

Levantamento e Caracterização da Mirmecofauna da Restinga de Urussuquara/ES-Brasil

*Cleber Vinicius Akita Vitorio¹; Carolina Dias Lelacher²; Josimar Ribeiro de Almeida³; Patrícia dos Santos Matta⁴,
Raphael do Couto Pereira⁵, Tetyana Gurova⁴*

✉ cleberakita88@gmail.com

1. Helium Corp Engenharia
2. Dasi Consultoria e Engenharia
3. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
4. Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ
5. Troy University (EUA)

Histórico do Artigo: O autor detém os direitos autorais deste artigo.

Recebido em: 13 de março de 2024

Aceito em: 29 de dezembro de 2025

Publicado em: 30 de abril de 2026

Resumo: Este trabalho teve como objetivo realizar o levantamento e a caracterização da mirmecofauna associada às diferentes fitofisionomias da restinga da praia de Urussuquara, Espírito Santo, bem como utilizar a autoecologia das espécies de formigas como ferramenta de avaliação ambiental. O estudo foi conduzido entre 31 de agosto e 06 de setembro de 2017, contemplando quatro pontos amostrais definidos segundo suas fitofisionomias: Psamófila-reptante (P01), Restinga-arbórea (P02), Restinga-arbórea (P03) e Herbácea-arbustiva salina (P04). Foram coletados 773 espécimes de formigas, pertencentes a 51 espécies, 23 gêneros e seis subfamílias, por meio do uso de armadilhas de interceptação e queda (pitfall trap) e armadilhas iscadas. Os gêneros mais frequentes foram *Pheidole*, *Azteca*, *Dorymyrmex* e *Camponotus*. Destaca-se a ocorrência de duas espécies ameaçadas de extinção, *Atta robusta* e *Trachymyrmex atlanticus*, conforme a Portaria MMA nº 444/2014. Os resultados evidenciam a elevada diversidade funcional da mirmecofauna local e reforçam o papel das formigas como engenheiras de ecossistema e bioindicadoras da qualidade ambiental em ambientes de restinga, especialmente em áreas sob pressão antrópica crescente.

Palavras-chave: Formicidae, Fauna edáfica, Restinga, Conservação.

Survey and Characterization of the Myrmecofauna of the Urussuquara Restinga/ ES-Brasil

Abstract: This study aimed to survey and characterize the ant assemblages associated with different phytophysiognomies of the Urussuquara beach restinga, Espírito Santo, and to use the autoecology of ant species as a tool for environmental assessment. Sampling was carried out from August 31 to September 6, 2017, at four sampling sites defined according to their phytophysiognomies: psammophilous-reptant, arboreal restinga (two sites), and saline herbaceous-shrub restinga. A total of 773 ant specimens were collected, belonging to 51 species, 23 genera, and six subfamilies, using pitfall traps and baited traps. The most frequent genera were *Pheidole*, *Azteca*, *Dorymyrmex*, and *Camponotus*. Two threatened species, *Atta robusta* and *Trachymyrmex atlanticus*, were recorded, according to Brazilian environmental legislation. The results highlight the high functional diversity of the local myrmecofauna and emphasize the importance of ants as ecosystem engineers and bioindicators in restinga environments subject to increasing anthropogenic pressures.

Keywords: Formicidae, Soil fauna, Restinga, Conservation.

Levantamiento y Caracterización de la Mirmecofauna de la Restinga de Urussuquara/ES-Brasil

Resumen: Este estudio tuvo como objetivo realizar el levantamiento y la caracterización de la mirmecofauna asociada a diferentes fitofisionomías de la restinga de la playa de Urussuquara, Espírito Santo, así como utilizar la autoecología de las especies de hormigas como herramienta de evaluación ambiental. El muestreo se realizó entre el 31 de agosto y el 6 de septiembre de 2017, en cuatro puntos amostrales definidos según sus fitofisionomías. Se recolectaron 773 ejemplares de hormigas, pertenecientes a 51 especies, 23 géneros y seis subfamilias, mediante trampas de caída e iscas. Los géneros más frecuentes fueron *Pheidole*, *Azteca*, *Dorymyrmex* y *Camponotus*. Se registraron dos especies amenazadas, *Atta robusta* y *Trachymyrmex atlanticus*, de acuerdo con la legislación ambiental brasileña. Los resultados evidencian la alta diversidad funcional de la mirmecofauna y refuerzan el papel de las hormigas como ingenieras del ecosistema y bioindicadoras de la calidad ambiental en ambientes de restinga.

Palabras clave: Formicidae, Fauna del suelo, Restinga, Conservación.

INTRODUÇÃO

Formigas são insetos da ordem Hymenoptera que pertencem à família Formicidae, dentro da ordem Hymenoptera também inclui abelhas, vespas e outras formas similares. Trata-se de uma das grandes ordens de insetos juntamente com Coleoptera, Lepidoptera e Diptera, todas com mais de 100.000 espécies descritas em todo o mundo (Franca & Queiroz, 2021; Silva *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2021). Para a região Neotropical, Boscardin *et al.* (2014) reconhecem 76 famílias e 24.000 espécies para a ordem, número que acreditam ser muito maior, visto que os biomas da região neotropical são mega diversos, para o Brasil destacam-se o Cerrado e a Mata Atlântica, que são reconhecidos pelas suas espécies endêmicas (Casimiro *et al.*, 2022).

Até o momento, foram descritas aproximadamente 12.630 espécies de formigas em todo o mundo, embora estimativas indiquem que a diversidade real do grupo possa ultrapassar 20.000 espécies (Estrada *et al.*, 2014). Avanços recentes em estudos de filogenia molecular têm promovido revisões significativas na sistemática da família Formicidae, refinando a delimitação e o reconhecimento de suas subfamílias. Com base em análises filogenômicas abrangentes, a família passou a ser organizada em cerca de 20 subfamílias viventes, com a exclusão de agrupamentos anteriormente considerados válidos, como Apomyrminae, cuja posição filogenética foi reinterpretada (Ward *et al.*, 2015; Branstetter *et al.*, 2017; Borowiec *et al.*, 2019).

No Brasil, estão registradas atualmente 14 dessas subfamílias: Agroecomyrmecinae, Amblyoponinae, Dolichoderinae, Ecitoninae, Ectatomminae, Formicinae, Heteroponerinae, Leptanilloidinae, Myrmicinae, Paraponerinae, Ponerinae, Proceratiinae, Pseudomyrmecinae e Martialinae, esta última considerada uma linhagem basal rara e de elevada relevância evolutiva (Ward *et al.*, 2015; Borowiec *et al.*, 2019).

Apesar da extensa faixa litorânea brasileira, composta por manguezais, restingas e formações florestais da Mata Atlântica, os estudos biológicos nesses ecossistemas historicamente concentraram-se na flora, com menor atenção à fauna edáfica e aos insetos sociais. Em ambientes de restinga, os levantamentos zoológicos privilegiam majoritariamente vertebrados, sobretudo a herpetofauna, enquanto os insetos permanecem subamostrados, apesar de sua reconhecida importância ecológica (Sampaio *et al.*, 2023). Entre os invertebrados do solo, as formigas se destacam como o grupo dominante em termos de abundância e biomassa, desempenhando papel central na estruturação ecológica desses ambientes (Estrada, 2017).

Numa coletânea de trabalhos envolvendo formigas em restingas, Lopes (2003) aponta que existiam para aquela data pelo menos 76 espécies nesse ecossistema com a maioria dos trabalhos se restringindo ao Rio de Janeiro, São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, quase não se tem trabalhos para o Espírito Santo, sendo que acima da região sudeste, pouco se conhecia sobre a fauna de formigas em restingas, já que não havia trabalhos publicados em revistas de ampla circulação. Essa carência de estudos com formigas em restingas brasileiras confirmou-se com o trabalho recente de Vargas *et al.*



(2007) na restinga da Marambaia, litoral do Rio de Janeiro. Foi o primeiro trabalho estruturado para levantamento de espécies e estudos de aspectos ecológicos em restingas brasileiras, onde foram encontradas 92 espécies de formigas; número superior ao apontado por Lopes (2003).

