



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM ÊNFASE EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS

DOUGLAS THIERRY DE MELO NEVES

**Efeitos da criação extensiva de caprinos sobre a comunidade de formigas e
seus atributos funcionais morfológicos na Caatinga**

Recife

2024

DOUGLAS THIERRY DE MELO NEVES

Efeitos da criação extensiva de caprinos sobre a comunidade de formigas e seus atributos funcionais morfológicos na Caatinga

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Orientador (a): Inara Roberta Leal

Coorientador (a): Fernanda Maria Pereira de Oliveira

Recife

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Melo Neves, Douglas Thierry de.

Efeitos da criação extensiva de caprinos sobre a comunidade de formigas e seus atributos funcionais morfológicos na Caatinga / Douglas Thierry de Melo Neves. - Recife, 2024.

47 p. : il., tab.

Orientador(a): Inara Roberta Leal

Coorientador(a): Fernanda Maria Pereira de Oliveira

(Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciências Ambientais - Bacharelado, 2024.

1. Formicidae. 2. Variação intraespecífica. 3. Florestas Secas. 4. Pecuária Extensiva. 5. Ecologia de Comunidades. I. Leal, Inara Roberta. (Orientação). II. Oliveira, Fernanda Maria Pereira de. (Coorientação). IV. Título.

590 CDD (22.ed.)

DOUGLAS THIERRY DE MELO NEVES

**Efeitos da criação extensiva de caprinos sobre a comunidade de formigas
e seus atributos funcionais morfológicos na Caatinga**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Aprovada em: 22/02/2024

COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **INARA ROBERTA LEAL**
Data: 04/03/2024 14:38:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Inara Roberta Leal, Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **RONALD NOUTCHEU**
Data: 04/03/2024 18:10:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Ronald Noutcheu, Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **ISABELLE LEITE DE HOLANDA SILVA**
Data: 04/03/2024 14:23:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

MSc. Isabelle Leite de Holanda Silva, Universidade Federal de Pernambuco

Recife

2024

Dedico este trabalho às pessoas que vieram antes de mim, em especial aquelas que me criaram e me zelaram a vida toda, são elas: a minha mãe Raquel Maria, minha avó Adélia Lúcia e a minha madrinha Aldacir Rodrigues.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, para além dos três pilares a quem dediquei este trabalho, por suportarem e aturarem este espírito rebelde ao longo desses anos. Em segundo lugar, agradeço à professora Inara por me ajudar tanto e ter me acolhido tão bem em seu grupo, além de ser uma grande fonte de inspiração enquanto pessoa e pesquisadora. Em terceiro lugar, gostaria de agradecer a todas as pessoas que fizeram parte desta trajetória na graduação, em especial aos companheiros e companheiras do Laboratório de Interação Planta-Animal: à Fernanda, co-orientadora deste trabalho, por todas as análises estatísticas feitas e os muitos auxílios com a escrita dos trabalhos; ao meu parceiro de R.U., Mikael, que também muito me ajudou com este e outros trabalhos; ao Daniel, pela ajuda com as fotos e medições das formigas; e às pessoas, que além de contribuírem com este e outros trabalhos, lá no começo, em 2022, me fizeram sentir bem e à vontade no LIPA: Adriele, Isabelle, Gabi e Byanca. E por último, gostaria de agradecer aos demais professores e professoras que, embora não façam ideia, desde o ensino médio e na Geografia (graduação interrompida) foram marcantes para mim e me inspiraram a seguir e a continuar neste caminho, são eles: a professora Êmy e os professores Claudenor e César Gondim, no ensino médio; a professora Maria Fernanda e os professores Osvaldo Girão e Rodrigo Dutra na Geografia; as professoras Andrezza Karla e Cristiane Thalita e os professores Enrico Bernard, Mauro Guida, Marciel Teixeira e Marco Katzenberger na Biologia.

