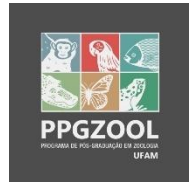




**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA –INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA – PPGZOO**



**EFEITOS DA EXPLORAÇÃO DE AREIA EM ASSEMBLEIAS DE FORMIGAS
DE CAMPINARANAS NA AMAZÔNIA CENTRAL**

JULIANA VASCONCELOS LOPES DE MATOS

**MANAUS, AMAZONAS
JUNHO 2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA–PPGZOO**



JULIANA VASCONCELOS LOPES DE MATOS

**EFEITOS DA EXPLORAÇÃO DE AREIA EM ASSEMBLEIAS DE FORMIGAS
DE CAMPINARANAS NA AMAZÔNIA CENTRAL**

Orientador: Dr.Marcelo Gordo

Coorientador: Dr.Fabricio Baccaro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia da Universidade Federal do Amazonas/Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Zoologia.

**MANAUS, AMAZONAS
JUNHO 2023**

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M433e Matos, Juliana Vasconcelos Lopes de
Efeitos da exploração de areia sobre em assembleia de formigas
de Campinaranas na Amazônia Central / Juliana Vasconcelos
Lopes de Matos . 2023
36 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Marcelo Gordo
Coorientador: Fabrício Beggiato Baccaro
Dissertação (Mestrado em Zoologia) - Universidade Federal do
Amazonas.

1. Campinarana. 2. Exploração de areia. 3. formigas. 4.
Conservação. I. Gordo, Marcelo. II. Universidade Federal do
Amazonas III. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais (Nelma Vasconcelos e Alfredo Lopes) e
ao meu amado esposo, Carlos Henrique.

AGRADECIMENTOS

À Deus, como minha direção e fortaleza em todos os processos da minha vida.

Agradecer aos meus orientadores, Marcelo Gordo e Fabricio. Ao Professor Marcelo Gordo, primeiramente por ter aceitado me orientar e me guiar nesse período. Por todo o suporte, pelas correções, compreensão, disponibilidade, paciência e atenção. Agradeço por me encorajar todas as vezes que pensei em desistir e esteve ali ouvindo meus choros e diversas vezes acreditou mais em mim do que eu mesma, me ajudou a vencer medos e as inseguranças que me rodeavam, apenas com suas palavras de incentivo. Sério! Eu sou muito grata por tudo isso que o senhor fez e pelo que vivi e aprendi. Mais que um orientador, o senhor se tornou uma inspiração de ser humano e profissional para mim. Muito obrigada!

Ao meu Coorientador, Professor Fabricio Baccaro. Por sua enorme contribuição desde a concepção do projeto, até a finalização dessa dissertação. Especialmente por seu fundamental auxílio na parte estatística. E, também, pelo acolhimento no laboratório de Biologia Animal, e pelos divertidos cafés que tivemos no laboratório e todas as conversas que também propuseram constante aprendizado. Pelas vezes que me assegurou que algumas etapas eram individuais mas que em momento algum eu estaria sozinha, isso com certeza me encorajou a prosseguir. Mais que um orientador, também se tornou uma inspiração de ser humano e profissional para mim. Muito obrigada!

Meu muito obrigado também a todas/osas/os professoras/es que tive durante a Pós-Graduação. Com absoluta certeza, devo também a vocês o produto dessa dissertação.

Ao nosso secretário, Gildázio (Gil), pela responsabilidade e eficiência na lida com os discentes. Aos avaliadores do meu projeto, doutores Murilo Cesar, Jorge Souza e Renato Portela pelas valiosas contribuições. aos componentes da banca de qualificação, doutora Veridiana Scudeller, e doutores Murilo Cesar e Jorge Souza, pelas inúmeras sugestões e contribuições. Aos membros da banca da defesa de dissertação, doutores Veridiana Scudeller e Hedinaldo Lima pelas inúmeras sugestões e contribuições.

Às meninas do Laboratório de Biologia Animal: Claudia, Amanda, Talitha, Erika, Aline e a Cris pelas boas horas de procrastinação, boas risadas, rolês, comida (principalmente) e das conversas que se entremeavam nessa maravilhosa bagunça, além das inúmeras contribuições e momentos de aprendizado. Obrigada por fazerem parte disso!

Às turmas do PPG-Zool (especialmente a turma de 2021), pelas contribuições, por compartilharem essa jornada, e pelas amizades que fiz nesse processo, pelos encontros para focar, comer e se lamentar sobre a vida, com certeza trarão saudades. Muito obrigada por

fazerem parte disso!

Ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, à Universidade Federal do Amazonas e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia pela estrutura e oportunidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM pela bolsa a mim concedida e pelo financiamento do projeto do Edital: Chamada Pública 001/2020 - Fapesp-Fapeam intitulado “Recuperação de solos arenosos de campinaranas degradados por mineração de areia para desencadear a restauração ecológica desse ecossistema”.

Aos envolvidos nas coletas de campo, Marcelo Gordo, Fabrício Baccaro, Renato Portela, Andreza Ferreira, Natasha Helena, Carlos Henrique, Mateus Rosa e Janderson. Muito obrigada por toda ajuda na logística e execução dos campos!

À Eliana dos Santos pela contribuição por meio da construção do mapa com os devidos pontos amostrais das áreas estudadas.

Ao meu amado e querido esposo Carlos Henrique, por todo o companheirismo, carinho, risadas, paciência, suporte, compreensão e amor. Você é a melhor parte desse processo, devo a você, essa dissertação é nossa. Amo muito você! Muito obrigada!

Meus pais, Nelma Lima e Alfredo Lopes que muito fizeram por mim ao longo de toda história até chegar aqui. Por todo o esforço, dedicação e atenção. Por todo o amor e sacrifício. Minhas maiores inspirações! Muito obrigada! Amo muito vocês!

À minha segunda família que tenho muito amor, zelo e muita gratidão, à minha sogra Rute e sogro Carlos que nos deu suporte, amor e muito incentivo para esta etapa se concluir. Devo gratidão também à Ana Rita, Maira Layla e Hygor Ribeiro. Meu muito obrigada! Amo vocês!

Aos meus amigos e colegas por toda ajuda e apoio, Jakeline Mayara, Suzane Morais, Natasha Helena, Gisiane Lima, Andreza Ferreira. Meu muito Obrigada!

*“Que esta não seja a última conquista;
Que os sonhos não acabem;
Que as verdades não sejam absolutas;
Que o conhecimento ainda seja pouco;
Que a fé e o respeito prevaleçam;
E que eu não esqueça minhas origens”*

Autor Desconhecido

RESUMO

As Campinaranas vêm sofrendo pressão antrópica, considerável perda da sua vegetação natural e estão sendo degradadas por causa da extração de areia para construção civil. As assembleias de formigas são sensíveis às mudanças ambientais, revelando os efeitos de perturbação e por isso são utilizadas como indicadoras do estado de conservação e/ou degradação de um local. Analisamos o efeito da extração de areia sobre a riqueza, abundância e a composição de espécies de formigas, e a contribuição relativa da substituição e aninhamento das espécies em 12 pares de sítios compostos por uma Campinarana explorada e uma conservada adjacente, em quatro municípios da Região Metropolitana de Manaus. Foram registradas 68 espécies e 1.898 indivíduos pertencentes a sete subfamílias de formigas. O número de espécies (riqueza) por transecto foi similar entre as Campinaranas. A frequência (ocorrência) foi maior na Campinarana explorada. A composição de espécies foi bem diferente entre as Campinaranas exploradas e não exploradas. A substituição de espécies dominou a partição da diversidade beta tanto entre como dentro de cada ambiente (Campinarana conservadas e campinarana explorada), representando 90% da variação dos dados. No entanto, o maior turnover de espécies de formigas ocorreu entre Campinaranas conservadas e exploradas. Apesar de representar apenas 10% da variação, o aninhamento foi maior nas Campinaranas exploradas do que nas Campinaranas conservadas. Dado que as Campinaranas crescem sobre solos pobres em nutrientes e que tendem a demorar muito para se recuperar de distúrbio, entender a relação entre a diversidade de formigas e os efeitos da exploração de areia tem implicações importantes para a conservação. Como as formigas interagem com muitos outros grupos e desempenham papéis importantes, as modificações causadas pela extração de areia podem afetar outros componentes do ecossistema.

PALAVRAS-CHAVE: Campinarana, exploração de areia, formigas, conservação

ABSTRACT

The *Campinaranas* (white-sand forests) have been suffering anthropic pressure and considerable loss of their natural vegetation and are being degraded due to the extraction of sand for civil construction. The assemblies of ants are sensitive to environmental changes, revealing the effects of disturbance and, therefore, are being used as indicators of the state of conservation. The impact of sand exploitation on the richness, abundance and composition of ant species and the relative contribution of the replacement and nestedness of species were compared in 12 pairs of explored *Campinarana* and an adjacent pristine *Campinarana* in four municipalities of the Manaus Metropolitan Region. We sampled 68 species and 1,898 individuals belonging to seven subfamilies of ants. The number of species (richness) per transect was similar among the *Campinaranas*. The frequency (occurrence) was higher in the *Campinarana* explored. The composition of species was very different among the *Campinaranas*. Species replacement dominated the beta diversity decomposition between treatments (preserved *campinarana* and exploited *campinarana*), representing 90% of the data variation. However, the highest ant species turnover occurred among preserved and exploited *Campinaranas*. Despite representing only 10% of the variation, nestedness was higher in exploited *Campinaranas* than preserved *Campinaranas*. Given that *Campinaranas* grow on poor soil and take a long time to recover from disturbance understanding the relationship between ant diversity and the impact of sand mining has important implications for conservation. As ants interact with many other groups and play essential roles, changes caused by sand mining can affect other ecosystem components.

