</i>		X	X	X	1060
<i>Eutrypanus sp. 1</i>	X				150
<i>Eutrypanus sp. 2</i>			X		50
<i>Hippopsis sp. 1</i>		X			50
<i>Hypsioma affinis</i>	X		X		1260
<i>Macropophora accentifer</i>	X	X			260
<i>Nealcidion bicristatum</i>		X	X	X	1210
<i>Nealcidion simillimum</i>	X			X	1670
<i>Nealcidion sp. 1</i>			X		330
<i>Nyssodrysina lignaria</i>	X		X		1680
<i>Nyssodrysternum sp. 1</i>	X				50
<i>Obereoides sp. 1</i>	X				50
<i>Onocephala obliquata</i>			X	X	460
<i>Onocephala vittipennis</i>			X		330
<i>Oreodera aerumnosa</i>	X	X			330
<i>Oreodera candida</i>		X			50
<i>Ozineus sp. 1</i>			X		50
<i>Phacellocera sp. 1</i>		X	X		600

<i>Psapharochrus juno</i>	X	X			410	
<i>Rosalba sp. 1</i>	X				50	
<i>Sangaris duplex</i>	X				50	
<i>Sciadosoma sp. 1</i>			X		50	
<i>Scleronotus scabrosus</i>			X	X	520	
<i>Trestonia capreola</i>				X	50	
Subfamilia Cerambycinae						
<i>Allopeba quadripunctata</i>				X	330	
<i>Allopeba signaticornis</i>	X			X	X	1620
<i>Batus hirticornis</i>			X	X		800
<i>Chariergodes flava</i>			X			50
<i>Chlorida costata</i>	X			X		1260
<i>Chydarteres dimidiatus</i>	X					50
<i>Compsa albopicta</i>	X	X		X		930
<i>Compsibidion divisum</i>			X			80
<i>Compsibidion sp. 1</i>	X					50
<i>Compsibidion vanum</i>	X					50
<i>Eburodacrys alini</i>	X					50
<i>Eurysthea obliqua</i>				X		50
<i>Pantomallus morosus</i>				X		330
<i>Poeciloxestia dorsalis</i>				X	X	130
<i>Stizocera sp. 1</i>	X					50
<i>Xestiodion pictipes</i>	X	X			X	980
Subfamilia Prioninae						
<i>Meroscelisus servillei</i>			X			50
<i>Myzomorphus quadripunctatus</i>	X	X				410
<i>Polyzoa lacordairei</i>	X	X				630
CHRYSOMELIDAE						
Subfamilia Eumolpinae						
Eumolpinae sp. 1			X	X	X	870
Eumolpinae sp. 2					X	230
Eumolpinae sp. 3	X	X		X		1680

Eumolpinae sp. 4	X	X			890
Eumolpinae sp. 5				X	230
Eumolpinae sp. 6		X	X		230
Eumolpinae sp. 7				X	230
Eumolpinae sp. 8				X	230
Eumolpinae sp. 9	X	X			520
Eumolpinae sp. 10	X	X	X		780
Eumolpinae sp. 11				X	230
Eumolpinae sp. 12				X	230
Eumolpinae sp. 13		X	X		800
Eumolpinae sp. 14		X			50
Eumolpinae sp. 15		X	X		410
Eumolpinae sp. 16	X	X			750
Eumolpinae sp. 17		X			290
Eumolpinae sp. 18			X		50
Eumolpinae sp. 19			X		50
Eumolpinae sp. 20		X			290
Eumolpinae sp. 21		X			50
Eumolpinae sp. 22	X				50
Eumolpinae sp. 23	X	X			260
Eumolpinae sp. 24			X		50
Eumolpinae sp. 25			X		50
Eumolpinae sp. 26		X	X		430
Eumolpinae sp. 27	X				150
Eumolpinae sp. 28	X				50
Eumolpinae sp. 29	X				50
Eumolpinae sp. 30			X		50
Eumolpinae sp. 31			X		50
Eumolpinae sp. 32			X	X	130
Eumolpinae sp. 33			X		50
Eumolpinae sp. 34	X	X			180
Eumolpinae sp. 35	X				50

Eumolpinae sp. 36			X	130	
Eumolpinae sp. 37			X	50	
Eumolpinae sp. 38	X	X		370	
Eumolpinae sp. 39	X	X		330	
Eumolpinae sp. 40	X			50	
Eumolpinae sp. 41		X	X	230	
Eumolpinae sp. 42		X		50	
Eumolpinae sp. 43			X	50	
Eumolpinae sp. 44	X			450	
Eumolpinae sp. 45		X		50	
Eumolpinae sp. 46			X	50	
Eumolpinae sp. 47		X		50	
Eumolpinae sp. 48			X	50	
Eumolpinae sp. 49			X	50	
Eumolpinae sp. 50			X	50	
Eumolpinae sp. 51			X	50	
Eumolpinae sp. 52		X		50	
Eumolpinae sp. 53	X			50	
Eumolpinae sp. 54	X			50	
Eumolpinae sp. 55		X		50	
Eumolpinae sp. 56			X	50	
Eumolpinae sp. 57			X	50	
Eumolpinae sp. 58			X	50	
Eumolpinae sp. 59		X		50	
Eumolpinae sp. 60		X		50	
Eumolpinae sp. 61				X	50
Eumolpinae sp. 62			X	50	
Eumolpinae sp. 63				X	50