*"Há décadas em que nada acontece e há
semanas em que décadas acontecem."*

(Vladimir Ilyich Ulianov)

RESUMO

A pecuária extensiva é uma das formas de uso do solo que mais tem modificado os ecossistemas ao redor do mundo. Ao consumir a vegetação nativa e modificar a estrutura dos solos através do pisoteio, a caprinocultura torna-se um importante vetor de distúrbios antrópicos crônicos. Ao afetar a comunidade de plantas nativas, os caprinos podem afetar espécies de animais que vivem associadas a elas, direta ou indiretamente. As formigas (Hymenoptera; Formicidae), são um grupo de animais potencialmente afetados pela caprinocultura. Além de ótimos bioindicadores, esses animais são extremamente abundantes e diversos, provendo importantes funções e serviços ecossistêmicos. Este trabalho objetivou avaliar os efeitos dos caprinos na riqueza da comunidade de formigas, na composição de espécies e de grupos funcionais e nos atributos funcionais morfológicos de duas espécies filogeneticamente distantes e amplamente distribuídas no Parque Nacional do Catimbau. Registramos um total de 5119 indivíduos, pertencentes a 58 espécies, 17 gêneros e 5 subfamílias. A subfamília Myrmicinae correspondeu a 75.8% das espécies amostradas. Os gêneros mais diversos foram *Pheidole* e *Solenopsis*, respectivamente. *Dinoponera quadriceps* e *Ectatomma muticum* representaram as espécies mais frequentes e abundantes em nossa amostragem. Não foram observadas diferenças na riqueza e composição de espécies e grupos funcionais. Contudo, documentamos um aumento no tamanho relativo do clipeo e dos olhos em indivíduos de *Dorymyrmex thoracicus* nas parcelas de exclusão dos caprinos. Nossos achados em conjunto indicam que a comunidade de formigas é resiliente ao efeito dos caprinos na área de estudo, no entanto, a presença desses animais pode alterar atributos morfológicos intraespecíficos ligados ao comportamento e a utilização de recursos, com potenciais efeitos em interações ecológicas entre plantas e formigas.

Palavras-chave: Formicidae. Florestas Secas. Pecuária extensiva. Ecologia de comunidades. Variação intraespecífica.

SUMMARY

Extensive livestock farming is one of the land use practices that has significantly altered ecosystems worldwide. By consuming native vegetation and modifying soil structure through trampling, goat farming becomes a significant vector of chronic anthropogenic disturbances. By affecting the native plant community, goats can impact species of animals associated with them, directly or indirectly. Ants (Hymenoptera; Formicidae) are a group of animals potentially affected by goat farming. Besides being excellent bioindicators, these animals are extremely abundant and diverse, providing essential ecosystem functions and services. This study aimed to assess the effects of goats on the richness of the ant community, species composition, and functional groups, as well as the morphological functional attributes of two phylogenetically distant and widely distributed species in the Catimbau National Park. We recorded a total of 5119 individuals, belonging to 58 species, 17 genera, and 5 subfamilies. The subfamily Myrmicinae accounted for 75.8% of the sampled species. The most diverse genera were Pheidole and Solenopsis, respectively. *Dinoponera quadriceps* and *Ectatomma muticum* represented the most frequent and abundant species in our sampling. No differences were observed in species richness and composition of functional groups. However, we documented an increase in the relative size of the clypeus and eyes in individuals of *Dorymyrmex thoracicus* in the goat exclusion plots. Our findings collectively indicate that the ant community is resilient to the effects of goats in the study area; however, the presence of these animals may alter intra-specific morphological attributes related to behavior and resource utilization, with potential effects on ecological interactions between plants and ants.