KEYWORDS: *Campinarana*, sand exploitation, ants, conservation.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** A)) Distribuição dos pontos de amostragem na Região Metropolitana de Manaus. Devido a escala do mapa e à proximidade entre alguns pontos, houve a sobreposição destes. B e C) os pontos vermelhos e amarelos representam os sítios de coletas composto por uma Campinarana explorada e a Campinarana conservada adjacente. 14
- Figura 2:** Disposição das armadilhas na área de estudo. Modelo de distribuição dos pitfalls na área estudada, com espaçamento de 10 metros entre as armadilhas (A). Cobertura de proteção sobre o Piffall feita com prato de plástico e palitos de madeira (B)..... 15
- Figura 3:** Riqueza de espécies de formigas estimada e observada amostradas em Campinaranas conservadas e exploradas, em função do esforço amostral (A) e cobertura amostral (B) por transecto. Linha verde apresenta as espécies na área de Campinaranas conservadas. Linha marrom apresenta espécies na área de Campinaranas exploradas.....18
- Figura 4:** Avaliação do número e a frequência de espécies por transecto. Número de espécies (Figura 4.A) e frequência de espécies (Figura 4.B) em cada tratamento nas Campinaranas conservadas e exploradas. 18
- Figura 5:** Escalonamento Multidimensional Não Métrico (NMDS) baseado na matriz de abundância relativa e de presença e ausência de 12 pares amostrais. 19
- Figura 6:** Ordenação dos transectos em função do tratamento. Campinaranas conservadas (barras verdes) e Campinaranas exploradas (barras marrons)20
- Figura 7:** Valores da diversidade β baseados nas espécies de formigas coletadas nas Campinaranas exploradas e conservadas. Cada ponto representa uma dissimilaridade entre dois transectos.....21

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.1 Objetivos específicos	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Área de estudo e delineamento amostral	13
3.2 Amostragem das formigas	14
3.3 Triagem e identificação das formigas	15
3.4 Análises de dados	16
4. RESULTADOS	17
4.1 Riqueza de espécies	17
4.2 Composição de espécies	19
4.3 Diversidade Beta	21
5. DISCUSSÃO.....	22
5.1 Riqueza de espécies	22
5.2 Composição de espécies	23
5.3 Diversidade Beta	25
6. CONCLUSÕES	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
APÊNDICES	34

1. INTRODUÇÃO

O Bioma Amazônia ocupa aproximadamente 5.033.072 km², representando 59,1% de todo território nacional e é ocupada por uma das mais importantes florestas tropicais existentes no planeta (Salati, 1983). Segundo Pires (1974), a Amazônia comporta diferentes unidades fitogeográficas, tais como as Campinaranas, florestas de terra firme, mangues, savanas, entre outros. Essas formações vegetais contrastantes são condicionadas por vários fatores, sendo eles, fisiográficos, pedológicos e microclimáticos (Pires, 1974; Soares, 2022).

As Campinaranas ocorrem nas áreas de clima úmido e solos arenosos, predominantemente hidromórficos da Amazônia (Anderson, 1981; Silveira, 2003; Guimarães & Bueno, 2016;). Caracterizam-se por uma paisagem marcante, pois apresenta contrastes em termos bióticos e abióticos com outras formações florestais (Mendonça, 2011). A estrutura e a composição da vegetação são bastante particulares em relação a floresta de terra firme. Enquanto a floresta de terra firme possui um perfil formado por árvores altas com um dossel virtualmente fechado, a vegetação das Campinaranas apresenta manchas abertas (Miranda *et al.* 2020). Em vista aérea, as Campinaranas podem ser distinguidas, aparecendo como ilhas dispersas na floresta amazônica (Anderson *et al.* 1975).

As Campinaranas são um dos ecossistemas menos protegidos no atual sistema de unidades de conservação da Amazônia brasileira (Albernaz & Souza, 2007) e um dos mais ameaçados, principalmente pela perda de habitats (Ferreira *et al.* 2013). Áreas de Campinaranas estão sendo degradadas por causa da extração de areia para construção civil. Os principais impactos ambientais decorrentes da atividade de mineração de areia nas Campinaranas, destacando-se: a perda da cobertura vegetal para facilitar a extração do recurso; a lixiviação e erosão em decorrência da exposição do solo, sendo uma das principais responsáveis pela degradação ambiental, podendo afetar a riqueza de espécies e a estrutura das comunidades biológicas (Dias & Griffith, 1998; Valentim, 2010, de Athaydes Liesenfeld, 2022). A falta de tratamento específico na legislação brasileira e o uso inadequado desses ecossistemas acarreta perda de biodiversidade, perda de sua funcionalidade e dos serviços ambientais que são prestados para a sociedade (Anderson *et al.* 1975; Silva, 2020).

A extração de areia, assim como as demais atividades de mineração causa impactos socioeconômico e ambientais consideráveis (Oliveira, 2020). Apesar de ser uma atividade de importância econômica, a mineração altera a qualidade da água e induz a perda da biodiversidade por danos ao habitat (Júnior *et al.* 2019). Por exemplo, o resultado da exploração da areia nas

Campinaranas da Amazônia é uma cratera degradada e com quase nenhuma vegetação lenhosa. Isso acontece, pois, o solo das Campinaranas, de modo geral, apresenta textura arenosa e apresenta baixíssimos níveis de fertilidade (Barbosa & Ferreira, 2004), dificultando a recuperação da vegetação.

O processo de extração de areia, além de diminuir a diversidade, pode afetar a composição das espécies que permanecem na área explorada (Ré, 2007; Haedo, 2019; Casal, 2022; Athaydes Liesenfeld *et al.* 2022). No entanto, a diferença na composição de espécies entre locais (diversidade beta) pode ser resultante de dois padrões distintos: aninhamento (nestedness) ou a substituição de espécies (turnover) (Baselga, 2010). Comunidades aninhadas são aquelas que apresentam subconjuntos de espécies das comunidades mais ricas. Esse processo de aninhamento muitas vezes ocorre por algum fator ambiental que limita ou diminui o número de espécies, como tamanho de ilhas oceânicas, fragmentos de vegetação ou efeitos antrópicos (Almeida-Neto *et al.* 2011). Em outros casos, as comunidades podem ser estruturadas principalmente pela substituição de espécies sem uma clara mudança no número local de espécies (Baselga, 2010). Essa mudança normalmente ocorre ao longo de gradientes ambientais mediados por precipitação, temperatura, complexidade ambiental, estrutura da vegetação, entre outros (Harrison *et al.* 1992). Dessa forma, a decomposição da diversidade beta em aninhamento e substituição pode oferecer informações mais detalhadas sobre os processos que ocorrem em áreas manejadas, como de extração de areia.

As formigas têm sido utilizadas como uma ferramenta poderosa em vários estudos ecológicos (Folgarait, 1998, Ribas *et al.* 2012). Os estudos com assembleias de formigas podem ser úteis na compreensão de efeitos recorrentes às ações antrópicas que ocorrem em fragmentos florestais e habitats distintos, uma vez que são uma alternativa para o monitoramento de áreas degradadas ou em processo de recuperação (Rocha *et al.* 2015). Este grupo tem características úteis para indicação e monitoramento de impactos ambientais, incluindo distribuição generalizada, alta abundância, importância no funcionamento do ecossistema, facilidade de amostragem, taxonomia e ecologia relativamente bem conhecidas (Agosti *et al.* 2000). Assembleias de formigas são sensíveis às mudanças ambientais, revelando os efeitos de perturbação e por isso estão sendo utilizadas como indicadores do estado de conservação e/ou degradação de um local (Agosti *et al.* 2000; Underwood & Fisher, 2006; Philpott *et al.* 2010; Ribas *et al.* 2012). Neste trabalho, investigou-se o efeito da extração de areia sobre a abundância, riqueza e composição de formigas de solo de assembleias de formigas em Campinaranas, na região metropolitana de Manaus, empregando-se um desenho amostral pareado (Campinarana explorada vs. Campinarana conservada). Baseado em outros estudos sobre extração de areia espera-se que: (i)

a riqueza de espécies da assembleia de formigas seja menor na Campinarana explorada do que na Campinarana conservada; (ii) a composição de espécies será diferente entre áreas de Campinarana explorada e conservada; e (iii) as espécies de Campinaranas exploradas serão um subconjunto mais empobrecido da Campinarana conservada, predominando o aninhamento entre Campinaranas exploradas e conservadas.

2. OBJETIVOS

Avaliar os efeitos da extração de areia em Campinaranas sobre as assembleias de formigas.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estimar se há diferenças na riqueza e na abundância de espécies de formigas de solo em Campinaranas com e sem extração de areia;
2. Investigar se existe diferença na composição de assembleias de formigas de solo em Campinaranas com extração de areia e seus respectivos controles (campinaranas adjacentes sem extração);
3. Determinar a contribuição da substituição (*turnover*) e aninhamento (*nestedness*) de espécies na estruturação das assembleias de formigas de solo nas áreas com extração de areia em Campinaranas em relação a área controle (campinaranas adjacentes sem exploração);