O único levantamento taxonômico de formigas em restingas tinha sido realizado por Bonnet & Lopes (1993) na praia da Joaquina, Ilha de Santa Catarina, que obtiveram 33 espécies com base principalmente em coletas manuais em areia e na vegetação herbácea e arbustiva. No entanto, recentemente, os trabalhos de Assis *et al.* (2018) contribuíram com novos registros de espécies, incluindo observações sobre aspectos ecológicos de comunidades, mas ainda se limitam a poucas regiões da costa brasileira, nos estados do Rio de Janeiro e Santa Catarina, para o Espírito Santo não existem trabalhos com este foco ecológico e taxonômico, apesar de que no Espírito Santo ao lado do Rio de Janeiro, são locais de ocorrência da *Atta robusta*, espécie de formiga endêmica de restingas e criticamente ameaçada de extinção.

Em relação ao paradoxo conservação da biodiversidade e implantação de empreendimentos potencialmente poluidores, destacam-se os municípios de São Mateus-ES e Linhares-ES, localizados na Mesorregião litoral norte Espírito-Santense (Silva *et al.*, 2018), em São Mateus-ES e Linhares-ES, na região costeira, predominava a restinga, todavia em quase toda a área de Mata Atlântica se deu lugar a monocultura de eucalipto, à pecuária e às diversas culturas presentes nos municípios, como o café, o coco e a pimenta-do-reino. As cidades possuem localização privilegiada para o turismo e para a atividade portuária. Paralelamente estas cidades possuem espécies ameaçadas, para a mirmecofauna, destacam-se as formigas *Atta robusta* e *Trachymyrmex atlanticus*.

Na região de Urussuquara e Barra Seca, localizadas entre Linhares-ES e São Mateus-ES, ocorreu uma grande mortandade de biota aquática em janeiro de 2016, especialmente de representantes da ictiofauna e carcinofauna, quando um vento sul extemporâneo trouxe a primeira massa de particulados oriundos dos rejeitos de mineração de Mariana-MG, sendo necessária a interdição da praia de Pontal do Ipiranga (Silva *et al.*, 2018).

No litoral norte do Espírito Santo, especialmente nos municípios de Linhares e São Mateus, impõe-se um cenário de elevada vulnerabilidade ambiental, resultante da sobreposição de impactos históricos e pressões antrópicas contemporâneas. A chegada de particulados oriundos dos rejeitos da barragem de Fundão, em Mariana (MG), culminou na degradação de ambientes costeiros sensíveis e levou à interdição da praia de Pontal do Ipiranga, evidenciando a fragilidade ecológica desses sistemas (Silva *et al.*, 2018). Soma-se a esse contexto a acelerada expansão imobiliária e a implantação de grandes empreendimentos portuários, como o Porto de Urussuquara, que intensificam a fragmentação de habitats e a simplificação estrutural das restingas.

Paradoxalmente, é nesse cenário de perturbação ambiental que se mantém uma mirmecofauna diversa e funcionalmente estratégica, cuja presença adquire caráter emergencial do ponto de vista ecológico. As formigas, por sua elevada biomassa, abundância, diversidade funcional e papel como

engenheiras de ecossistema, constituem um dos últimos componentes faunísticos capazes de responder rapidamente às alterações ambientais, refletindo tanto processos de degradação quanto sinais iniciais de resiliência ecológica. Assim, o estudo da mirmecofauna da restinga de Urussuquara não apenas documenta a biodiversidade remanescente, mas assume relevância crítica como ferramenta de diagnóstico ambiental e subsídio científico para a conservação e o ordenamento territorial em uma região sob iminente transformação.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de Estudos

O estudo foi realizado na restinga da praia de Urussuquara, localizada na divisa dos municípios de Linhares e São Mateus, litoral norte do estado do Espírito Santo, Brasil (Figura 1). A região apresenta clima tropical, classificado como Am (monçônico) em São Mateus e Aw (tropical com estação seca) em Linhares, segundo a classificação de Köppen-Geiger, com temperatura média anual em torno de 24,2 °C e precipitação média anual aproximada de 1.240 mm, concentrada principalmente entre os meses de primavera e verão.

A área total considerada no estudo compreende aproximadamente 149,3 ha, englobando diferentes fitofisionomias típicas de restinga, incluindo formações paludosas, herbáceas, arbustivas e florestais. A região foi impactada pela chegada de particulados oriundos do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana (MG), em novembro de 2015, sendo a praia de Urussuquara uma das últimas áreas costeiras atingidas pela pluma de rejeitos ao longo da bacia do rio Doce.

O levantamento ocorreu de 31 de agosto de 2017 até 06 de setembro de 2017, foram avaliados 4 pontos amostrais, delineados segundo suas fitofisionomias: Psamófila-reptante (P1); Restinga-Arbórea (P2); Restinga-Arbórea (P3) e Herbácea-arbustiva salina (P4).



Figura 1. Mapa de cobertura vegetal da área de estudos com a alocação das unidades amostrais.
Fonte: Instituto Brasileiro de Engenharia, Meio Ambiente e Recursos Naturais.

Armadilhas de Intercepção e Queda (Pitfall) e Iscas

Foram instaladas armadilhas do tipo pitfall, consistindo em recipientes plásticos enterrados ao nível do solo, espaçados sistematicamente a cada 10 metros dentro de cada unidade amostral. Os recipientes continham solução de água com detergente neutro, utilizada para quebrar a tensão superficial. As armadilhas permaneceram ativas em campo por um período contínuo de 48 horas.



Figura 2. Instalação de armadilha de interceptação e queda (X 423852,94 Y 7891243,52).
Fonte: Instituto Brasileiro de Engenharia, Meio Ambiente e Recursos Naturais.

Além das armadilhas de interceptação e queda para coleta passiva, foram feitas armadilhas de toalha de papel iscadas com mel e sardinha e alocadas nos pontos amostrais, estas permaneceram ativas por 45 minutos, protocolo de coleta amplamente aceito para formigas epigéicas e espécies dominantes (Silva *et al.*, 2018). As formigas foram posteriormente triadas, montadas e identificadas, com base na literatura pertinente (Baccaro *et al.*, 2015). O esforço amostral referente a estas metodologias foi de 48 horas.



Figura 3. Armadilhas de isca para coleta de formigas (X 423852,94 Y 7891243,52).
Fonte: Instituto Brasileiro de Engenharia, Meio Ambiente e Recursos Naturais.

Os espécimes foram depositados na Coleção Zoológica Norte Capixaba do Centro Universitário Norte do Espírito Santo, UFES, (CZNC/CEUNES), mas identificados em comparação com a coleção de referência de Mata Atlântica da Universidade Federal de Ouro Preto, onde réplicas de espécies tombadas foram depositadas. Além disso, os exemplares poderão ser comparados com outras coleções.

Processamento dos dados

Os espécimes coletados foram identificados até o menor nível taxonômico possível por especialista em taxonomia de Formicidae. Quando a identificação não pôde ser realizada em campo, os

exemplares foram devidamente acondicionados e encaminhados para identificação posterior em laboratório, com base em literatura especializada e material de referência.

Para avaliar a suficiência do esforço amostral e a riqueza de espécies, foram elaboradas curvas de acúmulo de espécies para os locais amostrados, permitindo a comparação da riqueza acumulada entre as unidades amostrais e do número médio de espécies por armadilha, bem como a comparação com registros disponíveis para outros ambientes da Mata Atlântica. Essas curvas foram utilizadas como ferramenta exploratória para verificar a representatividade amostral.

A composição das assembleias de formigas foi analisada por meio de modelos multivariados, que possibilitam integrar informações ecológicas e taxonômicas e incorporar variáveis associadas a espécies bioindicadoras (Souza & Queiroz, 2020). As espécies bioindicadoras foram interpretadas a partir de suas características biológicas, exigências de habitat e tolerância a distúrbios, permitindo ponderar os modelos em função de sua associação com ambientes mais conservados ou mais degradados.

Em função das características intrínsecas das formigas, como elevada abundância local, comportamento social e flutuações populacionais espaciais e temporais, as análises estatísticas não se basearam no número absoluto de indivíduos coletados por campanha, mas no esforço amostral empregado. Em estudos de Entomologia Ecológica, a inferência direta de densidade populacional a partir do número bruto de indivíduos é limitada, especialmente em áreas sem histórico prévio de amostragem, sendo mais apropriadas comparações probabilísticas baseadas em frequência de ocorrência e esforço amostral.