Keywords: Formicidae. Dry Forests. Extensive Livestock Farming. Community Ecology. Intraspecific Variation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Área de estudo e desenho experimental.	19
Figura 2 –	Medidas dos atributos funcionais propostos em milímetros (mm).	22
Figura 3 –	Abundância e riqueza relativa em % dos diferentes grupos funcionais amostrados em parcelas com e sem a presença de caprinos no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.	29
Figura 4 –	Boxplot indicando as diferenças entre a riqueza de espécies de formigas coletadas nos pares de parcelas com e sem a presença de caprinos no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.	30
Figura 5 –	Escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) da composição de espécies de formigas em áreas com e sem a presença de caprinos no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.	30
Figura 6 –	Boxplot indicando as diferenças entre a riqueza de grupos funcionais de formigas nas parcelas com e sem a presença de caprinos no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.	31
Figura 7 –	Escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) indicando uma sobreposição na composição de grupos funcionais de formigas em áreas com e sem a presença de caprinos no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.	31
Figura 8 –	Boxplot indicando diferenças nas médias do tamanho relativo dos olhos e comprimento relativo do clipeo de <i>D. thoracicus</i> em áreas com e sem a presença de caprinos no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Características morfológicas utilizadas para verificar possíveis variações morfológicas de duas espécies de formigas em áreas com e sem a presença de caprinos no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.	23
Tabela 2 –	Ocorrência das espécies coletadas em diferentes tratamentos (controle e tratamento), no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.	25
Tabela 3 –	Grupos funcionais e espécies amostradas no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.	28
Tabela 4 –	Variação na média dos atributos funcionais morfológicos de duas espécies de formiga entre os tratamentos (controle e tratamento), no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	METODOLOGIA	18
2.1	ÁREA DE ESTUDO	18
2.2	DESENHO EXPERIMENTAL	19
2.3	AMOSTRAGEM DA COMUNIDADE DE FORMIGAS	19
2.4	CLASSIFICAÇÃO DAS FORMIGAS EM GRUPOS FUNCIONAIS	20
2.5	ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS DAS FORMIGAS	21
2.6	ANÁLISE ESTATÍSTICAS	23
3	RESULTADOS	25
3.1	RESULTADOS BIOLÓGICOS	27
3.2	RESULTADOS ESTATÍSTICOS	29
3.2.1	COMUNIDADE DE FORMIGAS	29
3.2.2	ATRIBUTOS FUNCIONAIS MORFOLÓGICOS	31
4	DISCUSSÃO	36
5	CONCLUSÃO	37
6	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A demanda crescente por recursos naturais tem levado a diversas mudanças no uso da terra. As perturbações antrópicas, decorrentes dessas mudanças, podem ser observadas em praticamente todos os ecossistemas com significativa redução da biodiversidade (Laurance *et al.*, 2014) e alterações em funções ecossistêmicas (Cardinale *et al.*, 2012). Dois grupos principais de perturbações antrópicas podem ser observadas: as perturbações agudas e as perturbações crônicas (Singh, 1998). As perturbações antrópicas agudas são caracterizadas por remoções abruptas e substanciais de biomassa florestal, frequentemente ligadas a atividades como agricultura e pecuária, mas também à expansão das cidades e assentamentos humanos, sendo ela a principal causa da perda e fragmentação de habitats ao redor do mundo (Müller *et al.*, 2013; Laurance *et al.* 2014). As perturbações crônicas, por sua vez, consistem em remoções frequentes e contínuas de pequenas quantidades de biomassa por meio de atividades como coleta de lenha, extração seletiva de madeira e outros recursos florestais não madeireiros, criação extensiva de animais domésticos e a introdução de espécies exóticas (Singh, 1998; Schulz *et al.*, 2016). Essas perturbações crônicas não causam perda e fragmentação de habitat, mantendo a paisagem aparentemente intacta (Singh, 1998).

As alterações decorrentes desse processo, embora não sejam conspícuas como as perturbações agudas, podem ser tão deletérias quanto, na medida em que a coleta seletiva de plantas e animais e a criação extensiva de animais exóticos, por exemplo, atuam simplificando e reduzindo as funções do ecossistema ao limitar o tempo de reestabelecimento das comunidades naturais (Singh, 1998). Estudos recentes sobre os impactos das perturbações crônicas mostram reduções no tamanho e número de populações de espécies características de floresta enquanto promovem a proliferação daquelas adaptadas a ambientes abertos (Rito *et al.*, 2017; Filgueiras *et al.*, 2021), redução na diversidade taxonômica, filogenética e funcional de comunidades de plantas e formigas (Ribeiro *et al.*, 2015; Ribeiro *et al.*, 2016; Rito *et al.*, 2017; Arnan *et al.*, 2018), redução da sobrevivência de mudas e processos de regeneração (Lins *et al.*, 2022; Noutcheu *et al.*, 2024), homogeneização biológica (Ribeiro-Neto *et al.*, 2016, Oliveira *et al.*, 2017), perda de interações ecológicas e serviços ecossistêmicos relacionados (Leal *et al.*, 2014; 2015; Câmara *et al.*, 2018; 2019) e redução nos

estoques de nutrientes associados ao sobrepastoreio de caprinos criados extensivamente (Schulz *et al.* 2016).

Dentre os ecossistemas tropicais, as Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (Seasonally Dry Tropical Forests, SDTF sensu Murphy & Lugo 1986, Pennington *et al.*, 2009) são muito representativas e ocupam cinco continentes distintos: América do Norte e Central, América do Sul, África, Ásia e Austrália/Oceania (Tabarelli *et al.*, 2024), além de abrigarem uma grande riqueza de espécies e alto grau de endemismo, que têm colocado esses ambientes como reconhecidos hotspots para a conservação (Trejo & Dirzo 2000; Giuliatti *et al.*, 2002; Suazo-Ortuño *et al.*, 2008). Contudo, as florestas tropicais secas abrigam mais de um terço da população mundial e a degradação ambiental oriunda de perturbações antrópicas crônicas é notável devido ao fato das populações que historicamente habitam essas regiões serem socioeconomicamente vulneráveis e dependentes dos recursos florestais para a subsistência e fonte de renda (Lorent *et al.*, 2009; Mukul *et al.* 2016, Rito *et al.*, 2017).