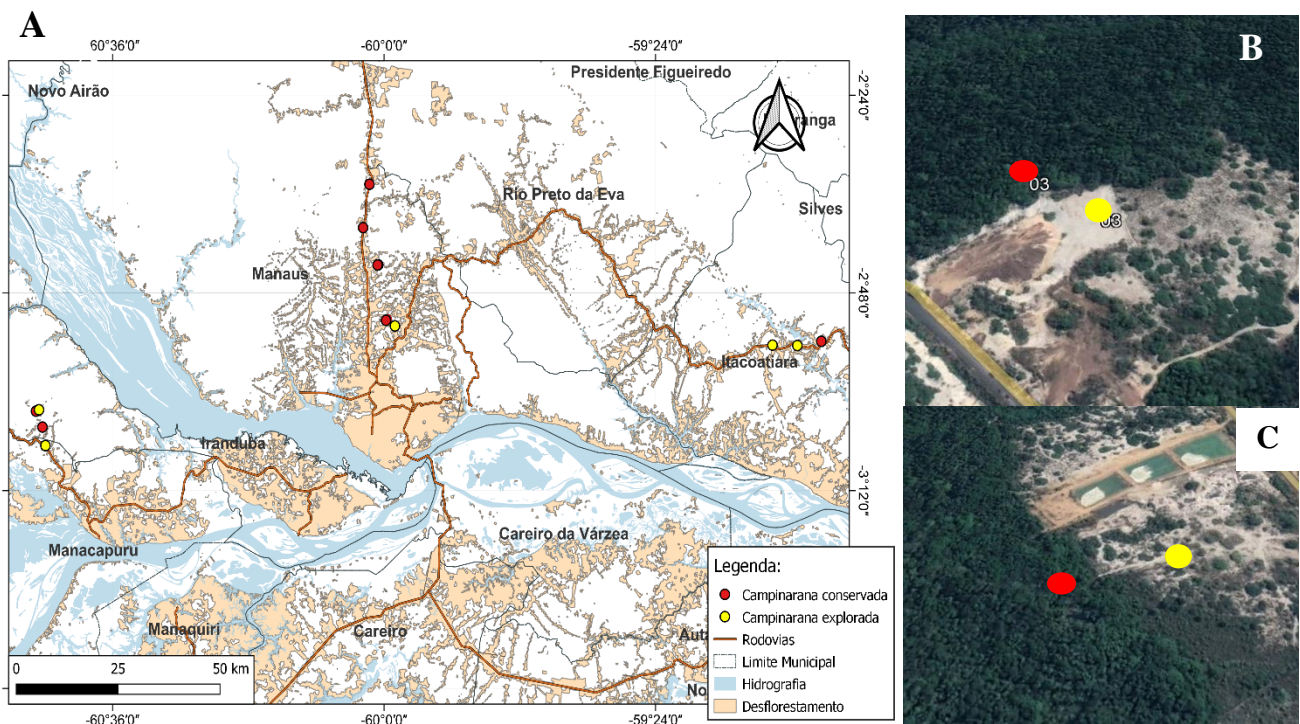
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO E DELINEAMENTO AMOSTRAL

O estudo foi realizado em quatro municípios da Região Metropolitana de Manaus: Manacapuru, Novo Airão, Itacoatiara e Manaus. A Região Metropolitana de Manaus (RMM), também conhecida como Grande Manaus, possui uma área de 127.288,789 Km² e uma população estimada em 2.532,226 habitantes (IBGE, 2022). O clima da região é caracterizado como equatorial quente e úmido apresentando temperatura média anual de 26,7 °C e precipitação média anual de 2.277 mm (Conceição, 2016; Silva *et al.* 2011). A região está conformada por uma estação seca e uma estação chuvosa. A estação seca abrange o período de junho a dezembro (precipitação média mensal: 100,17 mm), enquanto a estação chuvosa ocorre entre meses de janeiro a maio (precipitação média mensal: 279,3 mm), é considerado o período mais chuvoso (De Souza, 2017; Silva *et al.* 2011).

Na Região Metropolitana de Manaus, ocorrem diversas tipologias vegetais, entre elas: floresta de Terra Firme, florestas de Várzea, florestas de Igapó, além dessas formações, também ocorrem as florestas de Campinaranas (IBGE, 2012). Para este estudo, focou-se nas Campinaranas arbóreas, que são vegetações mais abertas adaptadas a baixa fertilidade do solo, com alta quantidade de serrapilheira e que ocorrem em solos arenosos (Oliveira, 2020). São caracterizadas por apresentar dossel de 15 a 25 m podendo atingir 30 m (Anderson, 1981; Guimarães & Bueno, 2016). As árvores das Campinaranas arbóreas apresentam em média menor diâmetro à altura do peito comparado as árvores de platôs em solos argilosos (Ferreira et al., 2013).

As coletas foram realizadas em fevereiro e maio de 2022 (estação de chuva) em 12 áreas dentro da área Metropolitana de Manaus (Figura 1A). Cada área foi composta por um sítio de coleta na Campinarana explorada e um em área de Campinarana conservada o mais próximo possível. (Figuras 1B e 1C). Em cada sítio foram delimitados transectos de 100 metros de comprimento. Ao todo, foram amostrados 12 pares de sítios, com o total de 24 transectos.



Fonte: Eliana dos S. Brasil, 2023.

Figura 1. A) Distribuição dos pontos de amostragem na Região Metropolitana de Manaus. Devido a escala do mapa e à proximidade entre alguns pontos, houve a sobreposição destes. B e C) os pontos vermelhos e amarelos representam os sítios de coletas composto por uma Campinarana explorada e a Campinarana conservada adjacente.

3.2 AMOSTRAGEM DAS FORMIGAS

Em cada transecto foram instalados 10 *pitfalls* terrestres, um *pitfall* a cada 10 metros, totalizando 240 armadilhas (Figura 2A). Foram utilizados copos de plásticos de 500 ml com 10 cm de diâmetro, parcialmente preenchidos com solução de álcool 70% e detergente. Colocou-se uma cobertura sobre a armadilha para protegê-la, em caso de chuva (Figura 2B). Os *pitfalls* terrestres permaneceram no solo por 48 horas para obter uma resposta representativa da comunidade de formigas (Bestelmeyer *et al.* 2000; Lasmar *et al.* 2017). Optou-se pela armadilha de queda porque é a mais eficiente na captura de formigas tanto em áreas abertas como fechadas (Romero & Jaffé, 1989).

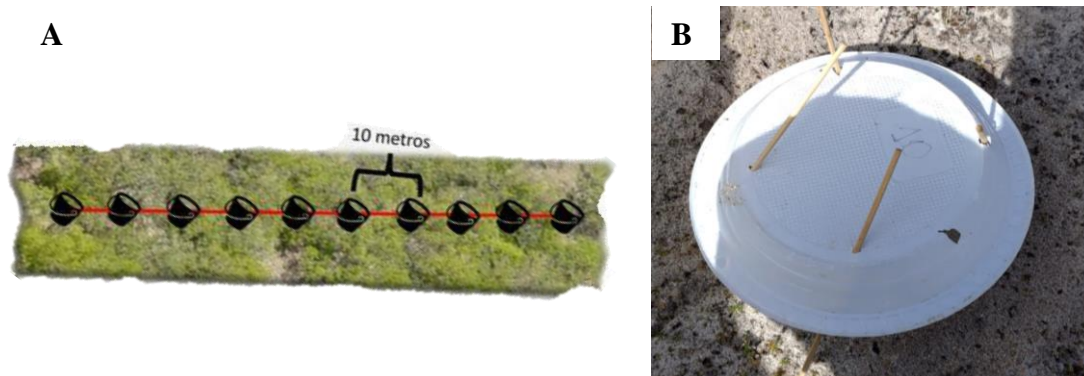


Figura 2. Disposição das armadilhas na área de estudo. Modelo de distribuição dos pitfalls na área estudada, com espaçamento de 10 metros entre as armadilhas (A). Cobertura de proteção sobre o Piffall feita com prato de plástico e palitos de madeira (B)

3.3 TRIAGEM E IDENTIFICAÇÃO DAS FORMIGAS

As formigas foram separadas do restante do material e morfotipadas. Em cada amostra, em média um espécime por morfotipo foi montado através de alfinetes e triângulos entomológicos para posteriormente serem identificadas. Para a separação das formigas em nível de subfamília e gênero utilizou-se o Guia de identificação de formigas do Brasil (Baccaro *et al.* 2015). Para a identificação em nível de espécie usou-se chaves dicotômicas específicas e comparou-se com a Coleção Entomológica do Laboratório de Ecologia de Formigas da Universidade Federal do Amazonas. O processo de triagem e identificação das formigas foi realizado usando-se de um microscópio estereoscópio.

3.4 ANÁLISES DOS DADOS

Como as formigas são organismos coloniais, a contagem do número de ocorrências (quantas vezes uma dada espécie ocorreu em um transecto) é um bom preditor do número de colônias de um determinado local (Gotelli *et al.* 2011). Dessa forma, a frequência (ou equivalente a abundância de colônias) de cada espécie variou de 1 a 10 por transecto. Em todas as análises a unidade amostral foi o transecto. Para comparar o número total de espécies de formigas amostradas nas áreas de Campinarana explorada e conservada usou-se curvas de acumulação de espécies (Chao *et al.* 2014). Para dar uma visão mais abrangente, foram construídas curvas de acumulação de espécies usando dados de ocorrência e de cobertura de amostragem (Chao & Jost, 2012). As curvas de acumulação de espécies foram calculadas usando no número de Hill $q=0$, baseados em 999 permutações, e fornecem uma visão mais completa entre áreas antropizadas e naturais em escala mais ampla (todas as áreas em conjunto).

O número local de espécies e a abundância (frequência de ocorrência) nas Campinaranas exploradas e conservadas foram comparados por testes-t pareado. Cada par amostral constituiu-se de um transecto na Campinarana explorada e outro em Campinarana conservada adjacente.

Comparou-se a composição de formigas entre os tratamentos usando uma PERMANOVA (análise de variância multivariada por permutação). Para investigar o papel de espécies raras, empregou-se o mesmo procedimento analítico, utilizando-se dados de abundância relativa (que dá mais peso para espécies mais abundantes) e dados de presença/ausência (que confere mais peso as espécies raras). A matriz de dissimilaridade foi construída usando Bray-Curtis para dados de abundância e Sørensen para presença/ausência. Os pares amostrais foram incluídos como blocos na permutação, para controlar possíveis diferenças de composição entre os pares (controle vs. explorada) amostrais. Adicionalmente, executou-se uma análise de homogeneidade multivariada de dispersões de grupos (BETADISPER) para verificar se existe diferença de dispersão dos pontos dentro de cada grupo. Homogeneidade multivariada de dispersões de grupo é um teste multivariado análogo ao teste de Levene para homogeneidade de variâncias e foi baseado na mediana espacial, neste estudo (Anderson, 2006). Em ambas as análises, usou-se dados de abundância com medidas de dissimilaridade de Bray-Curtis. Os valores de P das duas análises foram calculados com base em 999 permutações.

