

Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) de solo nas vizinhanças do Parque Estadual Botânico do Ceará, Brasil

Diversity of soil ants (Hymenoptera: Formicidae) in the vicinity of the Botanical Park of the State of Ceará, Brazil

Diversidad de hormigas de suelo (Hymenoptera: Formicidae) en las inmediaciones del Parque Estadual Botânico do Ceará, Brasil

Recebido: 01/04/2022 | Revisado: 07/04/2022 | Aceito: 08/04/2022 | Publicado: 14/04/2022

Paulo Aragão de Azevedo Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4824-8588>

Universidade Estadual do Ceará, Brasil

E-mail: prof.pauloaragao@gmail.com

José Danúzio da Silva Saraiva Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8221-2872>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: danuziojd@gmail.com

Selene Maia de Moraes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2766-3790>

Universidade Estadual do Ceará, Brasil

E-mail: selenemaiademoraes@gmail.com

Resumo

Estudos de monitoramento da biodiversidade no Brasil são escassos, em especial aqueles relacionados às comunidades de formigas da região Nordeste. Tendo em vista essa carência, duas áreas distintas de um fragmento de vegetação urbana, próximas ao Parque Estadual Botânico do Ceará, foram avaliadas para verificar a hipótese de que as comunidades possuem distinções de riqueza, diversidade, dissimilaridade e equitabilidade de espécies. A primeira área de coleta era formada por uma Mata de Tabuleiro e a segunda por uma vegetação herbácea. Um total de 50 pontos de coleta, por ambiente, foram distribuídos ao longo de cinco transectos. Em cada ponto foram utilizados três métodos de coleta (*pitfall trapping*, iscas de mel e iscas de sardinha). Um total de 37 espécies de 24 gêneros e sete subfamílias foram identificados. A riqueza dos ambientes se mostrou similar, apesar de uma nítida diferença na composição e na heterogeneidade das comunidades. A heterogeneidade da área de vegetação herbácea foi influenciada pela temperatura. Os índices de diversidade e equitabilidade das comunidades revelaram baixa biodiversidade e uniformidade na distribuição da abundância relativa das espécies. Três espécies apresentaram alta abundância relativa: *Paratrechina longicornis* (85,39%), *Solenopsis saevissima* (63,05%) e *Pheidole biconstricta* (18,95%). Foi observada uma baixa proporção de espécies generalistas (8,1%), raras (35,1%) e especialistas (Mata de Tabuleiro: 27% e Herbácea: 29,7%), indicando a ocorrência de um forte desequilíbrio ambiental nas regiões.

Palavras-chave: Ecologia; Biodiversidade; Dissimilaridade; Equitabilidade.

Abstract

Biodiversity monitoring studies in Brazil are scarce, especially those related to ant communities in the Northeast region. In view of this lack, two distinct areas of a fragment of urban vegetation, close to the Parque Estadual Botânico do Ceará, were evaluated to verify the hypothesis that the communities have distinctions of richness, diversity, dissimilarity and equitability of species. The first collection area was formed by a Mata de Tabuleiro and the second by herbaceous vegetation. A total of 50 collection points, per environment, were distributed along five transects. At each point, three collection methods were used (*pitfall trapping*, honey baits and sardine baits). A total of 37 species from 24 genera and seven subfamilies were identified. The richness of the environments was similar, despite a clear difference in the composition and heterogeneity of the communities. The heterogeneity of the herbaceous vegetation area was influenced by temperature. The indices of diversity and equitability of the communities revealed low biodiversity and uniformity in the distribution of the relative abundance of the species. Three species showed high relative abundance: *Paratrechina longicornis* (85.39%), *Solenopsis saevissima* (63.05%) and *Pheidole biconstricta* (18.95%). A low proportion of generalist (8.1%), rare (35.1%) and specialist species (Mata de Tabuleiro: 27% and Herbaceous: 29.7%) was observed, indicating the occurrence of a strong environmental imbalance in the regions.

Keywords: Ecology; Biodiversity; Dissimilarity; Equitability.

Resumen

Los estudios de monitoreo de la biodiversidad en Brasil son escasos, especialmente los relacionados con las comunidades de hormigas en la región Nordeste. Ante esta carencia, dos áreas distintas de un fragmento de vegetación urbana, cerca del Parque Estadual Botânico do Ceará, fueron evaluadas para verificar la hipótesis de que las comunidades tienen distinciones de riqueza, diversidad, disimilitud y equidad de especies. La primera zona de recolección estuvo formada por una Mata de Tabuleiro y la segunda por una vegetación herbácea. Se distribuyeron un total de 50 puntos de recolección, por ambiente, a lo largo de cinco transectos. En cada punto se utilizaron tres métodos de recolección (trampas pitfall, cebos de miel y cebos de sardina). Se identificaron un total de 37 especies de 24 géneros y siete subfamilias. La riqueza de los ambientes fue similar, a pesar de una clara diferencia en la composición y heterogeneidad de las comunidades. La heterogeneidad del área de vegetación herbácea estuvo influenciada por la temperatura. Los índices de diversidad y equidad de las comunidades revelaron baja biodiversidad y uniformidad en la distribución de la abundancia relativa de las especies. Tres especies mostraron abundancia relativa alta: *Paratrechina longicornis* (85,39%), *Solenopsis saevissima* (63,05%) y *Pheidole biconstricta* (18,95%). Se observó una baja proporción de especies generalistas (8,1%), raras (35,1%) y especialistas (Mata de Tabuleiro: 27% y Herbácea: 29,7%), lo que indica la ocurrencia de un fuerte desequilibrio ambiental en las regiones.

Palabras clave: Ecología; Biodiversidad; Disimilitud; Equidad.

1. Introdução

O monitoramento da biodiversidade é importante para o processo de preservação e conservação das espécies. Uma avaliação constante das comunidades permite a tomada de ações que reduzam o impacto ambiental, minimizando assim, os efeitos decorrentes das mudanças climáticas e da degradação ambiental, fatores que afetam a diversidade biológica (Habibullah et al., 2022; Talukder et al., 2022). Contudo, antes que qualquer medida protetiva possa ser tomada, é importante conhecer a estruturação dos ecossistemas, compreendendo a composição das comunidades biológicas e os relacionamentos desenvolvidos entre as suas diferentes espécies.