Nesse contexto, foi analisado o parâmetro ecológico Frequência Relativa (FR), adaptado ao número médio de estações do ano da coleta, definido como o percentual de ocorrência do táxon i em relação à soma das ocorrências de todos os táxons do componente analisado (Vitório et al., 2019), expresso como FO igual ao número de ocorrências do táxon i dividido pela soma total das ocorrências, multiplicado por 100. Os valores de frequência obtidos foram utilizados para a construção de uma tabela de avaliação da qualidade ecológica dos ambientes, correlacionando a frequência dos táxons com sua autoecologia.

A diversidade das comunidades foi estimada por meio do índice de Shannon-Wiener (H'), calculado como a soma dos produtos entre a abundância relativa de cada espécie (p_i) e o logaritmo natural dessa abundância, sendo p_i definido como a razão entre a abundância da espécie i e o total de indivíduos amostrados. Esse índice integra riqueza e equitabilidade, sendo amplamente empregado em estudos ecológicos.

Os índices biológicos utilizados devem ser sensíveis a múltiplos tipos de impactos ambientais e capazes de discriminar alterações de origem antrópica das variações naturais do ambiente, como flutuações climáticas ou sazonais (Silva et al., 2019). Dessa forma, os resultados foram analisados de maneira bidimensional, considerando a variação espacial entre os pontos amostrais e a interpretação integrada da comunidade, com o objetivo de identificar possíveis impactos sobre a mirmecofauna.

Adicionalmente, foi calculado o índice de equitabilidade de Pielou (J), derivado do índice de Shannon, que expressa o grau de uniformidade na distribuição dos indivíduos entre as espécies. O índice foi obtido dividindo-se o valor do índice de Shannon pelo logaritmo natural da riqueza total de espécies da amostra, variando de zero, que indica baixa uniformidade, a um, que indica distribuição equitativa dos indivíduos entre as espécies.

Para avaliar a similaridade na composição das comunidades entre as unidades amostrais, foram empregadas análises multivariadas de ordenação indireta por escalonamento não-métrico multidimensional (MDS). O MDS é um método iterativo de otimização que representa graficamente as relações de similaridade entre as unidades amostrais em um espaço de uma a três dimensões, sem assumir relações lineares entre as variáveis, diferindo de métodos baseados em autovalores, como PCA, PCoA ou CCA.

O ajuste das ordenações foi avaliado por meio do valor de *stress*, que expressa o grau de correspondência entre as distâncias ecológicas reais e aquelas representadas graficamente, sendo considerados adequados valores de *stress* iguais ou inferiores a 0,1.

As análises de nMDS foram realizadas a partir de matrizes de similaridade de Bray-Curtis, calculadas com base nas médias das frequências de ocorrência das espécies por unidade amostral. O índice de Bray-Curtis varia entre zero e um, sendo que valores menores indicam maior similaridade entre as amostras, facilitando a interpretação comparativa dos resultados.

As análises estatísticas e multivariadas foram conduzidas utilizando o software PAST, enquanto a organização e tabulação dos dados foram realizadas em planilhas eletrônicas de código aberto, distribuídas com as suítes OpenOffice.org e NeoOffice (Taguchi & Oonno, 2005).

Por fim, as espécies registradas foram confrontadas com as listas oficiais de espécies ameaçadas em âmbito nacional (MMA, 2014) e estadual para o Espírito Santo (Passamani & Mendes, 2007), bem como com bases de dados internacionais, incluindo a IUCN. Para cada espécie, foram descritos o tipo de ambiente de ocorrência, a formação vegetal associada, a posição na paisagem (matriz ou borda), além da indicação de espécies raras, endêmicas, exóticas, cinegéticas ou de valor comercial, acompanhadas de seus respectivos números de tombo em coleção científica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando as quatro áreas de estudo com todas as fitofisionomias (Psamófila-reptante (P01); Restinga-Arbórea (P02); Restinga-Arbórea (P03) e Herbácea-arbustiva salina (P04), foi coletado um total de 773 espécimes de formigas, pertencentes a 51 espécies, 23 gêneros e seis subfamílias.

Tabela 1. Frequência de Ocorrência média (FO%). Calculada a partir das amostragens por iscagem e pitfall-trap, para cada um dos ambientes amostrais segundo as suas respectivas fitofisionomias.

Espécies	Frequência (FO%) nos Sítios Amostrais							
	P01		P02		P03		P04	
	Isca	Pitfall	Isca	Pitfall	Isca	Pitfall	Isca	Pitfall
Subfamília Dolichoderinae								
<i>Azteca sp.</i>	1,82	47,59	46,00	29,27	17,14	4,26	0,00	13,90
<i>Cyphomyrmex sp.</i>	0,00	5,42	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60
<i>Dorymyrmex sp.</i>	1,82	16,87	14,50	9,76	2,86	2,13	28,57	24,06
<i>Dorymyrmex sp1</i>	1,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Dolichoderus sp.</i>	0,00	0,00	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Linepithema sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,38	0,00
Subfamília Ectatomminae								
<i>Ectatomma brunneum</i> Smith, F., 1858	5,45	1,20	1,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Ectatomma edentatum</i> Roger, 1863	0,00	7,83	6,50	0,00	5,71	6,38	0,00	0,53
<i>Ectatomma permagnum</i> Forel, 1908	0,00	1,81	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Ectatomma tuberculatum</i> (Olivier, 1792)	0,00	2,41	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subfamília Formicinae								
<i>Nylanderia sp.</i>	1,82	0,60	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60
<i>Nylanderia sp1</i>	0,00	0,60	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Paratrechina longicornis</i> (Latreille, 1802)	5,45	1,81	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Camponotus crassus</i> Mayr, 1862	7,27	0,00	1,00	9,76	0,00	0,00	11,90	0,00
<i>Camponotus sp.</i>	5,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Camponotus sp1</i>	0,00	0,00	1,50	0,00	2,86	0,00	0,00	0,00
<i>Camponotus sp2</i>	3,64	0,00	1,00	2,44	8,57	0,00	0,00	0,00
<i>Camponotus sp3</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53
<i>Camponotus sp4</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53
<i>Camponotus sp5</i>	0,00	0,00	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Brachymyrmex sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,13	0,00	0,00
<i>Camponotus melanoticus</i> Emery, 1894	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,13	0,00	1,07
<i>Morfotipo sp1</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53
Subfamília Myrmicinae								
<i>Acromyrmex sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	11,43	4,26	0,00	0,00
<i>Acromyrmex sp.1</i>	0,00	0,00	0,50	0,00	5,71	0,00	0,00	0,00
<i>Acromyrmex sp.2</i>	0,00	2,41	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Atta robusta</i> Borgmeier, 1939	0,00	1,81	1,50	7,32	0,00	4,26	0,00	0,53
<i>Cephalotes sp.</i>	18,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,38	0,00
<i>Crematogaster sp.</i>	0,00	0,00	1,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,53
<i>Crematogaster sp1</i>	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Crematogaster sp2</i>	1,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,07
<i>Pheidole sp.</i>	9,09	1,20	1,50	0,00	11,43	2,13	16,67	2,14
<i>Pheidole sp1</i>	30,91	3,01	2,50	2,44	5,71	23,40	23,81	49,73
<i>Pheidole sp2</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	8,57	2,13	7,14	0,00
<i>Pheidole sp3</i>	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Pheidole sp4</i>	0,00	1,20	1,00	0,00	8,57	0,00	0,00	0,00
<i>Pheidole sp5</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,38	0,00	0,00
<i>Pheidole sp6</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,15	0,00	0,00

<i>Pheidole sp7</i>	1,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,38	0,53
<i>Pheidole sp8</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,51	0,00	0,00
<i>Pheidole sp9</i>	0,00	1,20	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Pheidole sp10</i>	3,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,38	0,00
<i>Sericomyrmex sp.</i>	0,00	1,20	1,00	4,88	2,86	4,26	0,00	0,00
<i>Trachymyrmex atlanticus</i> (Mayhe-Nunes & Brandão, 2007)	0,00	0,00	0,00	2,44	2,86	2,13	2,38	0,53
Subfamília Ponerinae								
<i>Odontomachus sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53
<i>Odontomachus spl</i>	0,00	0,60	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Rasopone sp.</i>	0,00	1,20	1,50	7,32	2,86	6,38	0,00	0,00
Hypoponera sp.	0,00	0,00	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Mayaponera constricta</i> (Mayr, 1884)	0,00	0,00	0,00	9,76	0,00	0,00	0,00	0,00
Subfamília Pseudomyrmecinae								
<i>Pseudomyrmex sp.</i>	0,00	0,00	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Pseudomyrmex spl</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,86	0,00	0,00	0,00

Fonte: Instituto Brasileiro de Engenharia, Meio Ambiente e Recursos Naturais.