Usou-se a dissimilaridade de Sorensen para medir a diversidade beta local de formigas entre os transectos. Como a diversidade beta tem diferentes componentes, decompôs-se a diversidade beta geral (β_{sor}) em seus componentes de substituição (β_{sim}) e aninhamento (β_{sne}) (Baselga, 2010). Os valores de β_{sor} , β_{sim} e β_{sne} dentro e entre as Campinaranas conservadas e

exploradas foram comparados por meio de regressões de matrizes de distâncias (multiple regressions on distance matrices – MRM) (Lichstein *et al.* 2007). Empregou-se essa abordagem porque as medidas de dissimilaridade violam a premissa de independência entre as unidades amostrais. O valor de significância foi baseado em 999 permutações. Todas as análises foram realizadas no programa R (R Development Core Team 2019).

4. RESULTADOS

4.1 RIQUEZA DE ESPÉCIES

Ao total, foram coletadas 1.898 formigas, pertencentes a sete subfamílias, 26 gêneros e 68 espécies/morfoespécies. As subfamílias amostradas foram: Myrmicinae (39 espécies), Formicinae (9 espécies), Ponerinae (9 espécies), Ectatomminae (5 espécies), Dolichoderinae (4 espécies), Dorylinae (1 espécie) e Pseudomyrmecinae (1 espécie). A área que apresentou o maior número total de espécies foi a Campinarana conservada com 38 espécies de formigas contra 30 espécies na Campinarana explorada. Apesar de abrigar maior número de espécies, existe uma sobreposição do intervalo de confiança entre as Campinaranas exploradas e conservadas (Figura 3A). Parte desse resultado pode ser atribuído a melhor cobertura amostral das Campinaranas exploradas comparadas com as Campinaranas conservadas (Figura 3B).

O número de espécies (riqueza) por transecto foi similar entre as Campinaranas ($t = 0.664$, $p = 0,520$; Figura 4A). A frequência (ocorrência) de espécies por transecto foi maior na Campinarana explorada, quando comparada com Campinarana conservada, mas essa diferença foi pequena ($t = 2,09$, $p = 0,049$, Figura 4B).

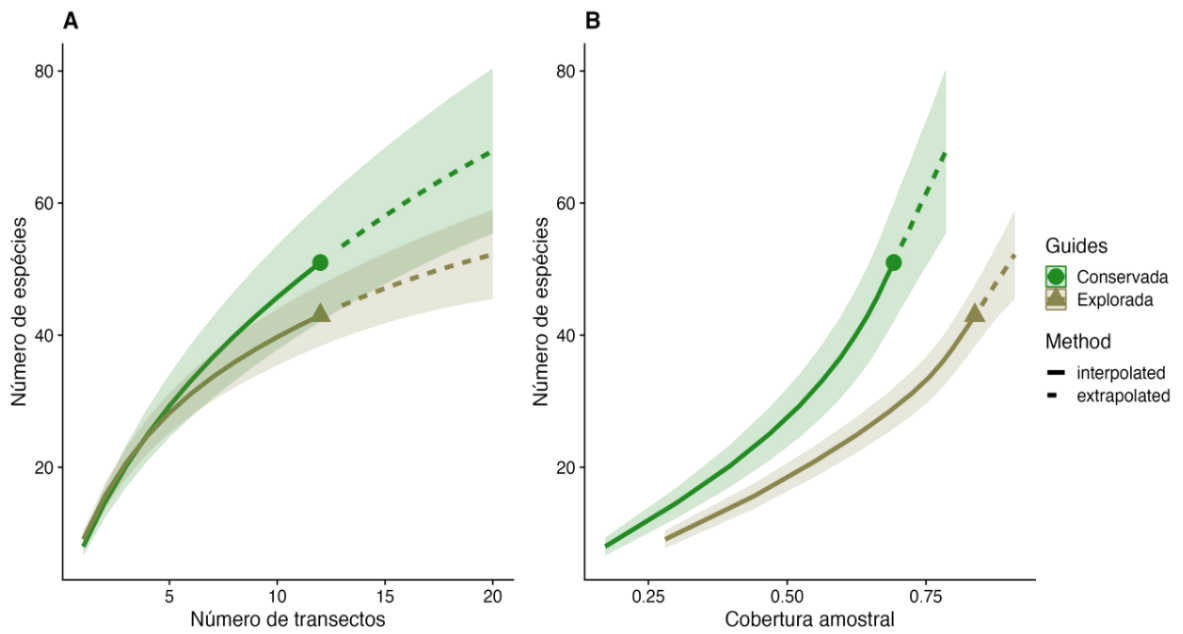


Figura 3. Riqueza de espécies de formigas amostradas em Campinaranas conservadas e exploradas, em função do esforço amostral (A) e cobertura amostral (B) por transecto. Linha verde apresenta as espécies na área de campinaranas conservadas. Linha marrom apresenta espécies na área de campinaranas exploradas.

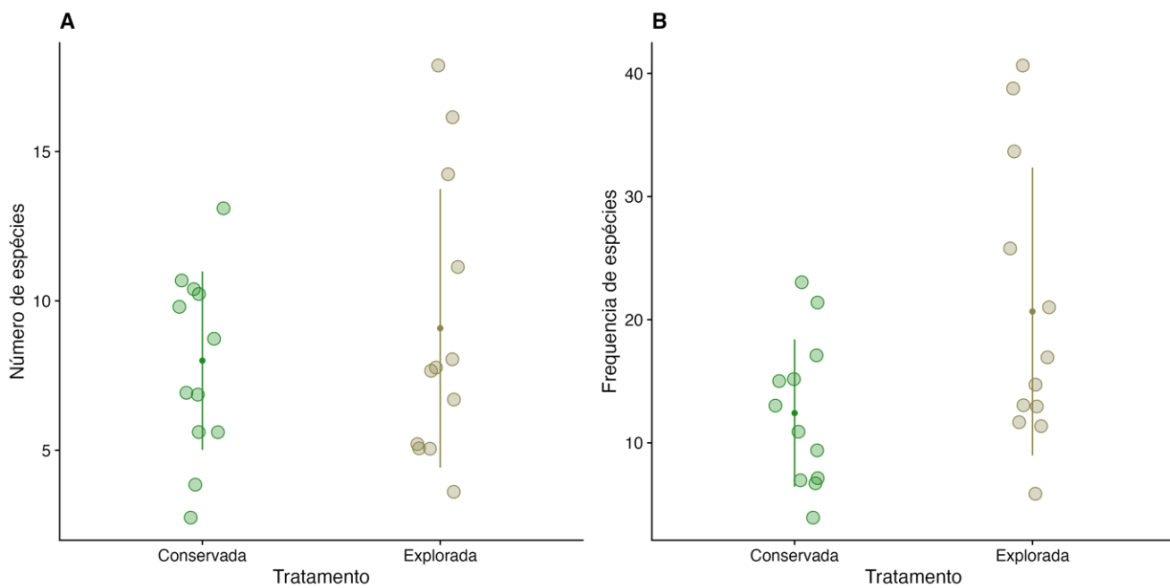


Figura 4. Avaliação do número e a frequência de espécies por transecto. Número de espécies (Figura 4.A) e frequência de espécies (Figura 4.B) em cada ambiente de Campinaranas conservadas e exploradas.

4.2 COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES

Observou-se 20 espécies exclusivas das Campinaranas exploradas e 28 espécies exclusivas das Campinaranas conservadas. As espécies mais abundantes das Campinaranas exploradas foram *Ectatomma brunneum*, *Crematogaster* sp.1, *Pheidole* sp.4, *Camponotus rengerii* e *Atta* sp.4. Em conjunto essas espécies representaram 25% das ocorrências dentro desse ambiente. Já as espécies mais abundantes nas campinaranas conservadas foram *Pachycondyla crassinoda*, *Pheidole* sp.7, *Paratrachymyrmex* sp.1 e *Neoponera apicalis*, que representaram 14,28% das ocorrências dentro desse ambiente. A lista completa das espécies, bem como sua abundância relativa está apresentada na Figura 6.

A composição de espécies de formigas foi bem diferente entre as Campinaranas, independente do conjunto de dados (PERMANOVA; $R^2 = 0,20$; $p < 0,001$). A sobreposição entre os polígonos delimitados é resultado de apenas um transecto (Ponto 07) da Campinarana conservada (Figura 5). Apesar de ser classificada como Campinarana conservada, e não apresentar sinais de exploração recente, essa área apresentou uma composição muito similar às Campinaranas exploradas, abrigando espécies como *Wasmannia auropunctata*, *Camponotus* sp.1 e *Crematogaster* sp.1. Esse ponto amostras aumentou a heterogeneidade entre Campinaranas conservadas, que foi maior que nas Campinaranas exploradas (BETADISPER; $p < 0,005$). No entanto, quando esse transecto (ponto 7) é retirado, a heterogeneidade entre Campinaranas conservadas e exploradas é similar (BETADISPER; $p > 0,05$).