Para avaliar a biodiversidade dos ecossistemas, é importante conhecer a sua diversidade gama (γ), o que ocorre por meio do estudo dos seus componentes alfa (α) e beta (β). Essa divisão da diversidade permite a realização de uma avaliação quantitativa e qualitativa das comunidades biológicas, fornecendo informações sobre a diversidade local e, também, sobre a distribuição de suas espécies (Costa & Schmidt, 2022). Um modo rápido de avaliar a diversidade dos ecossistemas e os possíveis impactos que eles estão sofrendo se dá pela utilização de indicadores biológicos, organismos com alta diversidade local, biomassa e que permitem uma avaliação da qualidade do ar (Santos et al., 2018), da água (Souza et al., 2021) e do solo (Dahiya et al., 2022).

Os artrópodes são ótimos indicadores biológicos (Karmakar et al., 2022) e, dentre eles, as formigas se destacam por estarem presentes em quase todos os tipos de ecossistemas, por serem capazes de ocupar diferentes tipos de estratos da vegetação e por possuírem grande endemismo e riqueza local, além de possuírem ninhos numerosos e, em geral, superpopulosos e perenes, condições que permitem a realização de várias coletas ao longo do tempo sem causar grande impacto às populações (Agosti et al., 2000). No Brasil ainda há poucos estudos sobre a composição da comunidade de formigas (mirmecofauna) da Caatinga. Um levantamento das publicações sobre a mirmecofauna demonstrou que a maioria dos artigos está associada aos biomas da mata Atlântica (143) e Amazônica (111), evidenciando uma carência de trabalhos relativos ao Cerrado (106), a Caatinga (38), ao Pantanal (14) e ao Pampa (4) (Schmidt et al., 2022). Tendo em vista a crescente degradação dos ecossistemas naturais urbanos e a carência de estudos relativos à fauna de formigas da região Nordeste, uma avaliação da diversidade α e β de dois ambientes com diferentes coberturas vegetais foi conduzida como objetivo de verificar as hipóteses de que a riqueza, diversidade, similaridade e equitabilidade das espécies desses ambientes são distintas e, ainda, que as variáveis ambientais temperatura e a umidade relativa do ar possuem influência sobre a riqueza de espécies das regiões.

2. Metodologia

Coleta, triagem e identificação de espécimes

Um estudo qualitativo-quantitativo foi conduzido em um fragmento de vegetação urbana localizado no município de Caucaia (Ceará, Brasil). As formigas foram coletadas durante a estação chuvosa (dezembro de 2020 a março de 2021), em dois tipos de vegetação próximas ao Parque Estadual Botânico do Ceará (Autorizações do MMA/ICMBIO/SISBIO: 77402-1 e do Comitê de Ética da Universidade Estadual do Ceará - CEUA: 10137160/2019). O primeiro ambiente é composto por uma vegetação do tipo Mata de Tabuleiro (3°43'10.1"S 38°38'17.5"W) e o segundo por uma vegetação herbácea (3°41'41.0"S 38°38'08.0"W) próxima a um ambiente Manguezal (Figura 1). Os dois setores selecionados possuíam aproximadamente 50.000 m² de área de coleta, sendo distanciados um do outro por cerca de dois quilômetros.

Figura 1. Áreas de coleta. Mata de Tabuleiro (esquerda) e vegetação herbácea (direita).



Fonte: Autores.

Em cada uma das áreas foram demarcados cinco transectos com dez pontos de coleta cada, totalizando 100 pontos de amostragem (50 na Mata de Tabuleiro e 50 na região de vegetação herbácea). Dados ambientais (temperatura e umidade relativa do ar) foram obtidos para cada ponto de coleta. Os pontos dos transectos foram dispostos em sequência linear, respeitando-se a distância mínima de 10 m entre eles. Os transectos, por sua vez, foram distanciados uns dos outros em pelo menos 50 m. Em cada ponto de coleta foram utilizados três métodos de captura: (1) iscas de sardinha, (2) iscas de mel e (3) armadilhas do tipo *pitfall-trapping* (Agosti et al., 2000).

As iscas de sardinha e mel foram dispostas no solo em cada um dos pontos de coleta, simultaneamente, permanecendo ativas, das 7:30 às 9h. As armadilhas *pitfall* possuíam dimensões de 9x14 cm (abertura do copo x comprimento do recipiente) e foram dispostas por volta das 7:00h, permanecendo ativas por um período de 48h (Agosti et al., 2000). No interior das armadilhas foi colocada solução salina saturada (150 mL) para garantir a preservação dos espécimes capturados até o momento da recuperação das armadilhas. Desta forma, um total de 300 unidades amostrais foram obtidas ao final das coletas.

Todos os espécimes capturados foram armazenados, etiquetados e enviados ao laboratório. As formigas capturadas por meio das iscas foram sacrificadas por congelamento em freezer (-20°C). As diferentes amostras foram submetidas à triagem, contagem de abundância e identificação dos espécimes com base nas suas características morfológicas e, para tal, foram utilizadas chaves de classificação taxonômica de formicídeos (Baccaro, 2015) e banco de imagens de espécimes de referência (AntWeb, 2021). O processo de identificação foi realizado até o nível de gênero e, quando possível, até o nível de espécie.

Análises estatísticas da diversidade α e β

A riqueza dos ambientes foi avaliada por meio de curvas de acumulação de espécies, com rarefação, que se expressam em função do esforço amostral. A curva de acumulação média é obtida através de aleatorização das amostras. Quando uma curva

atinge um platô, significa que o esforço amostral realizado na área foi suficiente para capturar todas as espécies. O estimador de riqueza Chao 2 foi utilizado para se avaliar a diversidade alfa com base nos registros das espécies consideradas duplicadas (Magurran, 1988; Longino, 2000).

A diversidade α (alfa) dos ambientes foi mensurada por meio do índice de uniformidade de Shannon-Wiener (H'), o qual assume que as amostras são aleatórias numa comunidade em que todas as espécies são conhecidas. Neste índice, mensura-se o grau de incerteza de se prever a que espécie irá pertencer um indivíduo escolhido aleatoriamente em uma comunidade de S espécies e N indivíduos. A partir do índice de Shannon é possível calcular a equitabilidade de Pielou (J) que, por sua vez, fornece uma indicação do quanto a diversidade observada se aproxima da diversidade máxima, o que ocorre quando os indivíduos estão distribuídos igualmente entre as espécies (Magurran, 1988).