Entre os formicídeos amostrados, o gênero *Pheidole* destacou-se de forma expressiva tanto em riqueza quanto em frequência, refletindo sua reconhecida dominância ecológica em diversos biomas da América do Sul. Trata-se de um dos gêneros mais diversos da família Formicidae, com quase mil espécies descritas globalmente e pelo menos 600 registradas na região Neotropical, ocupando uma ampla gama de ambientes terrestres (Boscardin et al., 2014). Na área de estudo da praia de Urussuquara, *Pheidole* foi o gênero mais frequente e diverso, alcançando no ambiente herbáceo-arbustivo salino (P04) valores superiores a 50% do total de espécimes amostrados, evidenciando sua elevada capacidade de exploração de habitats abertos e sujeitos a estresse ambiental.

Do ponto de vista ecológico, espécies de *Pheidole* apresentam elevada plasticidade funcional, explorando múltiplos níveis tróficos e adotando estratégias alimentares que incluem predação, coleta de sementes, consumo de material vegetal e utilização de detritos orgânicos. Essa versatilidade ecológica, aliada ao sistema de castas bem definido e à eficiente divisão de trabalho, confere ao gênero alta competitividade, favorecendo sua dominância em ambientes com forte variação microambiental, como as restingas. A elevada frequência de *Pheidole* na restinga de Urussuquara sugere sua importância na ciclagem de nutrientes, na bioturbação do solo e na regulação das comunidades de outros artrópodes.

A expressiva representatividade de *Pheidole* também reflete um padrão recorrente em comunidades de formigas neotropicais, nas quais gêneros hiperdiversos permanecem insuficientemente compreendidos do ponto de vista taxonômico e ecológico, indicando que a diversidade real do grupo pode ser ainda maior. Em conjunto com *Camponotus* e *Crematogaster*, *Pheidole* integra o grupo dos três gêneros mais prevalentes globalmente em termos de abundância e diversidade local, desempenhando papel central na estruturação das assembleias de formigas (Boscardin et al., 2014).

No presente estudo, das 51 espécies registradas, 11 pertencem ao gênero *Pheidole*, seguidas por sete espécies de *Camponotus* e três de *Crematogaster*. Esse padrão reforça a importância desses gêneros como elementos estruturantes da mirmecofauna da restinga de Urussuquara, atuando como componentes-chave na dinâmica ecológica e na resiliência funcional do ecossistema frente a distúrbios ambientais.



Figura 4. A- *Pheidole* sp.1; B- *Pheidole* sp.6.

Fonte: Instituto Brasileiro de Engenharia, Meio Ambiente e Recursos Naturais.

A formiga *Camponotus crassus*, que representou 11,90% da amostragem obtida por meio de iscas no ambiente amostral P04, é amplamente reconhecida na literatura como uma espécie com importante papel na polinização. No bioma Cerrado, essa espécie figura entre os principais agentes polinizadores de *Paepalanthus lundii*, popularmente conhecida como sempre-viva, superando, em determinados contextos, outros himenópteros e dípteros nesse processo (Casimiro *et al.*, 2022; Menezes *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2023). A elevada frequência de *C. crassus* na restinga de Urussuquara sugere a existência de interações inseto-plantas bem estabelecidas e funcionalmente eficientes, indicando um bom nível de coevolução entre a mirmecofauna e a flora local. Tal associação reforça o papel ecológico dessa espécie não apenas como forrageadora dominante, mas também como agente relevante na manutenção dos processos reprodutivos das plantas, especialmente em ambientes abertos e sujeitos a estresse ambiental.

A espécie *Camponotus melanoticus* é reconhecida como predominantemente noturna, apresentando picos de atividade forrageira durante o período noturno (Yusah *et al.*, 2016), apesar de frequentemente ser classificada como generalista extrema quanto ao uso de recursos alimentares (Dáttilo *et al.*, 2014). Essa espécie é capaz de formar colônias numerosas e exibe comportamento altamente agressivo e territorialista, raramente apresentando respostas submissas em interações interespecíficas (Yusah *et al.*, 2016). Alguns estudos apontam esse padrão como aparentemente contraditório, uma vez que a ampla generalização trófica de *Camponotus* pode estar diretamente relacionada à sua agressividade e elevada abundância, permitindo a monopolização de recursos disponíveis, especialmente em estratos arbóreos. Esse comportamento favorece a dominância numérica

no habitat e a exclusão de espécies de formigas mais submissas (Dáttilo *et al.*, 2014). Tal padrão de dominância arborícola é recorrente para espécies do gênero *Camponotus* em florestas tropicais, configurando um elemento estruturante das assembleias de formigas nesses ambientes (Oliveira & Brandão, 1991; Yusah *et al.*, 2016).

No que se refere à subfamília Ectatomminae, todas as espécies foram identificadas até o menor nível taxonômico possível (Tabela 1), refletindo a boa resolução taxonômica do grupo no estudo. As espécies mais frequentes foram *Ectatomma brunneum*, *Ectatomma edentatum*, *Ectatomma tuberculatum* e *Ectatomma permagnum*. Do ponto de vista ecológico, representantes desse grupo são predominantemente predadores generalistas, desempenhando papel relevante no controle populacional de outros artrópodes e na regulação das cadeias tróficas do solo e da serapilheira. Além disso, espécies de *Ectatomma* são frequentemente associadas a ambientes com maior complexidade estrutural, sendo sensíveis a alterações microambientais, o que reforça seu potencial como indicadoras da qualidade ecológica em ecossistemas de restinga.



Figura 5. Ectatomma tuberculatum; B- Ectatomma edentatum.

Fonte: Instituto Brasileiro de Engenharia, Meio Ambiente e Recursos Naturais.

A relação mutualística entre formigas do gênero *Azteca* e espécies do gênero *Cecropia* é amplamente documentada na literatura e constitui um dos exemplos clássicos de interações inseto-plantas em florestas tropicais, sendo estudada há mais de um século (Silva *et al.*, 2017; Apolinário *et al.*, 2019). Na área de estudo, o gênero *Azteca* apresentou elevada representatividade, correspondendo a aproximadamente 50% dos registros obtidos por armadilhas do tipo pitfall no ponto amostral P01 e por amostragens com iscas no ponto P02. Esse padrão está diretamente associado à alta densidade das espécies botânicas *Cecropia pachystachya* e *Cecropia glaziovii* nesses ambientes, evidenciando a forte dependência ecológica entre esses táxons.

Em ecossistemas tropicais, interações mutualísticas desempenham papel central na manutenção da estrutura e da dinâmica das comunidades biológicas (Apolinário *et al.*, 2019). No caso das associações *Azteca-Cecropia*, as plantas fornecem às formigas recursos alimentares, como corpos de

Müller, além de cavidades para nidificação, enquanto as formigas atuam como agentes de defesa altamente eficientes contra herbívoros e outros artrópodes. As formigas são reconhecidas como os principais predadores de artrópodes em ambientes terrestres (Vitório *et al.*, 2019), e essa pressão predatória indireta reduz significativamente os níveis de herbivoria, contribuindo para a sobrevivência, crescimento e sucesso reprodutivo das plantas hospedeiras.