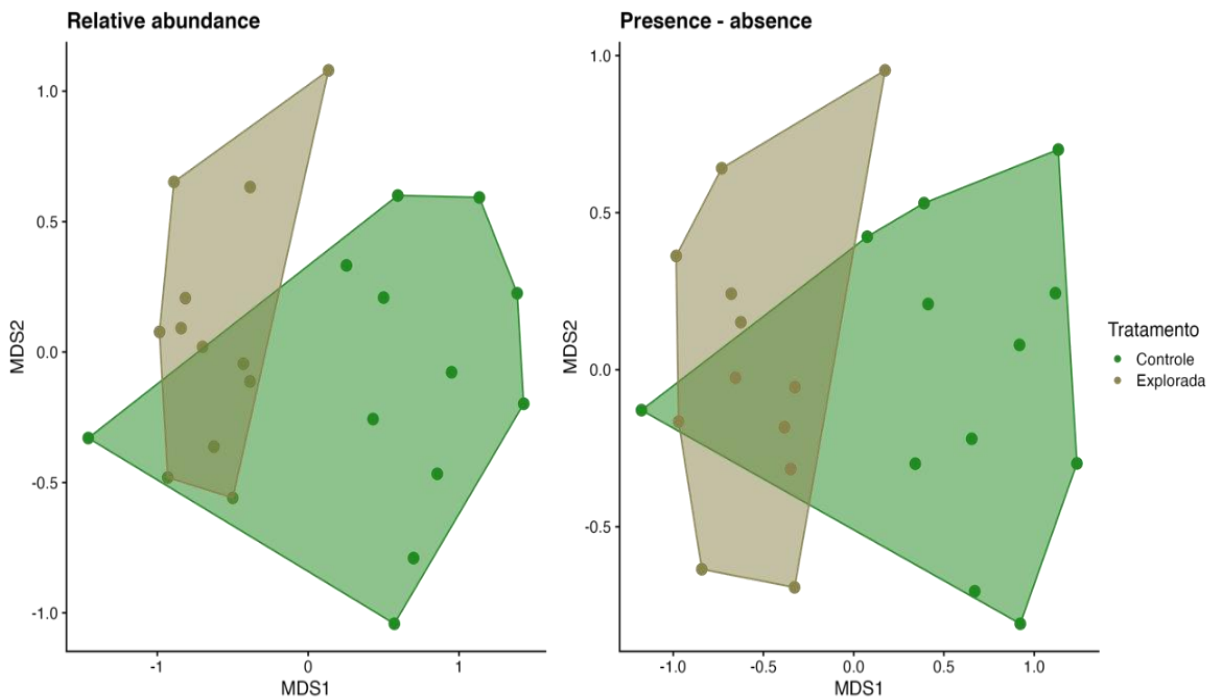


Figura 5. Escalonamento Multidimensional Não Métrico (NMDS) baseado na matriz de abundância relativa e de presença e ausência de 12 pares amostrais.

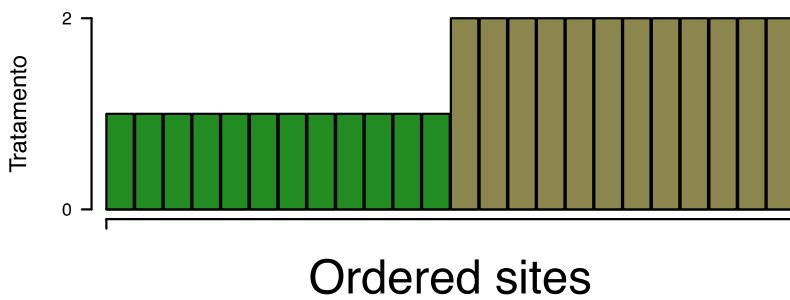
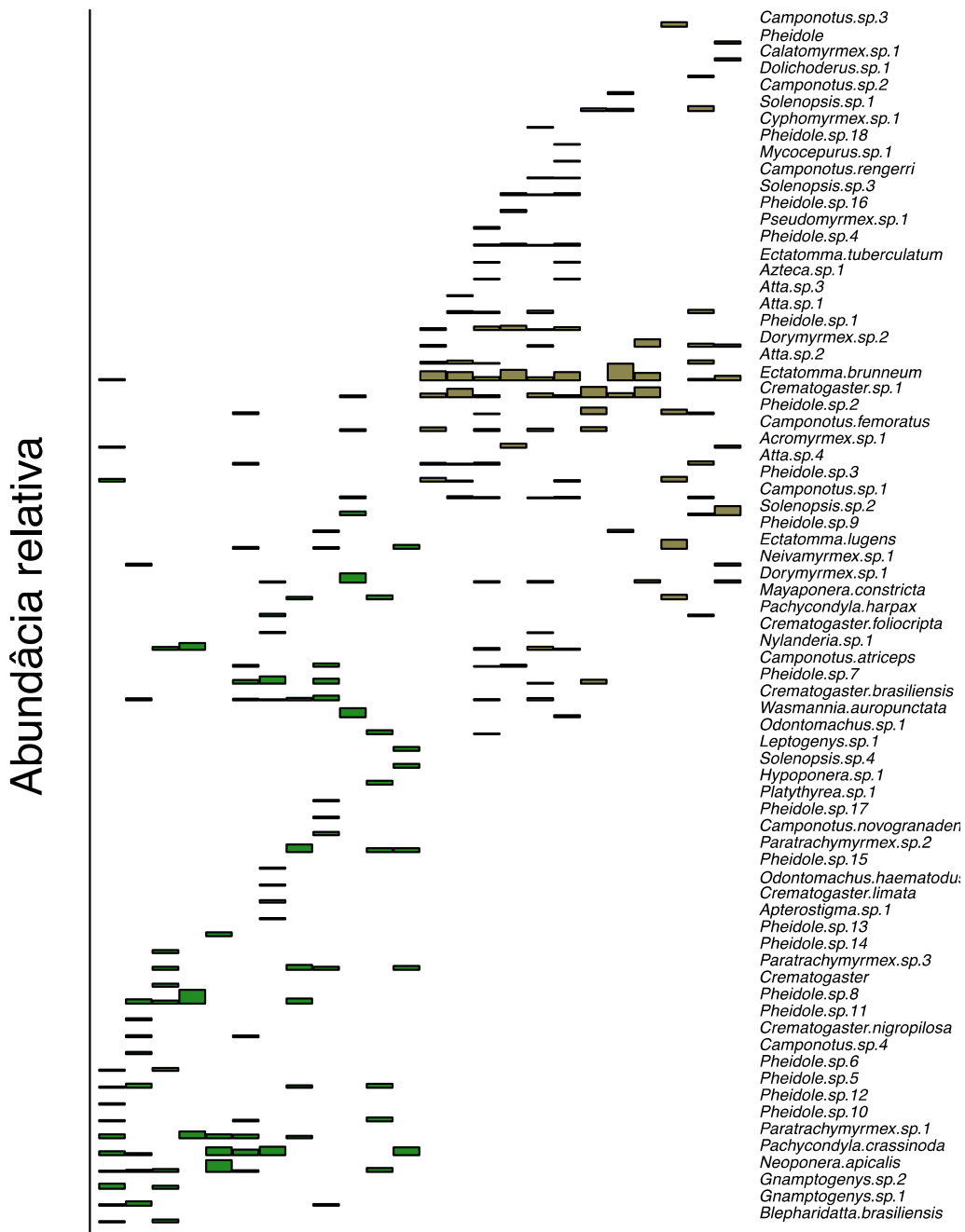


Figura 6. Ordenação dos transectos em função do tratamento. Campinaranas conservadas (barras verdes) e Campinaranas exploradas (barras marrons).

4.3 DIVERSIDADE BETA

A diversidade beta total e sua decomposição foram diferentes dentro e entre os tratamentos (Campinaranas exploradas e conservadas) (Figura 7). O turnover dominou a diversidade beta total dentro e entre as Campinaranas representando cerca de 90% da variação, sendo maior entre as Campinaranas do que dentro de cada tratamento, respectivamente (MRM beta.sim; $R^2 = 0.06$, $P = 0.013$) (Figura 7A). Consequentemente, contrário à hipótese, não se observou um maior aninhamento entre Campinaranas conservadas e exploradas. Detectou-se uma maior contribuição do aninhamento nas comparações dentro da Campinarana explorada (MRM beta.sen; $R^2 = 0.04$, $P = 0.04$) do que entre as Campinaranas (Figura 7B). A diversidade beta foi maior entre Campinaranas conservadas do que entre Campinaranas exploradas (Figura 7A).

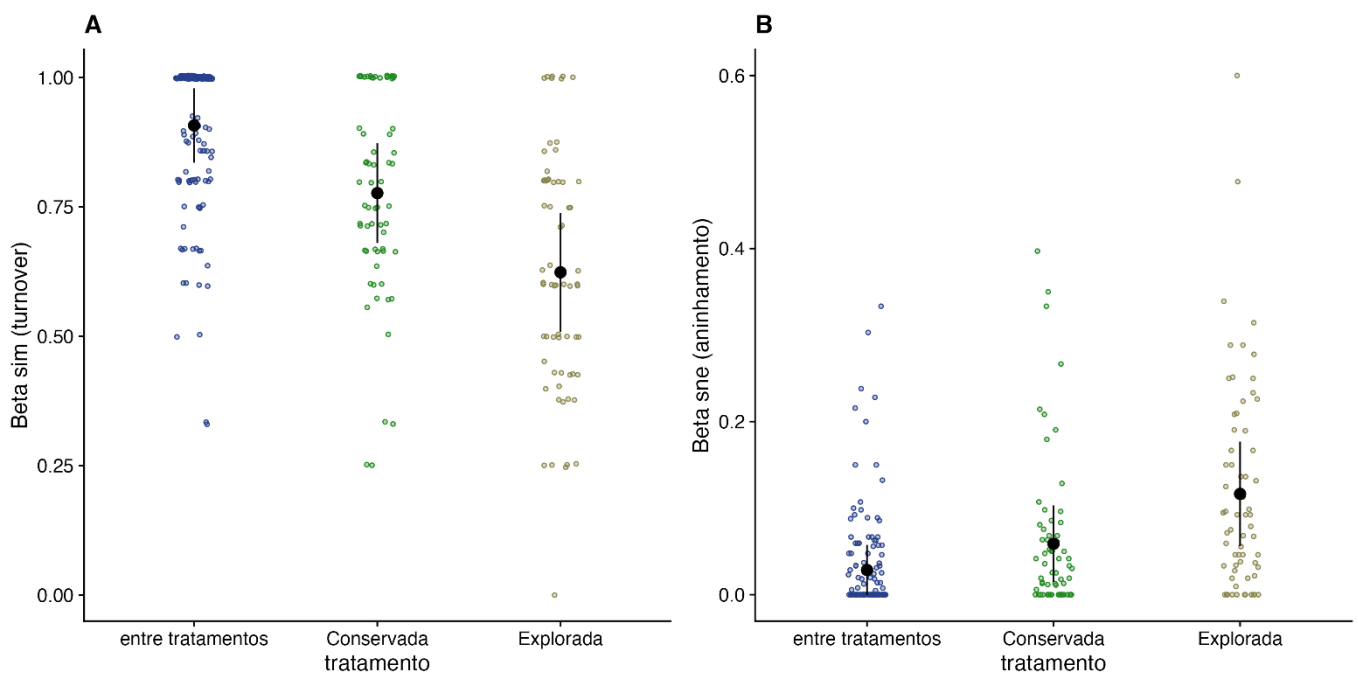


Figura 7. Valores da diversidade β baseados nas espécies de formigas coletadas nas Campinaranas exploradas e conservadas. Cada ponto representa uma dissimilaridade entre os pares amostrais.