A diversidade β (beta) foi avaliada com base no índice de similaridade de Sørensen, o qual se baseia na presença e ausência das espécies (Magurran, 1988). Os dados de presença e ausência das espécies foram utilizados para elaboração de uma matriz de distância que, por sua vez, foi utilizada para a elaboração de um dendograma UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean*) e uma análise de escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) para verificar, respectivamente, os agrupamentos e as heterogeneidades entre os transectos dos ambientes (Kruskal, 1964; Gotelli & Ellison, 2016). Os dados de abundância e distribuição das espécies também foram utilizados para a análise de classificação multinomial de espécies (CLAM), fornecendo dados relativos à identificação de organismos especialistas, generalistas e muito raros no ambiente (Chazdon et al., 2011).

Os dados relativos à riqueza de espécies foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro & Wilk, 1965) e à análise de variância (ANOVA), enquanto os dados oriundos da abundância e das variáveis ambientais (temperatura e umidade relativa do ar) foram submetidos à análise de variância multivariada (PERMANOVA) (Anderson, 2017). As análises de diversidade e os demais testes estatísticos foram conduzidos com o pacote “Vegan” (Oksanen, 2020) do software RStudio (RStudio, 2022).

3. Resultados e Discussão

Análise de diversidade

As coletas realizadas nos ambientes selecionados possibilitaram a identificação de 37 espécies, distribuídas em 24 gêneros e sete subfamílias (Tabela 1). Em termos absolutos, esse padrão de riqueza é similar ao de outras comunidades de formigas na Caatinga, onde foram registradas 37 espécies de formigas arborícolas pertencentes a 16 gêneros e cinco subfamílias (Sousa-Souto et al., 2016). Os resultados também foram similares aos de um estudo realizado em uma área de transição entre o Cerrado e a Caatinga, onde foram encontradas 31 espécies de 14 gêneros e cinco subfamílias (Miranda et al., 2022). Contudo, em outro estudo realizado em uma área de transição entre esses mesmos biomas, foi observado um padrão de riqueza muito superior, com 137 espécies de 35 gêneros e nove subfamílias (Neves et al., 2013). Com exceção do último exemplo, o padrão de diversidade observado parece ser similar ao dos demais estudos sobre a comunidade de formigas da Caatinga, apresentando uma maior diversidade de gêneros e subfamílias.

Tabela 1. Abundância absoluta e relativa, por subfamília e espécie, das formigas amostradas na Mata de Mata de Tabuleiro (MT) e na vegetação herbácea (HB) próximas ao Parque Estadual Botânico do Ceará. As espécies em destaque são as que possuem as maiores abundâncias relativas.

	Táxons	Abundâncias			
		MT	%	HB	%
	Subfamília Amblyoponinae				
1	<i>Prionopelta menininha</i> (Ladino & Feitosa, 2020)	2	0,03		
	Subfamília Dolichoderinae				
2	<i>Azteca chartifex cearensis</i> (Forel, 1903)	4	0,06	1	0,01
3	<i>Dorymyrmex pyramicus</i> (Roger, 1863)	12	0,18	240	2,79
4	<i>Linepithema neotropicum</i> (Wild, 2007)			2	0,02
	Subfamília Dorylinae				
5	<i>Neivamyrmex pertii</i> (Shuckard, 1840)	2	0,03	24	0,28
	Subfamília Ectatomminae				
6	<i>Ectatomma edentatum</i> (Roger, 1863)	413	6,08	74	0,86
7	<i>Ectatomma</i> sp.2	17	0,25		
8	<i>Gnamptogenys striatula</i> (Mayr, 1884)	16	0,24	2	0,02
	Subfamília Formicinae				
9	<i>Camponotus crassus</i> (Mayr, 1862)	76	1,12	70	0,82
10	<i>Camponotus melanoticus</i> (Emery, 1894)	61	0,90	1	0,01
11	<i>Paratrechina longicornis</i> (Latreille, 1802)	5799	85,39	18	0,21
	Subfamília Myrmicinae				
12	<i>Atta sexdens</i> (Linnaeus, 1758)			56	0,65
13	<i>Carebara panamensis</i> (Wheeler, 1925)	18	0,27		
14	<i>Cephalotes pusillus</i> (Klug, 1824)	4	0,06	1	0,01
15	<i>Crematogaster pygmaea</i> (Forel, 1904)			532	6,19
16	<i>Cyphomyrmex rimosus</i> (Spinola, 1851)	2	0,03	14	0,16
17	<i>Cyphomyrmex transversus</i> (Emery, 1894)	1	0,01		
18	<i>Pheidole biconstricta</i> (Mayr, 1870)	55	0,81	1627	18,95
19	<i>Pheidole</i> sp.2	28	0,41	27	0,31
20	<i>Pheidole</i> sp.3	8	0,12		
21	<i>Pheidole</i> sp.4	6	0,09		
22	<i>Pheidole</i> sp.5			91	1,06
23	<i>Pheidole</i> sp.6			1	0,01
24	<i>Solenopsis orestes</i> (Forel, 1903)	4	0,06	1	0,01
25	<i>Solenopsis globularia</i> (Smith, 1858)			1	0,01
26	<i>Solenopsis saevissima</i> (Smith, 1855)			5415	63,05
27	<i>Solenopsis</i> sp.4			144	1,68
28	<i>Solenopsis</i> sp.5			11	0,13
29	<i>Strumigenys denticulata</i> (Mayr, 1887)	1	0,01		
30	<i>Strumigenys grytava</i> (Bolton, 2000)	2	0,03		
31	<i>Trachymyrmex</i> sp.1	7	0,10		
32	<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863)	65	0,96	31	0,36
33	<i>Wasmannia rochai</i> (Forel, 1912)			196	2,28
	Subfamília Ponerinae				
34	<i>Dinoponera quadriceps</i> (Kempf, 1971)	82	1,21	3	0,03
35	<i>Hypoponera trigona</i> (Mayr, 1887)	11	0,16	1	0,01
36	<i>Odontomachus bauri</i> Emery, 1892	95	1,40	3	0,03
	Subfamília Pseudomyrmecinae				
37	<i>Pseudomyrmex simplex</i> (Smith, 1877)			1	0,01
	Total	6791	100	8588	100

Fonte: Autores.