LAMPYRIDAE

Subfamília Amydetinae

<i>Amydetes apicalis</i>	X	X		750
<i>Amydetes fastigiata</i>	X			50

<i>Amydetes sp. 1</i>		X			50
<i>Amydetes sp. 2</i>		X			110
<i>Cladodes illigeri</i>	X	X			520
<i>Cladodes sp. 1</i>			X		330
<i>Cladodes sp. 2</i>		X			50
<i>Ethra axillaris</i>		X	X	X	780
<i>Ethra cf. addicta</i>		X			50
<i>Ethra inculta</i>		X			190
<i>Ethra marginata</i>			X	X	260
<i>Magnoculus sp. 1</i>		X			290
<i>Magnoculus sp. 2</i>				X	50
<i>Psilocladus sigillatus</i>		X			50
<i>Psilocladus sp. 2</i>		X	X		560
<i>Sissicauda disjuncta</i>		X	X		610
Subfamilia Photurinae					
<i>Bicellonycha aff. tenuicornis</i>	X				50
<i>Bicellonycha sp. 1</i>			X	X	130
<i>Bicellonycha tenuicornis</i>	X	X	X		780
<i>Photuris elliptica</i>		X			50
<i>Photuris fulvipes</i>	X				50
<i>Photuris sp. 1</i>		X			50
<i>Photuris sp. 2</i>		X			50
<i>Photuris sp. 3</i>	X	X			180
<i>Pyrogaster angustatus</i>	X	X			700
<i>Pyrogaster atrocinctus</i>		X			290
<i>Pyrogaster aureus</i>	X				50
<i>Pyrogaster coxalis</i>			X		50
<i>Pyrogaster lunifer</i>	X				50
<i>Pyrogaster sp. 7</i>	X				50
Subfamilia Lampyrinae					
<i>Dilychnia succensa</i>	X				50
<i>Gen. nov. 1 sp. nov. 1</i>		X			290

<i>Lucidota flabellicornis</i>		X	X		800
<i>Lucidota sp. 1</i>		X	X	X	1100
<i>Lucidota sp. 12</i>			X	X	220
<i>Lucidota sp. 13</i>	X	X			550
<i>Lucidota sp. 2</i>		X	X		930
<i>Lucidota sp. 3</i>	X	X			550
<i>Lucidota sp. 4</i>			X		200
<i>Lucidota sp. 5</i>				X	140
<i>Lucidota sp. 6</i>		X	X		410
<i>Lucidota sp. 8</i>			X	X	360
<i>Luciuranus jameshooki</i>				X	50
<i>Luciuranus sp. 2</i>		X			50
<i>Macrolampis frater</i>	X	X			1000
<i>Phaenolis basalıs</i>	X	X	X		1550
<i>Phaenolis sp. 1</i>				X	50
<i>Photinus sp. 2</i>	X				50
<i>Photinus sp. 3</i>	X				110
<i>Photinus sp. 4</i>				X	230
<i>Ybytyramoan monteirorum</i>		X	X		930

PHENGODIDAE

Subfamilia Mastinocerinae

<i>Akamboja cleidae</i>		X	X		520
<i>Akamboja minimum</i>	X	X			630
<i>Gen. nov. 1 sp. nov. 1</i>	X				50
<i>Gen. nov. 1 sp. nov. 2</i>		X			50
<i>Gen. nov. 1 sp. nov. 3</i>				X	50
<i>Gen. nov. 2 sp. nov. 1</i>	X				50
<i>Gen. nov. 2 sp. nov. 2</i>		X			50
<i>Howdenia sp. 1</i>	X	X			630
<i>Howdenia sp. 2</i>		X	X	X	920
<i>Howdenia sp. 3</i>		X	X		720
<i>Howdenia sp. 4</i>		X	X		560

<i>Mastinocerus sp. 1</i>	X	X			700
<i>Mastinocerus sp. 2</i>			X		50
<i>Mastinocerus sp. 3</i>	X	X			180
<i>Mastinomorphus sp. 1</i>		X			50
<i>Mastinomorphus sp. 2</i>		X	X	X	920
<i>Oxymastinocerus aff. peruanus sp. 1</i>	X				570
<i>Stenophrixothrix sp. 1</i>	X	X			1000
<i>Stenophrixothrix sp. 2</i>	X	X			370
<i>Stenophrixothrix sp. 3</i>		X	X	X	690
<i>Stenophrixothrix sp. 4</i>		X	X		560
<i>Taximastinocerus sp. 1</i>	X	X			330
Subfamilia Phengodinae					
<i>Pseudophengodes aff. brasiliensis sp. 1</i>	X	X			330