5. DISCUSSÃO

As Campinaranas formam um dos ecossistemas que vem sofrendo pressão antrópica e considerável perda da sua vegetação natural (Ferreira *et al.* 2010). As Campinaranas são habitats de solos arenosos ácidos e pobres em nutrientes, com vegetação de baixa estatura e uma elevada luminosidade (Cordeiro *et al.* 2016). Nossos resultados sugerem uma mudança mais forte da composição do que da riqueza e abundância de espécies de formigas entre as Campinaranas exploradas e conservadas.

5.1 RIQUEZA E ABUNDÂNCIA DE ESPÉCIES

Neste trabalho amostramos 68 espécies em 12 pares amostrais de Campinaranas exploradas e conservadas. Os resultados obtidos mostram que o número de espécies (riqueza) por transecto foi similar entre as Campinaranas. Esse resultado foi diferente do que esperávamos (maior riqueza de espécies da Campinarana conservada do que na explorada), pois comumente os ambientes naturais apresentam maior riqueza de espécies do que áreas exploradas por mineração (Silva, 2020; Oliveira, 2022). Os ambientes perturbados são mais simplificados, oferecendo assim menos recursos para as diferentes espécies, sendo assim esperava-se que em nossos resultados a antropização mostraria um padrão na perda de diversidade das espécies de formigas (Peixoto *et al.* 2010; Barbosa, 2022).

Também, contrário a nossa hipótese, a frequência (ocorrência) de espécies por transecto foi maior na Campinarana explorada do que nas Campinaranas conservadas. Isto pode estar relacionado ao fato de que em ambientes antropizados, são esperadas certas distribuições de frequência relativa com uma proporção maior de espécies mais dominantes (Hill & Hamer, 1998; Araujo *et al.* 2021). Formigas dominantes constroem ninhos grandes, possuem colônias extremamente populosas, apresentam alta territorialidade e não encontram restrições para nidificar e para obter alimento em áreas antropizadas, pois apresentam características ecológicas e biológicas que favorecem a exploração do ambiente (Lutinski *et al.* 2014; Araújo *et al.* 2021).

5.2 COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES

A composição de espécies foi bem diferente entre as Campinaranas exploradas e conservadas. O que indica que a composição das espécies de formigas é diretamente influenciada pelo estado de conservação da área (Costa, 2019). Gomes *et al.* 2014 afirmam que a degradação ambiental afeta composição e diversidade de formigas, e conclui que há mudanças na composição de espécies, sem diferenças na riqueza de espécies de formigas entre áreas antropizadas sem revegetação. Barbosa (2022), também reforça que dentre os ambientes antrópicos e naturais é notória a diferença na diversidade de formigas e conseqüentemente a importância da conservação dessas áreas.

As espécies mais frequentes na Campinarana conservada se caracterizam por serem encontradas especialmente em regiões de florestas úmidas. São espécies características de ambientes fechados, com os ninhos construídos em uma ampla variedade de habitats. Entre as espécies mais comuns encontradas nas Campinaranas conservadas estão espécies predadoras, generalistas e que utilizam sementes, partes de flores, frutas em decomposição para o cultivo de fungo, como espécies do gênero *Paratrachymyrmex* sp. (Baccaro *et al.* 2015; Siqueira *et al.* 2022). Locais com maior variedade de recursos podem abrigar mais espécies especializadas em diferentes recursos (Ribas *et al.* 2003). A complexidade da estrutura do habitat leva a um simultâneo aumento na diversidade de espécies de formigas (Ribas *et al.* 2003, Barbosa, 2022). Dessa forma, ambientes fechados florestados possuem estruturas mais complexas que outras vegetações, possibilitando que uma fauna mais rica de formigas aproveite dos recursos ofertados por elas como serrapilheira e recursos alimentares (Barbosa, 2022). Com isso, a diversidade alta em ambientes naturais como a Campinarana conservada pode estar relacionada com a maior complexidade desses ambientes.

Apenas um dos transectos amostrados na Campinarana conservada (ponto 07) apresentou uma composição similar aos transectos amostrados nas Campinaranas exploradas. Esse transecto abriga espécies comuns as Campinaranas exploradas, o que pode indicar uma atividade de forrageamento e/ou nidificação de algumas espécies entre os dois ambientes (Silva & Silvestre, 2004). Parte dessas espécies não são residentes e podem utilizar essas áreas para forragear. Além disso, a amplitude das condições microclimáticas de umidade, temperatura e insolação podem ser mais estáveis e mais favoráveis no ambiente fechado para várias espécies de formigas (Peixoto *et al.* 2010).

A maior parte das espécies de *Crematogaster* são arborícolas sendo consideradas dominantes, e podem modificar a abundância de outras espécies (Santos, 2017). Sendo frequentes na Campinarana explorada, as espécies de *Crematogaster* tendem a ser gêneros

predominantes em ecossistemas terrestres na floresta Amazônica, uma vez que diversas espécies desses gêneros toleram modificações/distúrbios no habitat (Andersen, 1991; Peixoto *et al.* 2010). As espécies de *Camponotus* são generalistas e oportunistas em termos de dieta, boa parte são onívoras e apresentam maior riqueza específica, ampla distribuição geográfica e a grande diversidade de adaptações ecológicas (Baccaro *et al.* 2015, Sguarizi *et al.* 2014, de Souza Martins *et al.* 2022). São frequentemente encontradas em áreas abertas. Neste trabalho foram bem frequentes nas Campinaranas exploradas podendo indicar uma adaptação e uma atividade de colonização nesses ambientes antropizados, uma vez que são espécies que podem forragear tanto no solo quanto na vegetação (Pereira & Almeida, 2023; Lobo *et al.* 2023).

Espécies dos gêneros *Pheidole* e *Ectatomma* caracterizam por serem espécies genéricas e tolerantes as adversidades do ambiente, com hábitos generalistas e/ou oportunistas, resistência a altas temperaturas, comportamento dominante e alta taxa de recrutamento (Barbosa, 2022). Podem ser encontradas nos mais diversos ambientes, nidificam inclusive em solos arenosos e ambientes abertos (Baccaro *et al.* 2015; Sandim, 2022). A relativa generalidade no local de nidificação e de recurso pode ter favorecido a ocorrência de espécies desses gêneros em locais com baixa produtividade como as Campinaranas.

Apesar de as perturbações antrópicas produzirem efeitos negativos nas comunidades de plantas e animais e no funcionamento do ecossistema, alguns organismos são capazes de contrapor esses efeitos negativos e aumentarem suas populações em áreas perturbadas (Siqueira *et al.* 2017; Vasconcelos *et al.* 2006; Santos Neto, 2021). Dentre esses organismos, se destacam as formigas cortadeiras do gênero *Atta*, essas formigas são os principais herbívoros da região neotropical, coletando entre 12 e 17% da produção anual de folhas, todo esse material vegetal é usado para cultivar o fungo simbiote dentro dos seus ninhos, a principal fonte de alimento das colônias (Santos Neto, 2021; Baccaro *et al.* 2015). Os efeitos de perturbação não somente beneficiam as populações das formigas cortadeiras como aumentam os regimes de forrageamento das colônias. Tanto os efeitos de borda da perturbação aguda em floresta úmida como os efeitos da perturbação em florestas abertas (Siqueira *et al.* 2018) são responsáveis pelo aumento das taxas de herbivoria das colônias. Esses efeitos podem estar ligados tanto ao aumento da densidade de plantas mais palatáveis e menos defendidas em áreas perturbadas (Urbas *et al.* 2007), como ao aumento de temperatura e potencialização dos picos de atividade das colônias em áreas mais abertas usadas (Neto, 2021).

5.3 DIVERSIDADE BETA

A análise da mudança na composição de espécies tem sido foco de inúmeras pesquisas ecológicas nas últimas décadas e pode ser de extrema importância para detectar impactos antrópicos em uma comunidade (Lopes *et al.* 2019). No presente estudo a diversidade beta total e suas respectivas decomposições foram diferentes dentro e entre os tratamentos (Campinaranas exploradas e conservadas). Nossos resultados não corroboraram nossa hipótese. Esperávamos encontrar um maior aninhamento entre as Campinaranas exploradas e conservadas. Ao contrário, a substituição de espécies foi o padrão dominante. Ou seja, a composição de formigas da Campinarana explorada não é um subconjunto da Campinarana conservada, mas sim é uma comunidade totalmente diferente que colonizou esse ambiente. O número relativamente alto de espécies exclusivas em cada tratamento reforça esse padrão. Este fato aumentou a substituição de espécies (turnover) e influenciou fortemente a dissimilaridade entre as Campinaranas e muito das diferenças na composição de espécies por área pode ser explicada pela diferença nos ambientes (Rupil *et al.* 2018). Entretanto, detectamos uma maior contribuição do aninhamento (β_{nes}) dentro da Campinarana explorada, o que reforça o padrão de homogeneização/simplificação das Campinaranas exploradas, já que o filtro ambiental exclui as espécies que não são tolerantes a essas condições e quanto maior a pressão sobre a área, mais espécies desaparecerão de forma ordenada e se tornarão homogêneos e aninhados (Rego *et al.* 2018).

A substituição de espécies nas assembleias de formigas dominou dentro e entre as Campinaranas exploradas e conservadas. Porém a sua contribuição foi maior entre as Campinaranas do que dentro de cada tratamento. Neste estudo, a maior contribuição da substituição de espécies entre as Campinaranas exploradas e conservadas pode ser reflexo da diferenciação de nichos e a complexidade ambiental como amplitude de temperatura, estrutura da vegetação, entre outros (Silveira, 2003; Guimarães & Bueno, 2016; de Athaydes Liesenfeld, 2022). Neste estudo a diversidade beta observada foi maior nas Campinaranas conservadas do que nas Campinaranas exploradas, indicando que as Campinaranas conservadas contribuíram mais para a média da diversidade beta, ou seja, tendo uma composição de espécies acentuadamente diferente, havendo dissimilaridade entre as espécies, enquanto nas Campinaranas exploradas apresentaram uma composição de espécies mais homogênea.