Os dados relativos à riqueza observada dos ambientes apresentaram normalidade ($p = 0,492$; $\alpha = 0,05$) e a ANOVA indicou que os mesmos não possuem significância ($p = 0,111$; $\alpha = 0,05$) e, por esse motivo, são estatisticamente iguais. O esforço

amostral realizado na Mata de Tabuleiro resultou na captura de 26 espécies, enquanto na área de vegetação herbácea, foram capturadas um total de 28 espécies. Nove espécies são exclusivas da Mata de Tabuleiro e onze do ambiente de vegetação herbácea. Um total de 17 espécies são comuns aos dois ambientes. Foram identificadas seis subfamílias na Mata de Tabuleiro. A subfamília Formicinae foi a que apresentou maior abundância relativa (87,41%) de indivíduos capturados, seguida das subfamílias Ectatomminae (6,57%), Myrmicinae (2,96%), Ponerinae (2,77%), Dolichoderinae (0,24%), Dorylinae (0,03%) e Amblyoponinae (0,03%).

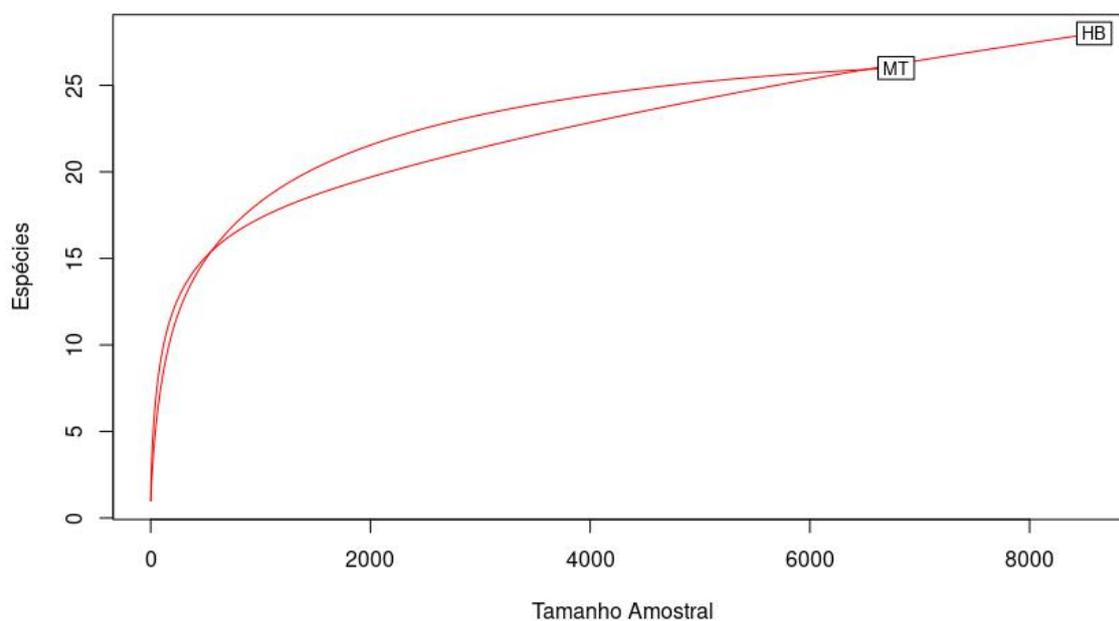
A subfamília Myrmicinae apresentou a maior riqueza de espécies (22) e a espécie *Paratrechina longicornis* (Latreille, 1802) foi a que apresentou a maior abundância relativa (85,39%) na Mata de Tabuleiro. Essa espécie já foi registrada em fragmentos florestais urbanos anteriormente (Ramos Ortega et al., 2021), sendo conhecida como praga agrícola e doméstica de zonas temperadas (Nickerson & Barbara, 2003) que possui um comportamento de forrageamento oportunista e ninhos temporários que podem mudar de acordo com as perturbações (Baccaro, 2015). No ambiente de vegetação herbácea, a subfamília Myrmicinae foi a que apresentou a maior abundância relativa (94,86%), seguida das subfamílias Dolichoderinae (2,82%), Formicinae (1,04%), Ectatomminae (0,88%), Dorylinae (0,28%), Ponerinae (0,07%), Amblyoponinae (0,03%) e Pseudomyrmecinae (0,01%). A espécie *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855) foi a que apresentou a maior abundância (63,05%). Esse gênero possui uma distribuição mundial e um comportamento generalista, podendo ser encontrado em ambientes florestais, campestres e urbanos (Baccaro, 2015), formando super colônias (Helanterä, 2022) e já foi associada a danos às folhas e ao tronco da espécie *Schizolobium amazonicum* (Vogel, 1837) condição que se reflete em prejuízos comerciais (Lunz et al., 2009).

Em uma área de floresta amazônica de terra firme, um total de 21 espécies (557 indivíduos) de formigas distribuídas em nove gêneros e quatro subfamílias foram coletadas. O gênero *Pheidole* foi o que apresentou a maior representatividade, mais da metade do total de espécies coletadas. As espécies mais abundantes foram *Pheidole biconstricta* Mayr, 1870 (114 indivíduos), *Pheidole* sp.1 (113), *Solenopsis* sp.1 (79) e *Crematogaster* aff. *levior* (72) (Mendonza-Penagoe et al, 2020). Um levantamento da fauna mimercofila do Acre revelou que a maioria das formigas são das espécies *Pheidole*, *Camponotus* e *Solenopsis*, gêneros considerados como megadiversos no mundo inteiro (Schmidt et al, 2020). Nestas distintas regiões do Brasil, as formigas dos gêneros *Pheidole* e *Solenopsis* são predominantes em ambientes de terra firme.

As estimativas de riqueza de espécies (Chao 2) para a Mata de Tabuleiro (36,29) e para a área de vegetação herbácea (37,8) apresentaram valores superiores aos números de espécies observadas nos dois ambientes. As análises de diversidade e equitabilidade resultaram em valores baixos. Para a Mata de Tabuleiro, foram obtidos valores iguais à 0,31 (H') e 0,22 (J), enquanto que para a vegetação herbácea foram obtidos valores iguais à 0,39 (H' e J). Em ambos os casos, os resultados indicam baixas biodiversidade e uniformidade na distribuição das abundâncias das espécies.