Na restinga de Urussuquara, esse mecanismo de defesa vegetal assume relevância ainda maior, considerando a importância ecológica das Myrtaceae, uma das famílias botânicas mais expressivas em ambientes costeiros da Mata Atlântica. A presença de ninhos de *Azteca* em indivíduos de Myrtaceae está associada à redução dos danos foliares causados por herbívoros, fortalecendo a estabilidade da comunidade vegetal. Estudos realizados na Escola Agrícola de Jundiaí, no Rio Grande do Norte, demonstraram uma redução média de 22% na herbivoria foliar em mirtáceas associadas a ninhos de *Azteca*, quando comparadas a áreas sem essa interação, em fragmentos de Mata Atlântica (Vitório *et al.*, 2019). Esses resultados reforçam o papel funcional das formigas na manutenção da integridade ecológica de ecossistemas costeiros.

Outro registro de elevada relevância conservacionista foi a ocorrência de *Atta robusta*, espécie classificada como ameaçada de extinção conforme a Portaria MMA nº 444, de 17 de dezembro de 2014. Trata-se de uma espécie endêmica das restingas dos estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo, com forte associação a ambientes dunares e formações arenosas estabilizadas. Em ecossistemas de restinga, *A. robusta* desempenha papel fundamental como engenheira de ecossistema, atuando intensamente na dispersão de sementes de dezenas de espécies vegetais e promovendo modificações físico-químicas no solo. As áreas de ninho apresentam elevada concentração de nutrientes, favorecendo a germinação e o estabelecimento de plântulas, além de acelerar processos de sucessão ecológica.

A distribuição geográfica restrita de *Atta robusta*, aliada ao rápido declínio populacional observado nas últimas décadas, está diretamente relacionada às alterações antrópicas na estrutura da vegetação de restinga, especialmente à supressão de dunas, fragmentação do habitat e compactação do solo. As restingas, por estarem inseridas em zonas costeiras altamente urbanizadas e valorizadas economicamente, sofrem pressão contínua decorrente da expansão imobiliária, turística e de grandes empreendimentos de infraestrutura.

Nesse contexto, a implantação do Porto de Urussuquara representa uma ameaça significativa não apenas a *Atta robusta*, mas também a *Trachymyrmex atlanticus*, outra espécie ameaçada registrada na área de estudo. A instalação do empreendimento implica intervenções diretas sobre ambientes dunares, alteração da dinâmica sedimentar, supressão da vegetação nativa e aumento da fragmentação do habitat, fatores que podem levar à destruição de ninhos, à interrupção de rotas de forrageamento e à inviabilização de populações localmente restritas. A perda dessas espécies compromete não apenas a diversidade taxonômica da mirmecofauna, mas também funções ecológicas essenciais, como dispersão de sementes, ciclagem de nutrientes e manutenção da estrutura vegetal da restinga de Urussuquara.

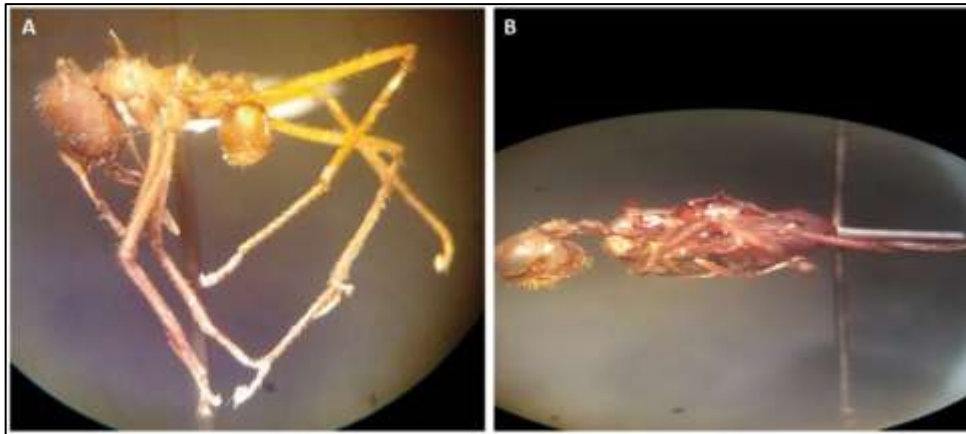


Figura 6. A- *Atta robusta* amostrada em P01; B- *Atta robusta* amostrada em P04

Fonte: Instituto Brasileiro de Engenharia, Meio Ambiente e Recursos Naturais.

Também foram registrados espécimes de *Trachymyrmex atlanticus*, espécie classificada como vulnerável à extinção conforme a Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014, do Ministério do Meio Ambiente. Trata-se de uma espécie com distribuição geográfica restrita, ocorrendo exclusivamente em áreas de restinga dos estados do Espírito Santo, Bahia e Rio de Janeiro, o que confere elevado valor conservacionista ao seu registro na área de estudo.

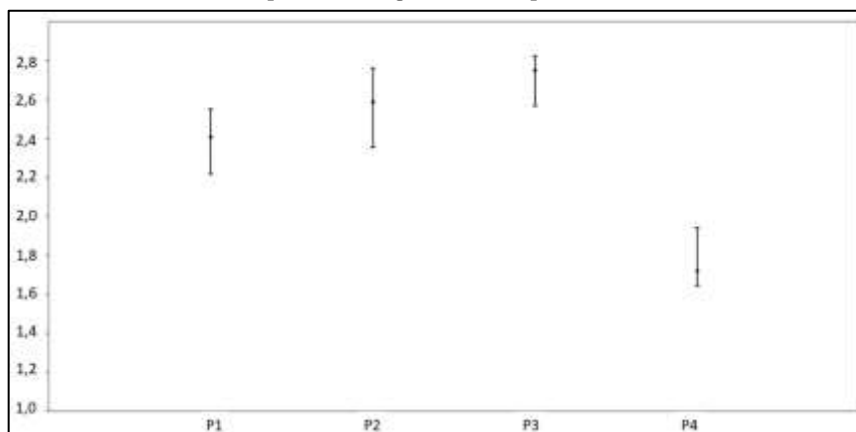
A análise do índice de diversidade de Shannon–Wiener evidenciou diferenças marcantes entre os ambientes amostrais (Gráfico 1). Os valores observados indicam que o ponto amostral P04 apresentou o menor índice de diversidade em relação às demais áreas, apesar de ter registrado elevada abundância de indivíduos e ocupar a terceira posição em termos de riqueza de espécies. Esse comportamento reflete uma distribuição desigual dos indivíduos entre as espécies, caracterizando uma comunidade dominada por poucos táxons altamente abundantes, o que resulta em menor equitabilidade e, conseqüentemente, em valores reduzidos do índice de Shannon.

O gráfico demonstra que os ambientes P01, P02 e, sobretudo, P03 apresentaram valores mais elevados de diversidade, com maior uniformidade na distribuição das espécies, sugerindo comunidades mirmecofaunísticas mais estruturalmente equilibradas. Em contraste, o padrão observado em P04 indica uma comunidade ecologicamente simplificada, na qual a abundância elevada está concentrada em poucos grupos dominantes, padrão típico de ambientes submetidos a maior estresse ambiental ou com menor complexidade estrutural.

Esse resultado está diretamente associado às características da fitofisionomia do ambiente P04, que apresentou a menor diversidade de espécies vegetais arbóreas entre os pontos amostrais. Trata-se de uma área predominantemente aberta de restinga, com elevada densidade de indivíduos no estrato herbáceo e baixa representatividade do estrato arbóreo. Essa simplificação estrutural limita a disponibilidade de nichos ecológicos, reduz a heterogeneidade ambiental e restringe a oferta de micro-habitats, fatores que influenciam diretamente a distribuição, a diversidade e a composição da comunidade de formigas.

Dessa forma, embora o ambiente P04 sustente elevada abundância de formicídeos, sua menor diversidade vegetal e estrutural resulta em uma mirmecofauna menos diversa e mais dominada, evidenciando a forte dependência da diversidade de formigas em relação à complexidade do habitat. Esse padrão reforça o potencial do índice de Shannon–Wiener como ferramenta sensível para detectar alterações na estrutura ecológica de ambientes de restinga e para subsidiar avaliações de impacto ambiental na região de Urussuquara.

Gráfico 1. Índice de Shannon–Weaver pareado segundo os espaços amostrais.



Fonte: Instituto Brasileiro de Engenharia, Meio Ambiente e Recursos Naturais.