6.0 CONCLUSÕES

A exploração de areia das Campinaranas afeta a assembleia de formigas ocasionando uma substituição quase completa das espécies presentes nas Campinaranas conservadas, formando uma nova composição de espécies nas assembleias em áreas Campinaranas degradadas, com pouquíssima ou nenhuma relação de aninhamento com a assembleia remanescente dos ambientes conservados adjacentes. Tais espécies provavelmente estão vindo de outras áreas degradadas e abertas ou ambientes diferentes das Campinaranas.

Dado que as Campinaranas crescem sobre o solo pobre e que tendem a demorar muito para se recuperar de distúrbio, entender a relação entre a diversidade de formigas e os efeitos da extração de areia tem implicações importantes para a conservação. Como as formigas interagem com muitos outros grupos e desempenham papéis importantes, as modificações causadas pela extração de areia podem afetar outros componentes do ecossistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, A. B. (1981). White-sand vegetation of Brazilian Amazonia. *Biotropica*, 199-210.
- Anderson, A. B., & Prance, G. T. (1975). Estudos sobre a vegetação das Campinas Amazônicas-III A vegetação lenhosa da Campina da Reserva Biológica INPA-SUFRAMA (Manaus-Caracaráí, km 62). *Acta Amazonica*, 5(3), 225-246.
- Andersen, A. N. (1991). Responses of ground-foraging ant communities to three experimental fire regimes in a savanna forest of tropical Australia. *Biotropica*, 575-585.
- Anderson, M. J., Ellingsen, K. E., & McArdle, B. H. (2006). Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. *Ecology letters*, 9(6), 683-693.
- Antonio, D. S., Michulutti, K. B., Soares, E. R. P., & da Silva Cunha, D. A. (2014). Dendograma de formigas do gênero *Camponotus*.
- Albernaz, A. L. K. M., & Souza, M. D. (2007). Planejamento sistemático para a conservação na Amazônia brasileira—uma avaliação preliminar das áreas prioritárias de Macapá-99. *Megadiversidade*, 3(1–2), 87-101.
- Almeida-Neto, M., Frensel, D. M., & Ulrich, W. (2012). Rethinking the relationship between nestedness and beta diversity: a comment on Baselga (2010). *Global Ecology and Biogeography*, 21(7), 772-777.
- Azevedo, F. R. D., Moura, M. A. R. D., Arrais, M. S. B., & Nere, D. R. (2011). Composition of entomofauna on the Araripe National Forest in different vegetation types and year seasons. *Revista Ceres*, 58, 740-748.
- Baccaro, F. B., Feitosa, R. M., Fernández, F., Fernandes, I. O., Izzo, T. J., de Souza, J. L. P., & Solar, R. R. C. (2015). Guia para os gêneros de formigas do Brasil (p. 388p). Editora INPA.
- Barbosa, R. I., & Ferreira, C. A. C. (2004). Biomassa acima do solo de um ecossistema de "campina" em Roraima, norte da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 34(4), 577-586.
- Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global ecology and biogeography*, 19(1), 134-143.

- Bestelmeyer, B. T. (2000). The trade-off between thermal tolerance and behavioural dominance in a subtropical South American ant community. *Journal of animal ecology*, 69(6), 998-1009.
- Bonecker, C. C., Simões, N. R., Minte-Vera, C. V., Lansac-Tôha, F. A., Velho, L. F. M., & Agostinho, Â. A. (2013). Temporal changes in zooplankton species diversity in response to environmental changes in an alluvial valley. *Limnologica*, 43(2), 114-121.
- Carneiro, G. S., Iaszczaki, R. S., Doline, F. R., Barros, L. A. C., & Lorscheider, C. A. (2022). Levantamento de estudos citogenéticos em formigas cultivadoras de fungos (Hymenoptera: Formicidae) Myrmicinae.
- Casal, T. B. (2022). Processos ecológicos da regeneração natural e biota edáfica no Parque Estadual Rio Canoas, Campos Novos/SC em área após remoção de *Pinus taeda* L.
- Conceição, S. G. D. (2016). Amazônia em ontogenia: o caso da região metropolitana de Manaus.
- Chao, A., & Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), 2533-2547.
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., & Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological monographs*, 84(1), 45-67.
- Costa, M. B. T. D. (2019). Formicídeos como bioindicadores de conservação e degradação ambiental no bioma cerrado.
- D. Agosti, J. D. Majer, L. E. Alonso, and R. Schultz. (2000) *Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*, Smithsonian Institution Press, Washington, DC, USA.
- De Kassia Muniz-Araujo, R., Bernini, E., & Lage-Pinto, F. (2021). Efeitos da espécie vegetal exótica invasora *Elaeis guineensis* Jacq. sobre a fauna de formigas em uma Floresta Estacional Semidecidual em regeneração. *Cadernos UniFOA*, 16(46).
- Da Silva, M. X. (2017). Composição de espécies e padrão de forrageamento de formigas em *Talipariti pernambucense* (Malvaceae) em uma área de restinga.
- Da Silva, P., & da Silva, F. C. G. (2011). Besouros (Insecta: Coleoptera) utilizados como bioindicadores. *Revista Congrega URCAMP*, 1-16.
- De Athaydes Liesenfeld, M. V., de Souza, R. M., da Silva, J. A. C., & de Araújo, E. A. (2022). Ciências Ambientais na Amazônia.

- De Sousa Martins, A. E., da Silva, M. J. R., Rodrigues, J. C., Silva, M. R. D. A. C., Gonçalves, M. V. P., & da Silva Formiga, L. D. A. (2022). Levantamento da Mirmecofauna em Fragmentos de uma Área de Proteção Ambiental em Caxias, Maranhão-Brasil. *Revista de Geociências do Nordeste*, 8(1), 187-197.
- De Souza Farias, C., Veiga, J. A. P., Oliveira, E., & de Queiroz, M. R. (2017). Análise do evento extremo chuvoso de 30 de setembro de 2013 ocorrido na cidade de Manaus. *Ciência e Natura*, 39(2), 436-450.
- Ferreira, L. V.; Thales, M. C.; Pereira, J. L. G.; Fernandes, J. A. Marin; Furtado, C. da S. & Chaves, P. P. (2010). Biodiversidade. In: Marcílio de Abreu Monteiro; Carmen Roselli Caldas Menezes e Igor Maurício Freitas Galvão (Org.). Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Leste e Calha Norte do Estado do Pará: Diagnóstico do Meio Físico-Biótico. Belém: Núcleo de Gerenciamento do Programa Pará Rural, v. 2: 25-102
- Ferreira, L. V., Chaves, P. P., Cunha, D. D. A., Rosário, A. D., & Parolin, P. (2013). A extração ilegal de areia como causa do desaparecimento de campinas e campinaranas no Estado do Pará, Brasil. *Pesquisas, Botânica*, 64, 157-173.
- Gomes, E. C. F., Ribeiro, G. T., da Silva, T. M., & Sousa-Souto, L. (2014). Ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) in three different stages of forest regeneration in a fragment of Atlantic Forest in Sergipe, Brazil. *Sociobiology*, 61(3), 250-257.
- Gotelli, Nicholas J.; Colwell, Robert K. (2011). Estimating species richness. *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment*, v. 12, n. 39-54, p. 35.
- Guimarães, F. S., Bueno, G. T., Mendes, D. D. S. O., Diniz, A. D., & de Souza, J. B. (2016). Variações ecológicas, fitofisionômicas, edáficas e distribuição das espécies em um gradiente ambiental entre campinarana e campina–Bacia do Rio Demini, AM. *Caderno de Geografia*, 26(1), 98-118.
- Haedo, K. B. (2019). Mudança na composição taxonômica e estrutura trófica de formigas ao longo de um gradiente sucessional de Caatinga (Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco).
- Hanski, I., & Cambefort, Y. (Eds.). (2014). *Dung beetle ecology* (Vol. 1195). Princeton University Press.
- Harrison, S., Ross, S. J., & Lawton, J. H. (1992). Beta diversity on geographic gradients in Britain. *Journal of Animal Ecology*, 151-158.

Hill, J. K., & Hamer, K. C. (1998). Using species abundance models as indicators of habitat disturbance in tropical forests. *Journal of Applied Ecology*, 35(3), 458-460. *Journal of Applied Ecology*, London, v. 35, p. 458-460, 1998.

IBGE, R. (2012). Manual técnico da vegetação brasileira.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Disponível em: IBGE | <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/> Acesso: 08/Ago.2023.

Júnior, Antônio Pereira et al. (2019). Avaliação de impacto ambiental na extração de areia nos rios Canindé –CE, Paraíba – PB e Piracanjuba – GO. p1-388–416.

Koleff, P., Gaston, K. J., & Lennon, J. J. (2003). Measuring beta diversity for presence–absence data. *Journal of Animal Ecology*, 72(3), 367-382.

Lasmar, C. J., Queiroz, A. C. M., Rabello, A. M., Feitosa, R. M., Canedo-Júnior, E. O., Schmidt, F. A., ... & Ribas, C. R. (2017). Testing the effect of pitfall-trap installation on ant sampling. *Insectes Sociaux*, 64(3), 445-451.

Lichstein, J. W. (2007). Multiple regression on distance matrices: a multivariate spatial analysis tool. *Plant Ecology*, 188(2), 117-131.

Lobo, N. C. R., Ribeiro, L. M., Pereira, J. R., de Almeida, Â. A., & Almeida, F. S. (2023). Efeitos de fatores ambientais sobre as assembleias de formigas arborícolas e epigéicas na Floresta Estacional Semidecidual. *Ciência Florestal*, 33(1).

Lopes, V. G., Branco, C. W. C., Kozlowsky-Suzuki, B., & Bini, L. M. (2019). Zooplankton temporal beta diversity along the longitudinal axis of a tropical reservoir. *Limnology*, 20, 121-130.