Tendo em vista que as riquezas estimadas são influenciadas pelo tamanho amostral, curvas de rarefação (Figura 2) para cada transecto foram produzidas, minimizando assim, o viés de estimação (Chao et al., 2012). As estimativas por área de coleta e por transectos indicam que o esforço amostral realizado não foi suficiente para capturar todas as espécies, pois as curvas de acumulação não atingiram um platô e, portanto, uma ampliação do esforço amostral nos ambientes é necessária. Tomando por base as estimativas máximas de riqueza obtidas (Chao 2), o esforço amostral desempenhado resultou em uma eficácia média de captura de 73%. Logo, um aumento médio de 27% no esforço amostral seria suficiente para supostamente capturar todas as espécies. Na prática, um acréscimo de 80 unidades amostrais ou de 14 pontos de coleta por ambiente.

Figura 2. Curvas de acumulação de espécies com rarefação dos transectos das áreas de Mata de Tabuleiro (MT) e de vegetação herbácea (HB) próximas ao Parque Estadual Botânico do Ceará.



Fonte: Autores.

A análise de similaridade apresentou valores baixos na comparação entre os transectos, indicando a existência de forte heterogeneidade nos ambientes (Tabela 2). Na Mata de Tabuleiro, a similaridade mínima foi de 21% e a máxima foi de 44%. Na área de vegetação herbácea, a similaridade mínima e máxima foram de 28% e 58%, respectivamente. Contudo, a comparação entre os diferentes ambientes apresentou alta similaridade, em alguns casos chegando à 91%. A forte heterogeneidade nos ambientes apresenta um quadro favorável para a diversidade biológica local. Contudo, a grande predominância das espécies *P. longicornis* e *S. saevissima* sinaliza a existência de um processo de degradação ambiental em curso, situação condizente com áreas sob forte influência antrópica. Essa influência afeta diretamente a diversidade e distribuição das espécies locais, contribuindo para a disseminação de espécies invasivas (Baidya & Bagchi, 2022).

Tabela 2. Coeficientes de similaridade (Sørensen) entre os transectos das áreas de Mata de Tabuleiro (MT) e de vegetação herbácea (HB).

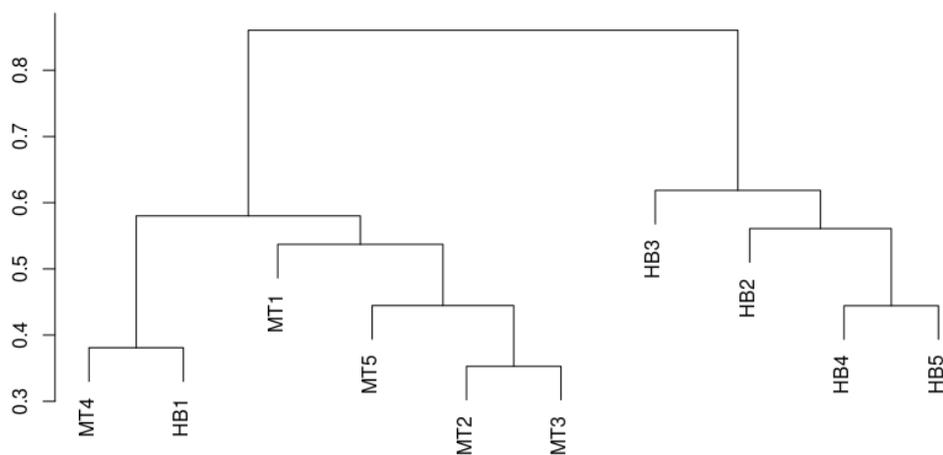
	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	HB1	HB2	HB3	HB4	HB5
MT1	1									
MT2	0,33	1								
MT3	0,44	0,21	1							
MT4	0,35	0,29	0,44	1						
MT5	0,33	0,27	0,29	0,35	1					
HB1	0,46	0,45	0,54	0,23	0,38	1				
HB2	0,91	0,84	0,83	0,77	0,81	0,51	1			
HB3	0,73	0,76	0,75	0,70	0,68	0,58	0,45	1		
HB4	0,88	0,90	0,78	0,90	0,77	0,58	0,41	0,52	1	
HB5	0,80	0,91	0,71	0,83	0,72	0,53	0,36	0,36	0,28	1

Fonte: Autores.

A análise UPGMA realizada com base na matriz das distâncias permitiu a visualização dos agrupamentos entre os transectos (Figura 3). Na vegetação herbácea, os transectos HB4 e HB5 apresentaram menor dissimilaridade média em relação aos demais, enquanto na região da Mata de Tabuleiro, o mesmo ocorreu entre os transectos MT2 e MT3. O transecto HB1

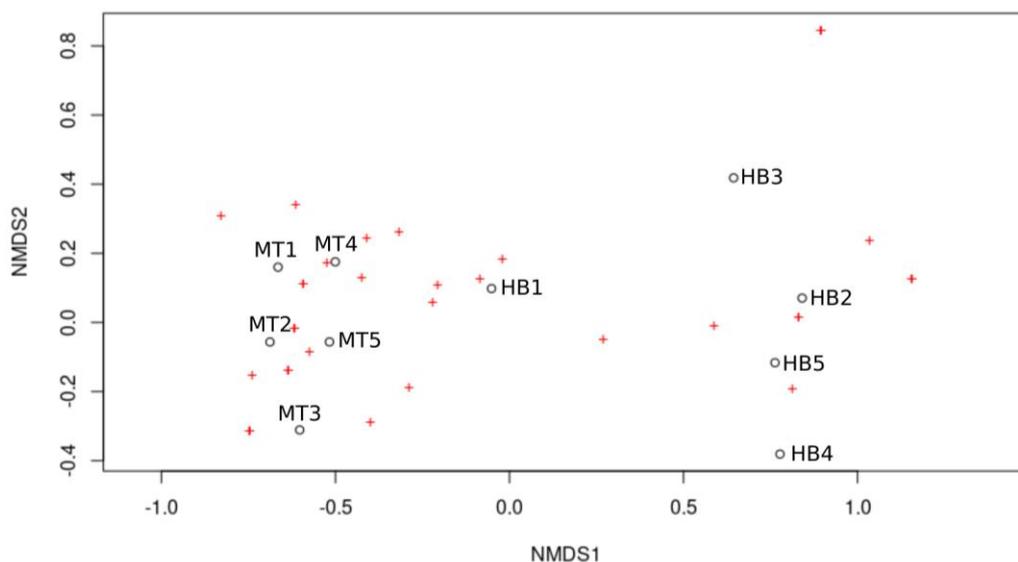
apresentou grande similaridade com o transecto MT4. Essa aparente discrepância pode ser explicada pelo fato dos dois ambientes fazerem parte de um mesmo complexo vegetacional, o que permite um alto fluxo de espécies entre as regiões. A análise NMDS das espécies revelou a existência de uma maior heterogeneidade entre as formigas da vegetação herbácea do que da Mata de Tabuleiro (Figura 4).