Constituindo-se como um mosaico de florestas tropicais secas e vegetação arbustiva (Pennington *et al.*, 2000, 2009) que cobrem mais de 800,000 km² do nordeste brasileiro e cerca de 10% de todo o território brasileiro (Leal *et al.*, 2003), a Caatinga brasileira é limitada a leste e a oeste pelas florestas Atlântica e Amazônica, respectivamente, e ao sul pelo Cerrado. A precipitação média anual varia entre 240 e 1.500 mm, mas metade da região recebe menos de 750 mm e algumas áreas centrais menos de 500 mm (Sampaio, 1995; Prado, 2003). A maioria das chuvas na Caatinga (50-70%) é concentrada entre três e cinco meses consecutivos, apesar da alta variação anual e dos frequentemente longos períodos de secas severas (Nimer, 1972; Krol *et al.*, 2001; Chiang & Koutavas, 2004; Rito *et al.*, 2017). Quando comparada a outros ecossistemas brasileiros, a Caatinga apresenta características climáticas extremas como: a mais alta temperatura média anual, as mais baixas taxas de umidade relativa, evapotranspiração potencial mais elevada, e, sobretudo, precipitações mais baixas e irregulares (Nimer, 1972; Krol *et al.*, 2001). Essas características climatológicas levaram à evolução de uma biota tipicamente xerófila, com uma série de adaptações que a torna capaz de prosperar nas condições severas a que está submetida (Leal *et al.*, 2003, 2005; Silva *et al.*, 2004).

Com cerca de 28 milhões de habitantes, a Caatinga merece destaque como uma das regiões semiáridas mais populosas do mundo (Silva *et al.*, 2017), sendo estas populações tipicamente rurais e de baixa renda, altamente dependentes dos

recursos naturais extraídos do bioma, que tem resultado em um processo histórico de degradação. Atualmente, a Caatinga é o terceiro ecossistema mais ameaçado do Brasil (Santos *et al.*, 2011). A principal ameaça imposta à Caatinga pelas perturbações antrópicas crônicas está relacionada ao fato de as populações e comunidades biológicas não terem tempo para se recuperar adequadamente após cada evento de distúrbio. Essas intervenções podem levar a uma série de impactos negativos que vão desde o colapso local de populações de plantas e animais até a extinção dessas espécies em múltiplas escalas espaciais (desde a escala local até a regional), culminando com a substituição da cobertura arbórea por arbustos (Araújo *et al.*, 2023). Além disso, modelos de mudanças climáticas apontam para um aumento na temperatura de 3 - 6 °C e uma redução na precipitação em torno de 40% até o final deste século em relação ao observado para o século XX na região semiárida do Brasil (Oliveira *et al.* 2012; Magrin *et al.*, 2014). As previsões sobre os efeitos das mudanças climáticas na região também ressaltam o aumento da variação nos níveis de umidade e temperatura (Schär *et al.*, 2004) e um aumento na frequência de eventos climáticos extremos, ambos com efeitos potencialmente mais dramáticos sobre as comunidades biológicas do que a simples mudança na média dos parâmetros climáticos (Jentsch *et al.*, 2009). Isto poderia intensificar os efeitos negativos das perturbações antrópicas incidentes sobre o bioma, visto que o regime crônico tende a intensificar os filtros ambientais que já atuam sobre as florestas tropicais secas, particularmente a Caatinga (Fajardo *et al.*, 2013), ou mesmo criar novos filtros ambientais, como as modificações das características edáficas decorrentes de processos erosivos no solo (Espinosa *et al.*, 2011).