Lutinski, J. A., Lutinski, C. J., Cortés Lopes, B., & Barros de Moraes, A. B. (2014). Estrutura da comunidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em quatro ambientes com diferentes níveis de perturbação antrópica. *Ecología austral*, 24(2), 229-237.

Magurran, A. E., Baillie, S. R., & Buckland, S. T. Dick, DA Elston, EM Scott, RI Smith & 2 others, 2010. Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: assessing change in ecological communities through time. *Trends in Ecology and Evolution*, 25, 574-582.

Mendonça, B. A. F. D. (2011). Campinaranas amazônicas: pedogênese e relações solo-vegetação.

Miranda, I. P. D. A., Miranda, D. D. P. A., & Barbosa, E. M. (2020). Áreas de transição de

campinas, campinaranas e florestas de Porto Trombetas. *Meio ambiente e seus desafios: Estudos Contemporâneos-Volume 2*.

Oliveira, J. F. D. (2020). Monitoramento dos impactos ambientais causados pela extração de areia na região metropolitana de Manaus.

Oliveira, G. K. S. (2022). Caracterização de solos arenosos sob Campinaranas da região de Manaus e Presidente Figueiredo (AM).

Folgarait, P. J. (1998). Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity & Conservation*, 7(9), 1221-1244.

Pereira, J. R., & Almeida, F. S. (2023). Influência da heterogeneidade ambiental sobre a mirmecofauna em diferentes usos do solo no município de Bom Despacho, estado de Minas Gerais. *Ciência Florestal*, 33(1).

Peixoto, T. S., de Lurdes Praxedes, C., Baccaro, F. B., Barbosa, R. I., & Júnior, M. M. (2010). Composição e riqueza de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em savana e ambientes associados de Roraima. *Composition and richness of ants (Hymenoptera: Formicidae) in savanna and associated environments of Roraima State (Northern of Brazil)*.

Pires, J. M. (1974). Tipos de vegetação da Amazônia. *Brasil Florestal*, 5(17), 48-58.

Philpott, S. M., Perfecto, I., Armbrecht, I., & Parr, C. L. (2010). Ant diversity and function in disturbed and changing habitats. *Ant ecology*, 1, 137-156.

Ré, T. M. (2007). O uso de formigas como bioindicadores no monitoramento ambiental de revegetação de áreas mineradas (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Ribas, C. R., Schoereder, J. H., Pic, M., & Soares, S. M. (2003). Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness. *Austral Ecology*, 28(3), 305-314.

Ribas, C. R., Campos, R. B., Schmidt, F. A., & Solar, R. R. (2012). Ants as indicators in Brazil: a review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. *Psyche*, 2012.

Rocha, W. D. O., Dorval, A., Peres Filho, O., Vaez, C. D. A., & Ribeiro, E. S. (2015). Formigas (Hymenoptera: Formicidae) Bioindicadoras de Degradação Ambiental em Poxoréu, Mato Grosso, Brasil. *Floresta e Ambiente*, 22, 88-98.

- Romero, H., & Jaffe, K. (1989). A comparison of methods for sampling ants (Hymenoptera, Formicidae) in savannas. *Biotropica*, 348-352.
- Rupil, G., Machado, M. X., Burg Mayer, G., Peres, L. M. C., Roos, A. L., & Medina-Hernández, M. I. (2018). Cada macaco no seu galho: estudo do particionamento da diversidade beta em assembleias de besouros escarabeíneos.
- Salati, E., Junk, W. J., Shubart, H. O. R., & Oliveira, A. D. (1983). *Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia* (pp. 1-44). Brasiliense.
- Sandim, A. G. V. (2022). Variações morfométricas de *Ectatomma permagnum* Forel, 1908 (Formicidae: Ectatomminae) sob o efeito de fatores ambientais no Cerrado (Doctoral dissertation, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul).
- Santos, T. (2017). Estrutura taxonômica e funcional das assembleias de formigas (Hymenoptera: formicidae) em florestas de várzea e terra-firme na Amazônia Central.
- Santos Neto, P. E. (2021). Efeito das formigas cortadeiras *Atta* e *Acromyrmex* nos atributos do solo e na regeneração da Caatinga.
- Silva, R. R. D., & Silvestre, R. (2004). Riqueza da fauna de formigas (Hymenoptera: Formicidae) que habita as camadas superficiais do solo em Seara, Santa Catarina. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 44, 1-11.
- Silva, M. D. F. D. (2020). A degradação ambiental decorrente da construção do Ramal da Água Preta/Areal, Zona Rural de Manaus/Amazonas.
- Siqueira, F., Ribeiro-Neto, J., Tabarelli, M., Andersen, A., Wirth, R., & Leal, I. (2017). Leaf-cutting ant populations profit from human disturbances in tropical dry forest in Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 33(5), 337-344.
- Siqueira, Felipe F.S. et al. (2018). Human disturbance promotes herbivory by leaf-cutting ants in the Caatinga dry forest. *Biotropica*, [s. l.], v. 50, n. 5, p. 779–788.
- Soares Junior, A. M. (2022). As campinas e campinaranas amazônicas revisões bibliográficas.
- Tedesco, A. D. O. (2021). Diversidade beta temporal como ferramenta para análise de impactos ambientais.
- Torres, V. O., Sguarizi-Antonio, D., Lima, S. M., da Cunha Andrade, L. H., & Antonialli-Junior, W. F. (2014). Reproductive status of the social wasp *Polistes versicolor* (Hymenoptera, Vespidae). *Sociobiology*, 61(2), 218-224.

Urbas, Pille et al. (2007). Cutting more from cut forests: Edge effects on foraging and herbivory of leaf-cutting ants in Brazil. *Biotropica*, [s. l.], v. 39, n. 4, p. 489–495.

Underwood, E. C., & Fisher, B. L. (2006). The role of ants in conservation monitoring: if, when, and how. *Biological conservation*, 132(2), 166-182.

Vasconcelos, H. L., Vilhena, J. M., Magnusson, W. E., & Albernaz, A. L. M. (2006). Long-term effects of forest fragmentation on Amazonian ant communities. *Journal of Biogeography*, 33(8), 1348-1356.

Vasconcelos, Heraldo L et al. (2006). Roads Alter the Colonization Dynamics of a Keystone Herbivore in Neotropical Savannas. *Biotropica*.

Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). Limitations of linear regression applied on ecological data. In *Mixed effects models and extensions in ecology with R*(pp. 11-33). Springer, New York, N.

APÊNDICE 1. Lista das espécies de formigas com suas respectivas ocorrências na Campinarana explorada, na Campinarana conservada, e das espécies que ocorreram em ambas Campinaranas, em quatro municípios da Região Metropolitana de Manaus, Amazonas.

Ambiente	Espécies	Nº Indivíduos
Campinarana explorada	<i>Ectatomma brunneum</i>	335
	<i>Azteca</i> sp.1	28
	<i>Calatomyrmex</i> sp.1	1
	<i>Atta</i> sp.1	9
	<i>Atta</i> sp.2	52
	<i>Atta</i> sp.3	54
	<i>Dolichoderus</i> sp.1	26
	<i>Mycocepurus</i> sp.1	22
	<i>Camponotus rengeri</i>	81
	<i>Cyphomyrmex</i> sp.1	6
	<i>Ectatomma tuberculatum</i>	2
	<i>Pheidole</i> sp.1	75
	<i>Pheidole</i> sp.4	24
	<i>Pheidole</i> sp.16	6
	<i>Pheidole</i> sp.18	1
	<i>Solenopsis</i> sp.1	41
	<i>Solenopsis</i> sp.3	39
	<i>Dorymyrmex</i> sp.2	27
	<i>Camponotus</i> sp.2	2
	<i>Pseudomyrmex</i> sp.1	18
Ambos ambientes	<i>Crematogaster</i> sp.1	288
	<i>Crematogaster braziliensis</i>	38
	<i>Crematogaster foliocripta</i>	4
	<i>Dorymyrmex</i> sp.1	39
	<i>Pheidole</i> sp.2	56
	<i>Pheidole</i> sp.3	37
	<i>Pheidole</i> sp.7	102
	<i>Pheidole</i> sp.9	11

<i>Solenopsis</i> sp.2	51
<i>Atta</i> sp.4	32
<i>Camponotus</i> sp.1	13
<i>Camponotus femoratus</i>	82
<i>Wasmannia auropunctata</i>	65
<i>Odontomachus</i> sp.1	3
<i>Acromyrmex</i> sp.1	13
<i>Pachycondyla harpax</i>	8
<i>Neivamyrmex</i> sp.1	14
<i>Ectatomma lugens</i>	10
<i>Mayaponera constricta</i>	3
<i>Nylanderia</i> sp.1	37

Campinarana conservada

<i>Pheidole</i> sp.5	8
<i>Pheidole</i> sp.6	8
<i>Pheidole</i> sp.8	8
<i>Pheidole</i> sp.10	4
<i>Pheidole</i> sp.11	1
<i>Pheidole</i> sp.12	3
<i>Pheidole</i> sp.13	3
<i>Pheidole</i> sp.14	1
<i>Pheidole</i> sp.15	1
<i>Pheidole</i> sp.17	1
<i>Solenopsis</i> sp.4	1
<i>Camponotus</i> sp.4	1
<i>Camponotus triceps</i>	7
<i>Camponotus novogranadensis</i>	3
<i>Crematogaster linata</i>	2
<i>Crematogaster nigropilosa</i>	5
<i>Neoponera apicalis</i>	10
<i>Pachycondyla crassinoda</i>	49
<i>Hypoponera</i> sp.1	1
<i>Leptogenys</i> sp.1	1
<i>Apterostigma</i> sp.1	1
<i>Platythyrea</i> sp.1	1
<i>Paratrachymyrmex</i> sp.1	14
<i>Paratrachymyrmex</i> sp.2	7
<i>Paratrachymyrmex</i> sp.3	7
<i>Gnamptogenys</i> sp.1	4
<i>Gnamptogenys</i> sp.2	9
<i>Blepharidatta braziliensis</i>	2
<i>Odontomachus haematodus</i>	3