Figura 3. Análise de agrupamento (UPGMA) com base nos coeficientes de dissimilaridade (Bray-Curtis) entre os transectos das áreas de Mata de Tabuleiro (MT) e de vegetação herbácea (HB) próximas ao Parque Estadual Botânico do Ceará.



Fonte: Autores.

Figura 4. Análise de escalonamento multidimensional não-métrica (NMDS) com base nos coeficientes de dissimilaridade (Bray-Curtis) entre os transectos das áreas de Mata de Tabuleiro (MT) e vegetação herbácea (HB) próximas ao Parque Estadual Botânico do Ceará.



Fonte: Autores.

A influência da temperatura e da umidade relativa do ar sobre a heterogeneidade das abundâncias de espécies foi verificada com a PERMANOVA (Permutações = 999), revelando a existência de um efeito significativo ($p = 0,023$; $\alpha = 0,05$) da temperatura sobre a comunidade (Tabela 3). As temperaturas da região da Mata de Tabuleiro se mantiveram constantes ao longo dos transectos graças à presença de uma densa cobertura vegetal, ao contrário do que ocorreu na área de vegetação

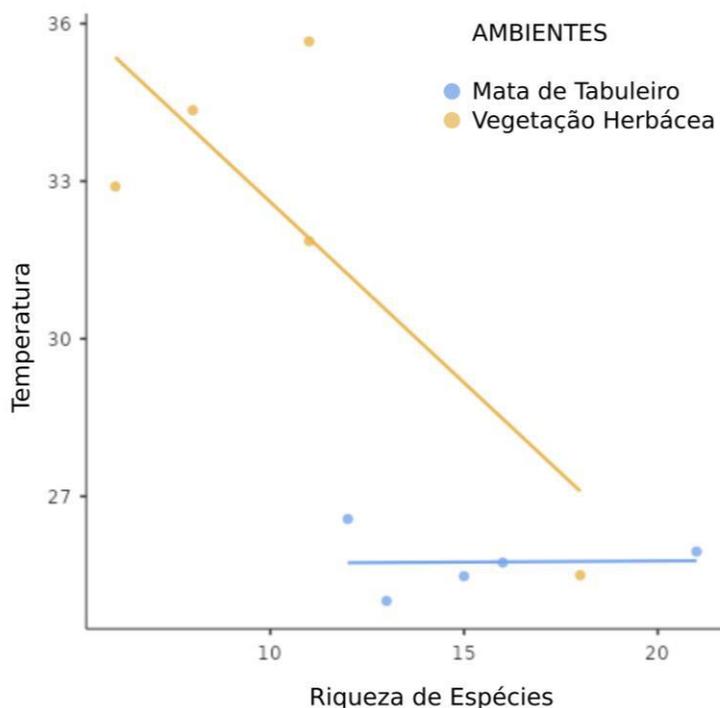
herbácea, onde a variação de temperatura afetou diretamente a riqueza de espécies local (Figura 5). Essa análise revelou que as altas temperaturas estão associadas a uma menor riqueza de espécies na área de vegetação herbácea. Os efeitos diretos ou indiretos dos fatores ambientais sobre a diversidade beta já foram observados sobre a comunidade de formigas, sendo a temperatura o principal fator com um efeito indireto sobre as comunidades da bacia amazônica (Guilherme et al., 2022).

Tabela 3. Análise estatística de variância multivariada (PERMANOVA) entre as dissimilaridades (Bray-Curtis) e as variáveis ambientais (Temperatura e Umidade relativa do ar) dos transectos das áreas de Mata de Tabuleiro e vegetação herbácea próximas ao Parque Estadual Botânico do Ceará.

	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	R2	F	Pr(>F)
Temperatura do Ar	1	1.09056	0.35337	4.7111	0.023
Umidade Relativa do Ar	1	0.37518	0.12157	1.6208	0.171
Resíduos	7	1.62040	0.52506		
Total	9	3.08614	1.00000		

Fonte: Autores.

Figura 5. Análise de dispersão da riqueza de espécies pela temperatura nas regiões da Mata de Tabuleiro e vegetação herbácea próximas ao Parque Estadual Botânico do Ceará.

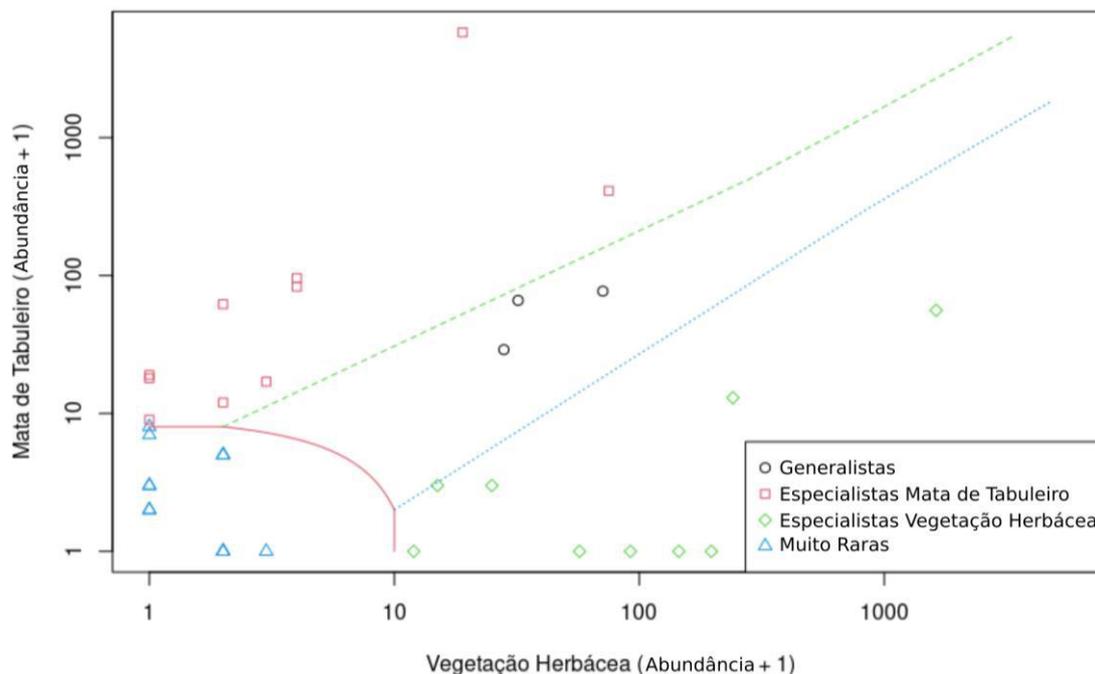


Fonte: Autores.