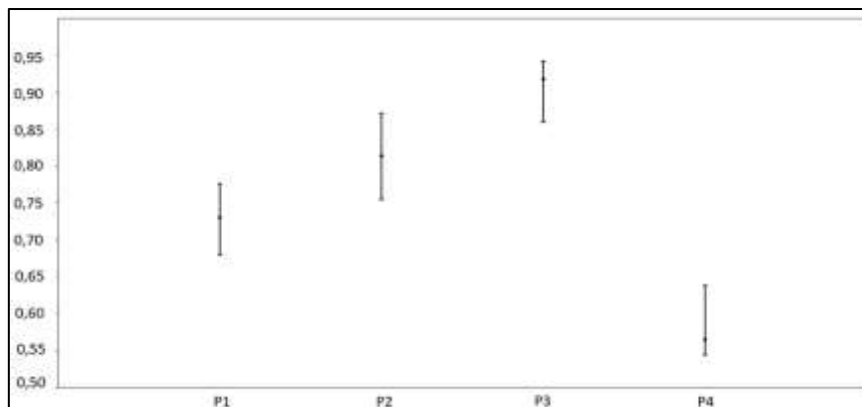
A análise da equitabilidade de Pielou (J') evidenciou diferenças claras na uniformidade da distribuição das espécies entre os ambientes amostrais (Gráfico 2). O ambiente P04 apresentou os menores valores de equitabilidade, indicando baixa homogeneidade na distribuição dos indivíduos entre as espécies e refletindo um padrão de forte dominância de poucos táxons sobre a comunidade mirmecofaunística local. Esse resultado confirma que, embora P04 apresente elevada abundância de indivíduos, a comunidade é estruturalmente desequilibrada, com concentração populacional em espécies dominantes.

Em contraste, o ambiente P03 apresentou os maiores valores de equitabilidade, demonstrando uma distribuição mais uniforme dos indivíduos entre as espécies registradas e, conseqüentemente, menor dominância ecológica. Esse padrão está diretamente associado à maior diversidade florística e à maior complexidade estrutural observadas nesse ponto amostral, condições que favorecem a coexistência de múltiplas espécies de formigas com diferentes estratégias ecológicas, reduzindo a monopolização de recursos.

O gráfico de equitabilidade reforça a relação positiva entre heterogeneidade ambiental e equilíbrio das comunidades biológicas. Enquanto ambientes estruturalmente mais complexos, como P03, tendem a sustentar comunidades mais equitativas e funcionalmente estáveis, áreas mais abertas e simplificadas, como P04, favorecem a dominância numérica de espécies generalistas e oportunistas. Esse padrão é típico de ecossistemas submetidos a maior estresse ambiental ou com menor diversidade de micro-habitats disponíveis.

Dessa forma, os valores de J' observados corroboram os resultados obtidos para o índice de Shannon–Wiener, demonstrando que a diversidade da mirmecofauna da restinga de Urussuquara não depende apenas da riqueza ou da abundância de espécies, mas está fortemente condicionada à estrutura da vegetação e à disponibilidade de nichos ecológicos. A equitabilidade de Pielou mostrou-se, portanto, um indicador sensível da qualidade ecológica dos ambientes amostrados, sendo particularmente útil para identificar áreas com elevada dominância biológica e menor resiliência ecológica.

Gráfico 2. Equitabilidade de Pielou pareada segundo os espaços amostrais.



Fonte: Instituto Brasileiro de Engenharia, Meio Ambiente e Recursos Naturais.

A curva de acumulação de espécies (Gráfico 3) apresentada evidencia um padrão típico de comunidades biológicas estruturadas ao longo de um gradiente ambiental, no qual a riqueza de formigas aumenta de forma não linear à medida que fitofisionomias com maior complexidade estrutural são incorporadas à análise. A forma logarítmica da curva, com incremento inicial acentuado seguido de uma tendência à estabilização, indica que o esforço amostral foi suficiente para captar a maior parte da diversidade regional da mirmecofauna associada às restingas de Urussuquara.

O primeiro incremento observado, associado à fitofisionomia psamófila-reptante (P1), reflete a presença de um conjunto restrito de espécies altamente adaptadas a condições extremas de insolação, salinidade e instabilidade do substrato arenoso. Esses ambientes funcionam como filtros ecológicos severos, permitindo a ocorrência de poucas espécies, geralmente generalistas e oportunistas, capazes de tolerar altas temperaturas e baixa disponibilidade de recursos. Ainda assim, a contribuição dessa fitofisionomia para a riqueza regional é relevante, pois abriga táxons especializados e estruturalmente importantes no contexto das dunas frontais.

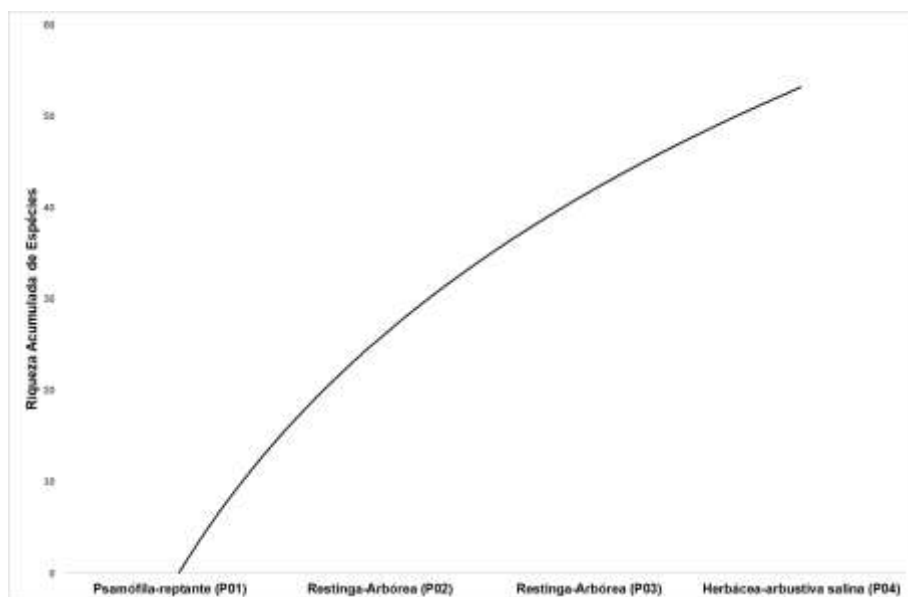
A incorporação da restinga arbórea (P2) resulta em um aumento expressivo da riqueza acumulada, evidenciando o papel da complexidade estrutural da vegetação na diversificação da mirmecofauna. O aumento da estratificação vertical, da serapilheira e da disponibilidade de micro-habitats favorece a coexistência de múltiplas guildas ecológicas, incluindo formigas arborícolas, predadoras e fungicultoras. Esse padrão confirma a forte relação positiva entre heterogeneidade ambiental e diversidade de formigas, amplamente descrita na literatura.

A continuidade da curva com a inclusão da restinga arbórea mais desenvolvida (P3) indica novo incremento na riqueza, porém com menor inclinação, sugerindo que grande parte da diversidade regional já havia sido registrada na fitofisionomia anterior. Ainda assim, P3 contribui com espécies adicionais, sobretudo aquelas associadas a ambientes mais estáveis e sombreados, reforçando o papel das formações florestais na manutenção da diversidade funcional da mirmecofauna.

Por fim, a adição da fitofisionomia herbácea-arbustiva salina (P4) resulta em um aumento marginal da riqueza acumulada, evidenciando a aproximação de um platô na curva. Esse comportamento indica que, embora P4 apresente elevada abundância de indivíduos, sua contribuição para a adição de novos táxons é limitada, padrão já observado nos baixos valores dos índices de Shannon-Wiener e de equitabilidade de Pielou. Ambientes salinos e mais abertos tendem a favorecer poucas espécies dominantes, reduzindo a diversidade e a uniformidade da comunidade.