A pecuária extensiva (sobretudo de caprinos) é uma das principais fontes de renda no semiárido brasileiro e um dos fatores que mais contribuem para a degradação ambiental da Caatinga (Su *et al.*, 2017). A vulnerabilidade socioeconômica das comunidades humanas que ocupam o semiárido brasileiro levou a um estreitamento da relação do sertanejo com os caprinos, os quais foram introduzidos pelos colonizadores europeus no século XVI, e se adaptaram muito bem ao clima semiárido da região (Menezes *et al.*, 2021). Atualmente, a caprinocultura no nordeste brasileiro corresponde a 95% do rebanho de todo o território nacional (IBGE, 2020), sendo a grande maioria dos animais criados de forma extensiva em áreas de Caatinga (Menezes *et al.*, 2021). O número elevado de caprinos criados no semiárido se dá pela rusticidade e alta adaptabilidade desses animais às adversidades sazonais

da região, que permite que eles se alimentem de quase todas as espécies e partes de plantas da flora local (Leal *et al.*, 2003), diminuindo a necessidade de suplementação na alimentação desses animais em tempos de escassez. Como consequência, a herbivoria por caprinos é significativa, e esse consumo de plantas nativas, junto à sazonalidade marcada e à baixa produtividade do ambiente, geram perdas significativas de biomassa vegetal, tornando esses animais um importante vetor de distúrbios antrópicos crônicos (Leal *et al.*, 2003, Silva *et al.*, 2017, Menezes *et al.*, 2021). A combinação de tais fatores traz diversas interferências negativas em processos ecológicos chave da Caatinga como a polinização (Silva *et al.*, 2020), a dispersão de sementes (Leal *et al.* 2014; Oliveira *et al.*, 2019) e a proteção anti-herbivoria (Leal *et al.* 2015; Oliveira *et al.*, 2021), alterando comunidades vegetais e comprometendo a biodiversidade e a oferta dos serviços ecossistêmicos.

Ao afetar a comunidade de plantas nativas, os caprinos podem afetar espécies de animais que vivem associadas a elas, direta ou indiretamente. As formigas (Hymenoptera; Formicidae) constituem um excelente sistema para estudos dado que constituem um grupo diverso e abundante numérica e ecologicamente, ocorrendo em todas as regiões do planeta, exceto nas calotas polares congeladas ao longo do ano, apresentando diversos hábitos de alimentação e locais de nidificação (Hölldobler & Wilson 1990; Arnan *et al.*, 2018). Consequentemente, as formigas não apenas modificam propriedades abióticas e bióticas dos ambientes, como desempenham uma grande variedade de funções no ecossistema como a ciclagem e estoque de nutrientes, polinização e dispersão de sementes, controle de pragas e proteção anti-herbivoria de plantas (Hölldobler & Wilson 1990; Lach *et al.*, 2010; Zelikova *et al.*, 2011; Del Toro *et al.*, 2012; Elizalde *et al.*, 2021). A importância ecológica e o sucesso das formigas se devem ao fato de elas terem sido o primeiro grupo de organismos eussociais e predadores a ocuparem os solos e serrapilheira, nicho até hoje dominado por elas (Hölldobler & Wilson 1990). Além de toda essa relevância ecológica, as formigas respondem a perturbações antrópicas diversas como mineração, corte seletivo de madeiras, fogo, perda e fragmentação de habitats, sobrepastoreio por animais domésticos e outros tipos de perturbações crônicas, e possuem protocolos de amostragem padronizados e de fácil execução e comparação, sendo frequentemente utilizadas como bioindicadores de qualidade do habitat (Agosti & Alonso, 2000; Kaspari & Majer, 2000; Andersen *et al.*, 2004; Wardle *et al.*, 2011; Leal *et al.*, 2012; 2017; Oliveira *et al.*, 2017; Arnan *et al.*, 2018).

As comunidades de formigas, em muitos aspectos, estruturam-se de forma semelhante à vegetação, já que as colônias são fixas tal qual os organismos vegetais e a captura dos recursos é realizada através da ramificação de módulos de forrageamento (Harper, 1985; Andersen, 1995). Esta característica torna as formigas ainda mais sujeitas aos efeitos do sobrepastoreio, ou seja, às alterações na estrutura do solo e ao consumo da vegetação nativa utilizada como recurso. As respostas das comunidades de formigas a perturbações geralmente envolvem alterações na composição de espécies locais e reduções na diversidade taxonômica, filogenética e funcional (Ribeiro-neto *et al.*, 2016; Leal *et al.*, 2017, Arnan *et al.*, 2018). Tais efeitos negativos sobre a comunidade de formigas na Caatinga podem levar à redução dos serviços ecossistêmicos prestados por esses animais, como a dispersão de sementes de plantas nativas (Leal, Andersen & Leal, 2014) e a proteção anti-herbivoria (Leal, Andersen & Leal, 2015), comprometendo a manutenção do bioma a longo prazo.