A análise CLAM (Figura 6) apresentou uma baixa proporção de espécies generalistas (8,1%) em comparação ao número de espécies raras (35,1%) e especialistas (Mata de Tabuleiro: 27% e Herbácea: 29,7%). Na Mata de Tabuleiro, as espécies *Camponotus melanoticus* (Emery, 1894), *Carebara panamensis* (Wheeler, 1925), *Dinoponera quadriceps* (Kempf, 1971), *Ectatomma edentatum* (Roger, 1863), *Ectatomma* sp2., *Gnamptogenys striatula* (Mayr, 1884), *Hypoponera trigona* (Mayr, 1887), *Odontomachus bauri* (Emery, 1892), *P. longicornis* e *Pheidole* sp.3 foram classificadas como especialistas, enquanto na área de vegetação herbácea o mesmo ocorreu com as espécies *Atta sexdens* (Linnaeus), *Crematogaster pygmaea* (Forel),

Cyphomyrmex rimosus (Spinola, 1851), *Dorymyrmex pyramicus* (Roger, 1863), *Neivamyrmex pertii* (Shuckard, 1840), *Pheidole* sp.5, *S. saevissima*, *Solenopsis* sp.4 e sp.5.

Figura 6. Análise de classificação multinomial de espécies (CLAM) com base na abundância das espécies das áreas de Mata de Tabuleiro e de vegetação herbácea (Limite de especialização: 0,666; Cobertura amostral: 0,999; $\alpha = 0,05$).



Fonte: Autores.

As espécies *Camponotus crassus* (Mayr, 1862), *Pheidole* sp.2 e *Wasmannia auropunctata* (Roger, 1863) foram classificadas como generalistas, enquanto *Azteca chartifex cearensis* (Forel, 1903), *Cephalotes pusillus* (Klug, 1824), *Cyphomyrmex transversus* (Emery, 1894), *Linepithema neotropicum* (Wild, 2007), *Prionopelta menininha* (Ladino & Feitosa, 2020), *Pheidole* sp.4 e sp.6, *Pseudomyrmex simplex* (Smith, 1877), *Solenopsis globularia* (Smith, 1858), *Solenopsis orestes* (Forel, 1903), *Strumigenys denticulata* (Mayr, 1887), *Strumigenys grytava* (Bolton, 2000) e *Trachymyrmex* sp.1 foram classificadas como muito raras. Um maior número de espécies raras e especialistas destaca a importância da manutenção dessa biodiversidade local, especialmente em ambientes localizados em um fragmento de vegetação urbana ao redor de um Parque Estadual Botânico.

4. Conclusão

O padrão de riqueza e diversidade de espécies se manteve similar aos de outros estudos realizados na Caatinga. A baixa quantidade de espécies observada nas duas áreas está associada ao esforço amostral realizado e, possivelmente, à forte atividade antrópica na região. Apesar dos ambientes apresentarem riquezas de espécies similares, as composições das comunidades são distintas. A heterogeneidade da comunidade da área de vegetação herbácea foi afetada pelas altas temperaturas locais como consequência da baixa cobertura vegetal da região. Desta forma, é possível concluir que a cobertura vegetal possui influência direta sobre a diversidade beta, mas não sobre a diversidade alfa. Os índices de diversidade e equitabilidade dos ambientes apresentam valores baixos, indicando baixas biodiversidade e uniformidade na distribuição das abundâncias das espécies. A grande abundância das espécies *Paratrechina longicornis*, *Solenopsis saevissima* e *Pheidole biconstricta*, gêneros considerados

megadiversos no mundo inteiro, destaca a ocorrência de um desequilíbrio ambiental nessas comunidades que, juntamente com o alto número de espécies raras e especialistas, torna esses ambientes possíveis candidatos para a preservação das espécies.