De forma integrada, o gráfico demonstra que a diversidade de formigas na restinga de Urussuquara é fortemente dependente do mosaico de fitofisionomias e, sobretudo, da manutenção das formações arbóreas. A tendência de estabilização da curva sugere que intervenções que resultem na supressão ou simplificação dessas fitofisionomias, como aquelas associadas à implantação do Porto de Urussuquara, podem não provocar perdas imediatas na riqueza total observada, mas tendem a causar impactos profundos na composição, na equitabilidade e na funcionalidade da mirmecofauna. A perda de ambientes estruturalmente complexos compromete a persistência de espécies especializadas e ameaça processos ecológicos essenciais, como a dispersão de sementes, a ciclagem de nutrientes e as interações inseto-planta que sustentam a dinâmica das restingas costeiras

Gráfico 3. Curva de acumulação de espécies de formigas gerada para a restinga de Urussuquara.



Fonte: Instituto Brasileiro de Engenharia, Meio Ambiente e Recursos Naturais.

A ordenação obtida pela análise não-métrica multidimensional (nMDS), construída a partir da matriz de similaridade de Bray-Curtis com base na frequência de ocorrência (F0%) e na abundância das espécies, evidencia uma clara diferenciação na composição das assembleias entre as fitofisionomias amostradas (Gráfico 4). A separação espacial dos pontos no plano bidimensional indica que as comunidades não são aleatoriamente distribuídas, mas organizadas ao longo de um gradiente ambiental associado à estrutura da vegetação, à salinidade, à estabilidade do substrato e à disponibilidade de micro-habitats.

A fitofisionomia psamófila-reptante (P01) posiciona-se de forma relativamente próxima à formação herbácea-arbustiva salina (P04), indicando maior similaridade na composição da comunidade entre esses ambientes. Esse agrupamento reflete a predominância de espécies generalistas, oportunistas e tolerantes a condições ambientais extremas, como elevada insolação, salinidade e instabilidade do solo arenoso. Em ambos os ambientes, a elevada abundância de poucos táxons dominantes resulta em comunidades estruturalmente simplificadas, padrão previamente evidenciado pelos baixos valores de equitabilidade de Pielou e pela menor diversidade de Shannon-Wiener.

Em contraste, as fitofisionomias de restinga arbórea (P02 e P03) encontram-se claramente separadas de P01 e P04 ao longo do eixo 1 do nMDS, indicando diferenças substanciais na composição das espécies. Esse afastamento reflete o efeito da maior complexidade estrutural da vegetação arbórea, que favorece a coexistência de múltiplas guildas ecológicas, incluindo espécies arborícolas, predadoras de serapilheira e táxons mais especializados. A maior heterogeneidade ambiental dessas formações resulta em comunidades menos dominadas e mais equilibradas, conforme corroborado pelos maiores valores de Shannon e Pielou registrados nesses pontos.

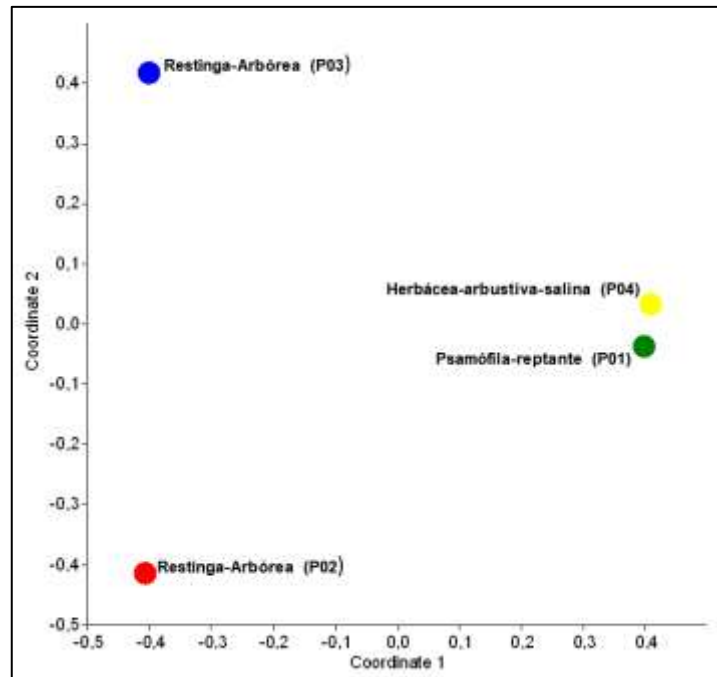
A separação entre P02 e P03 ao longo do eixo 2 sugere que, embora ambas sejam classificadas como restinga arbórea, existem diferenças internas relevantes na composição das assembleias, possivelmente associadas a variações na densidade do dossel, espessura da serapilheira, umidade do solo e grau de conservação local. O posicionamento mais isolado de P03 indica uma comunidade mais distinta e especializada, compatível com seu papel como fitofisionomia de maior complexidade estrutural e maior diversidade funcional dentro da área de estudo.

A proximidade relativa entre P01 e P04, aliada ao afastamento das formações arbóreas, reforça a interpretação de que a abundância elevada observada nesses ambientes não se traduz em maior diversidade ecológica, mas sim em dominância numérica de poucos táxons. Esse padrão é consistente com a curva de acumulação de espécies, que indicou ganho marginal de riqueza com a inclusão de P04, e com os índices univariados, que apontaram menor equitabilidade e maior simplificação da comunidade nesses ambientes.

De forma integrada, o nMDS demonstra que a estrutura da mirmecofauna da restinga de Urussuquara é fortemente condicionada pela fitofisionomia e pela complexidade do habitat, mais do que pela proximidade espacial entre os pontos amostrais. Esse resultado tem implicações diretas para a

conservação, pois indica que a supressão ou simplificação das formações arbóreas tende a promover a homogeneização biótica, aproximando a composição das comunidades daquelas observadas em ambientes abertos e salinos. Nesse contexto, empreendimentos de grande porte, como o Porto de Urussuquara, podem intensificar esse processo, reduzindo a diversidade funcional e comprometendo a persistência de espécies mais especializadas e de maior valor conservacionista.

Gráfico 4. Gráfico da análise não-métrica multidimensional (nMDS) elaborado a partir da matriz de similaridade de Bray-Curtis, com base nas FO % e na abundância das espécies de térmitas nas fitofisionomias amostrais. Stress=0



Fonte: Instituto Brasileiro de Engenharia, Meio Ambiente e Recursos Naturais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Mata Atlântica é reconhecida como uma área de elevada diversidade biológica e endemismo, sendo alvo de inúmeras iniciativas voltadas à restauração florestal e à conservação de seus ecossistemas. Paradoxalmente, ambientes associados a esse bioma, como as restingas costeiras, continuam sendo sistematicamente suprimidos e fragmentados. A restinga de Urussuquara insere-se nesse contexto de contradição, no qual ações simultâneas de licenciamento ambiental conduzidas por órgãos estaduais e empreendimentos privados têm promovido a perda contínua de habitats, comprometendo a integridade ecológica de um ecossistema altamente especializado e sensível.

A dinâmica da mirmecofauna registrada na restinga de Urussuquara evidencia o papel central das formigas na organização e manutenção dos processos ecológicos desses ambientes. Como engenheiras de ecossistema, as formigas influenciam diretamente a estrutura do solo, a ciclagem de nutrientes, a dispersão de sementes, as interações insetos-plantas e a regulação das comunidades de outros artrópodes, atuando como elementos-chave para a sucessão ecológica e para a resiliência das restingas frente a distúrbios ambientais.

A ocorrência de espécies ameaçadas de extinção, como *Atta robusta* e *Trachymyrmex atlanticus*, reforça a relevância conservacionista da área de estudo e evidencia a vulnerabilidade das comunidades de invertebrados frente à perda e à simplificação das fitofisionomias costeiras. Ambas as espécies apresentam distribuição geográfica restrita e forte associação a ambientes arenosos estáveis, tornando-se particularmente suscetíveis a alterações no uso do solo, compactação, supressão da vegetação e fragmentação do habitat. A conservação dessas espécies depende, portanto, da manutenção da integridade estrutural das restingas e da proteção de seus mosaicos ambientais.

Além disso, é importante destacar que a diversidade real da mirmecofauna da restinga de Urussuquara pode ser ainda maior, uma vez que a composição das assembleias de formigas apresenta variações sazonais associadas a fatores climáticos, fenológicos e reprodutivos. Levantamentos adicionais em diferentes épocas do ano tendem a revelar novos táxons e ampliar a compreensão sobre a dinâmica temporal dessas comunidades, reforçando a necessidade de estudos de longo prazo.