Referências

- Agosti, D., Majer, J. D., Alonso, L. E., & Schultz, T. R. (2000). ANTS: Standard methods for measuring and monitoring biodiversity. In D. Agosti, J. D. Majer, L. E. Alonso, & T. R. Schultz (Eds.), *Biological diversity handbook series*. Smithsonian Institution Press. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11736>
- Anderson, M. J. (2017). Permutational Multivariate Analysis of Variance (PERMANOVA). In *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online* (pp. 1–15). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat07841>
- AntWeb. (2021). California Academy of Science, version 8.70.2. online at <https://www.antweb.org>.
- Baccaro, F. B., Feitosa, R. M., Fernandez, F., Fernandes, I. O., Izzo, T. J., Souza, J. L. P., & Solar, R. (2015). Guia para os gêneros de formigas do Brasil. In M. Cohn-Haft & I. D. K. Ferraz (Eds.), Editora INPA. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. <https://doi.org/10.5281/zenodo.32912>
- Baidya, P., & Bagchi, S. (2022). Influence of human land use and invasive species on beta diversity of tropical ant assemblages. *Insect Conservation and Diversity*, 15(1), 73–85. <https://doi.org/10.1111/icad.12536>
- Chao, A., Chiu, C., & Hsieh, T. C. (2012). Proposing a resolution to debates on diversity partitioning. *Ecology*, 93(9), 2037–2051. <https://doi.org/10.1890/11-1817.1>
- Chazdon, R. L., Chao, A., Colwell, R. K., Lin, S.-Y., Norden, N., Letcher, S. G., Clark, D. B., Finegan, B., & Arroyo, J. P. (2011). A novel statistical method for classifying habitat generalists and specialists. *Ecology*, 92(6), 1332–1343. <https://doi.org/10.1890/10-1345.1>
- Costa, M. M. S. da, & Schmidt, F. A. (2022). Gamma, alpha, and beta diversity of ant assemblages response to a gradient of forest cover in human-modified landscape in Brazilian Amazon. *Biotropica*, 54(2), 515–524. <https://doi.org/10.1111/btp.13073>
- Dahiya, U. R., Das, J., & Bano, S. (2022). Biological Indicators of Soil Health and Biomonitoring. In J. A. Malik (Ed.), *Advances in Bioremediation and Phytoremediation for Sustainable Soil Management* (pp. 327–347). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89984-4_21
- Gotelli, N. J., & Ellison, A. M. (2016). *Princípios de Estatística em Ecologia* (R. dos S. Lima (ed.)). Artmed.
- Guilherme, D. R., Pequeno, P. A. C. L., Baccaro, F. B., Franklin, E., dos Santos Neto, C. R., & Souza, J. L. P. (2022). Direct and indirect effects of geographic and environmental factors on ant beta diversity across Amazon basin. *Oecologia*, 198(1), 193–203. <https://doi.org/10.1007/s00442-021-05083-7>
- Habibullah, M. S., Din, B. H., Tan, S.-H., & Zahid, H. (2022). Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(1), 1073–1086. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15702-8>
- Helanterä, H. (2022). Supercolonies of ants (Hymenoptera: Formicidae): ecological patterns, behavioural processes and their implications for social evolution. *Encyclopedia of Social Insects*, 32, 1–22. https://doi.org/10.25849/myrmecol.news_032:001
- Karmakar, P., Pal, S., & Mishra, M. (2022). Arthropods: An Important Bio-Indicator to Decipher the Health of the Water of South Asian Rivers. In B. C. Patra, P. K. Shit, G. S. Bhunia, & M. Bhattacharya (Eds.), *River Health and Ecology in South Asia* (pp. 9–38). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83553-8_2
- Kruskal, J. B. (1964). Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika*, 29(1), 1–27. <https://doi.org/10.1007/BF02289565>
- Longino, J. T., & Colwell, R. K. (2011). Density compensation, species composition, and richness of ants on a neotropical elevational gradient. *Ecosphere*, 2(3), art29. <https://doi.org/10.1890/ES10-00200.1>
- Lunz, A. M., Harada, A. Y., Aguiar, T. da S., & Cardoso, A. S. (2009). Danos de *Solenopsis saevissima* F Smith (Hymenoptera : Formicidae) em Paricá, *Schizolobium amazonicum*. *Neotropical Entomology*, 2(April), 285–288.
- Magurran, A. E. (1988). Diversity indices and species abundance models. In *Ecological Diversity and Its Measurement* (pp. 7–45). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0_2
- Mendoza-Penagos, C. C., Hessen, K. O. V., & Almeida, R. P. S. (2020). Assessing sodium limitation as a resource for ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) in an area of the Amazonian Terra Firme Forest. *Boletim Do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais*, 15(1), 135–143. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v15i1.269>
- Miranda, V. L. de, Koch, E. B. de A., Oliveira, L. da S., Nunes, J. de J. M., Barbosa, D. B. e S., Soares, M. R. A., Mariano, C. dos S. F., & Delabie, J. H. C. (2022). Seasonality effect on ant (Hymenoptera: Formicidae) activity in an ecotonal environment in the state of Piauí, Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 62, e202262003. <https://doi.org/10.11606/1807-0205/2022.62.003>
- Neves, F. S., Queiroz-Dantas, K. S., da Rocha, W. D., & Delabie, J. H. C. (2013). Ants of Three Adjacent Habitats of a Transition Region Between the Cerrado and Caatinga Biomes: The Effects of Heterogeneity and Variation in Canopy Cover. *Neotropical Entomology*, 42(3), 258–268. <https://doi.org/10.1007/s13744-013-0123-7>
- Nickerson, J. C., & Barbara, K. A. (2003). Crazy Ant, *Paratrechina longicornis* (Latreille) (Insecta: Hymenoptera: Formicidae). *EDIS*, 2003(14), 1–5. <https://doi.org/10.32473/edis-in299-2000>

Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., & Wagner, H. (2020). *Community Ecology Package* (2.5-7).

R Development Core Team R (2021) *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Viena

Ramos Ortega, L. M., Sierra, H. A., Roncallo, J. D., & Guerrero Flórez, R. J. (2021). Hormigas asociadas a fragmentos de bosque seco y ambientes urbanos de Santa Marta, Colombia. *Biota Colombiana*, 23(1), e978. <https://doi.org/10.21068/2539200X.978>

Santos, R. K. dos, Gomes, N. C., Oliveira, G. de A., Silva, J. J. R., Alvarenga, C. A., & Belardi, R.-M. (2018). Lichens used as bioindicator of air quality in mining town of Itabira. *Research, Society and Development*, 7(12), e4712480. <https://doi.org/10.33448/rsd-v7i12.480>

Schmidt, F. A., Costa, M. M. S., Martello, F., Oliveira, A. B., Menezes, A. S., Fontenele, L. K., Morato, E. F. & Oliveira, M. A. (2020). Ant diversity studies in Acre: what we know and what we could do to know more? *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais* 15(1): 113-134. <http://doi.org/10.46357/bcnaturais.v15i1.23>

Schmidt, F. A., Ribas, C. R., Feitosa, R. M., Baccaro, F. B., de Queiroz, A. C. M., Sobrinho, T. G., Quinet, Y., Carvalho, K. S., Izzo, T., de Castro Morini, M. S., Nogueira, A., Torezan-Silingardi, H. M., Souza, J. L. P., Ulysséa, M. A., Vargas, A. B., Dáttilo, W., Del-Claro, K., Marques, T., Moraes, A. B., & Martello, F. (2022). Ant diversity studies in Brazil: an overview of the myrmecological research in a megadiverse country. *Insectes Sociaux*, 69(1), 105–121. <https://doi.org/10.1007/s00040-022-00848-6>

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591. <https://doi.org/10.2307/2333709>

Sousa-Souto, L., Figueiredo, P., Ambrogi, B., Oliveira, A., Ribeiro, G. T., & Neves, F. (2016). Composition and Richness of Arboreal ants in Fragments of Brazilian Caatinga: *Effects of Secondary Succession*. *Sociobiology*, 63(2), 762. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v63i2.909>

Souza, A. G. M. de, Lameira Neto, V. de J., & Pereira Junior, A. (2021). Integrative review on biology, water quality and the order Odonata. *Research, Society and Development*, 10(9), e24910917605. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.17605>

Talukder, B., Ganguli, N., Matthew, R., VanLoon, G. W., Hipel, K. W., & Orbinski, J. (2022). Climate Change-Accelerated Ocean Biodiversity Loss & Associated Planetary Health Impacts. *The Journal of Climate Change and Health*, 100114. <https://doi.org/10.1016/j.joclim.2022.100114>