Por fim, este estudo evidencia uma lacuna estrutural nas políticas públicas de conservação, especialmente no que se refere à proteção de invertebrados ameaçados. Embora vertebrados e plantas recebam maior atenção em instrumentos legais e processos de licenciamento, grupos como as formigas, apesar de sua importância ecológica amplamente reconhecida, permanecem sub-representados nas estratégias de conservação. A inclusão efetiva de invertebrados em listas de espécies prioritárias, planos de manejo e ações de restauração é fundamental para assegurar a funcionalidade ecológica das restingas e a conservação da biodiversidade associada à Mata Atlântica

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Brasileiro de Engenharia, Meio Ambiente e Recursos Naturais, pelo financiamento e contribuição científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, D. S.; SANTOS, I. A. dos; RAMOS, F. N.; BARRIOS-ROJAS, K. E.; MAJER, J. D.; VILELA, E. F. Matrizes agrícolas afetam a composição da assembleia de formigas terrestres em fragmentos florestais. *PLOS ONE*, v. 13, n. 5, e0197778, 2018.
- BACCARO, F. B.; FEITOSA, R. M.; FERNANDEZ, F.; FERNANDES, I. O.; IZZO, T. J.; SOUZA, J. L. P.; SOLAR, R. *Guia para os gêneros das formigas do Brasil*. Manaus: INPA, 2015. 388 p.
- BONNET, A.; LOPES, B. C. Formigas de dunas e restingas da Praia da Joaquina, Ilha de Santa Catarina, SC (Insecta: Hymenoptera). *Biotemas*, v. 6, n. 1, p. 107–114, 1993.
- BOROWIEC, M. L.; RABELING, C.; BRADY, S. G.; FISHER, B. L.; SCHULTZ, T. R.; WARD, P. S. Compositional heterogeneity and outgroup choice influence the internal phylogeny of ants. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, v. 134, p. 111–121, 2019.
- BOSCARDIN, J.; COSTA, E. C.; DELABIE, J. H. C. Relação entre guildas de formigas e a qualidade ambiental em *Eucalyptus grandis* submetido a diferentes controles de plantas infestantes no sul do Brasil. *Entomotropica*, v. 29, n. 3, p. 173–182, 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria MMA nº 444, de 17 de dezembro de 2014. Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2014.
- BRANSTETTER, M. G.; JEŠOVNÍK, A.; SOSA-CALVO, J.; LLOYD, M. W.; SCHULTZ, T. R. Dry habitats were crucibles of domestication in the evolution of agriculture in ants. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 284, n. 1852, p. 20170095, 2017.

CASIMIRO, M. S.; FILARDI, R. A. E.; SANSEVERO, J. B. B.; SANTANGELO, J. M.; FEITOSA, R. M.; QUEIROZ, J. M. Concordância entre plantas regenerantes, formigas e outros artrópodes na Mata Atlântica: a importância da identidade das árvores do dossel. *Iheringia, Série Zoologia*, v. 112, e2022001, 2022.

DÁTILLO, W.; FAGUNDES, R.; GURKA, C. A. Q.; SILVA, M. S. A.; VIEIRA, M. C. L.; IZZO, T. J.; DÍAZ-CASTELAZO, C.; DEL CLARO, K.; RICO-GRAY, V. Individual-based ant-plant networks: diurnal-nocturnal structure and species-area relationship. *PLOS ONE*, v. 9, n. 6, e99838, 2014.

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

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

FRANÇA, E. C.; QUEIROZ, J. M. Amigas ou inimigas? O que os livros dizem sobre as formigas (Hymenoptera: Formicidae) e o que eles podem revelar. *A Bruxa*, v. 5, p. 110-119, 2021.

LOPES, B. C. Diversidade de formigas em ecossistemas litorâneos: restingas e manguezais. In: SIMPÓSIO DE MIRMECOLOGIA, 16., 2003, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Editora da UFSC, 2003. p. 31-39.

MENEZES, M. R.; LAVISKI, B. F. S.; PREXEDES, A. L. S.; FRANÇA, E. C.; MOREIRA, M. S.; CONCEIÇÃO-NETO, R.; QUEIROZ, J. M. Flower visitation by bees, wasps and ants: interaction networks in a botanical garden. *Sociobiology*, v. 69, e001, 2022.

PASSAMANI, M.; MENDES, S. L. *Espécies da fauna ameaçadas de extinção no Estado do Espírito Santo*. Vitória: Instituto de Pesquisas da Mata Atlântica, 2007. 140 p.

SAMPAIO, R. C.; LAVISKI, B. F. S.; COELHO, R. C. S.; QUEIROZ, J. M. Effects of vegetation structure on ant diversity in different seasonal periods in impacted fragments of Atlantic Forest. *Sociobiology*, v. 70, e001, 2023.

SANTOS, A. P. L.; MENEZES, M. R.; LAVISKI, B. F. S.; FRANÇA, E. C. B.; QUEIROZ, J. M. Perception about pollinating insects at the Federal Rural University of Rio de Janeiro, Brazil. *Diversitas Journal*, v. 8, p. 760-770, 2023.

SILVA, C. V. V.; CARVALHO, A. G.; ALMEIDA, J. R.; ABREU, L. A. S.; SILVA, K. A.; TAVARES, R. Population fluctuation of coleobrocas (Coleoptera) in six forest fragments of the Atlantic Forest. *Floresta e Ambiente*, v. 26, e20180412, 2019.

SILVA, C. V. V.; ALMEIDA, J. R.; SILVA, C. E.; CARVALHO, L. O.; SILVA, C. D. Physical-chemical monitoring of the Linhares and São Mateus aquatic ecosystems after the Fundão dam failure, Mariana, Minas Gerais. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 9, n. 5, p. 1-II, 2018.

SILVA, C. V. V.; ABREU, L. A. S.; LEAL, J. C.; KALAOUM, J.; SILVA, S. Levantamento da entomofauna da APA Guandu-Jacatirão, Queimados, RJ, e seu uso na avaliação ambiental. In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 14., 2017. *Anais...* Poços de Caldas, 2017.

SILVA, R. R.; BRANDÃO, C. R. F.; QUEIROZ, J. M.; FRANÇA, E. C.; BECKER, E. L.; BARRERA, C. A.; CASIMIRO, M. S. Atlantic ants: a dataset of ants in Atlantic Forests of South America. *Ecology*, v. 102, e03282, 2021.

SOUZA, C. A. S.; QUEIROZ, J. M. Climbing high to avoid thieves. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 18, p. 297, 2020.

VARGAS, A. B.; MAYHÉ-NUNES, A. J.; QUEIROZ, J. M.; SOUZA, G. O.; RAMOS, E. F. Efeitos de fatores ambientais sobre a mirmecofauna em comunidades de restinga no Rio de Janeiro, RJ. *Neotropical Entomology*, v. 36, n. 1, p. 28-37, 2007.

VIEIRA, N. C.; CARVALHO, L. O.; SILVA, C. V. V.; ABREU, L. A. S. A importância das operações de manejo e resgate de fauna na implantação de empreendimentos imobiliários no bioma Mata Atlântica. In: SEMANA ACADÊMICA DE BIOLOGIA, 37., 2017. *Anais...* Seropédica: UFRRJ, 2017.

VITÓRIO, C. V.; CARVALHO, A. G.; SILVA, K. A.; TOMAS JÚNIOR, O. A.; SILVA, C. D.; LIMA, E. L. C.; ESPER, F. J. Population fluctuation of termitofauna (Blattodea: Isoptera) in six forest fragments of the Atlantic Forest. *Floresta e Ambiente*, v. 26, e20180470, 2019.

WARD, P. S.; BRADY, S. G.; FISHER, B. L.; SCHULTZ, T. R. The evolution of myrmecophagy and ant diversification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 112, n. 25, p. 7344-7349, 2015.

YUSAH, K. M.; FOSTER, W. A. Tree size and habitat complexity affect ant communities (Hymenoptera: Formicidae) in the high canopy of Bornean rainforest. *Myrmecological News*, v. 23, p. 15-23, 2016.