As perturbações antrópicas, sejam elas crônicas ou agudas, não só afetam a diversidade e a composição de espécies no ambiente, como também o conjunto de atributos ligados a funções desempenhadas pelos organismos nos ecossistemas (Podgaiski *et al.*, 2011), levando à perda e/ou modificação de serviços ecossistêmicos como a polinização, a dispersão de sementes e o controle de pragas (Hughes & Westoby; 1992; Greenleaf *et al.*, 2007; Bianchi *et al.*, 2009). Diversos estudos têm demonstrado a importância das características funcionais na avaliação de padrões ecológicos nas comunidades, permitindo inferências sobre aspectos biogeográficos, estrutura filogenética e evolução (Ackerly & Cornwell, 2007; McGill *et al.*, 2006; Petchey *et al.*, 2007; Silva & Brandão, 2010; Leal *et al.*, 2017). Essas características atuam em diversos contextos e podem ser uma ferramenta de análise importante ao avaliar o efeito de espécies dominantes, espécies-chave, engenheiros ecossistêmicos e interações ecológicas (e.g. competição, mutualismo e predação) (Hopper *et al.*, 2005). Além de potencialmente demonstrar reduções e/ou perdas nas funções providas pelas espécies no ecossistema, a avaliação de atributos funcionais também pode oferecer respostas sobre a resiliência dessas mesmas funções em ambientes perturbados. Alterações em características funcionais morfológicas, fisiológicas, comportamentais e de história de vida, permitem respostas adaptativas aos filtros ambientais gerados, por exemplo, pelas atividades humanas (Oliveira *et al.*, 2022). A variação desses atributos pode ser explicada através da plasticidade fenotípica (Hadfield & Strathmann, 1996; Beever *et al.*, 2017) ou da adaptação dessas

populações às condições ambientais que lhes são impostas (Hadfield & Strathmann, 1996). Para invertebrados, os atributos funcionais frequentemente estão associados à morfologia e fisiologia (i.e. tamanho do corpo e dos apêndices, tipo e tamanho de asas e aparelho bucal, ciclo de vida, reprodução e respiração), ao comportamento alimentar (e.g. hábitos, tipo de recurso utilizado, estratégia de forrageamento), uso e especialização do habitat, estratégias de fuga de predadores e a perturbações ambientais, entre outros (Podgaiski *et al.*, 2011). Estes atributos são amplamente utilizados na avaliação de respostas das espécies a variações ambientais (Arnan *et al.*, 2012; Gibb & Parr, 2013; Pigot *et al.*, 2016; Sfair *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2022).

Nesse contexto, as formigas são um modelo interessante para analisar se e como atributos morfológicos respondem a condições ambientais e de regimes de perturbação, pois exibem altos níveis de variação morfológica e funcional, além de serem extremamente sensíveis às mudanças ambientais (Andersen & Majer, 2004; Underwood & Fisher, 2006). O potencial efeito dos caprinos no ambiente frequentemente envolve alterações nos atributos do solo e na estrutura da vegetação (Eldridge *et al.*, 2017), e as populações que dependem de tais recursos podem declinar, persistir ou até mesmo proliferar a depender da capacidade de resposta (Elmqvist *et al.*, 2003), estando diretamente ligada à manutenção dessas populações em suas áreas de ocorrência e, portanto, à manutenção ou não de interações ecológicas, funções e serviços ecossistêmicos.

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da exclusão de caprinos na riqueza e composição de espécies e grupos funcionais de toda a comunidade de formigas epigeicas, bem como nos atributos morfológicos de duas espécies de formigas amplamente distribuídas em uma área de Caatinga no interior do estado de Pernambuco, Brasil. A nossa hipótese é de que os caprinos afetam negativamente a comunidade de formigas, alterando a composição de espécies, de grupos funcionais e os atributos morfológicos das espécies. Tais efeitos são advindos do pisoteio e compactação dos solos, que dificultam a nidificação das rainhas e a sobrevivência das colônias, e do consumo da vegetação, que leva a uma redução na quantidade de recursos alimentares. Neste caso, esperamos que nas parcelas de exclusão de caprinos ocorra (1) maior riqueza de espécies e de grupos funcionais, (2) maior ocorrência de espécies e grupos funcionais mais especializados em detrimento de espécies e grupos funcionais mais generalistas e (3) a presença de populações com atributos funcionais relacionados a hábitos mais especializados.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

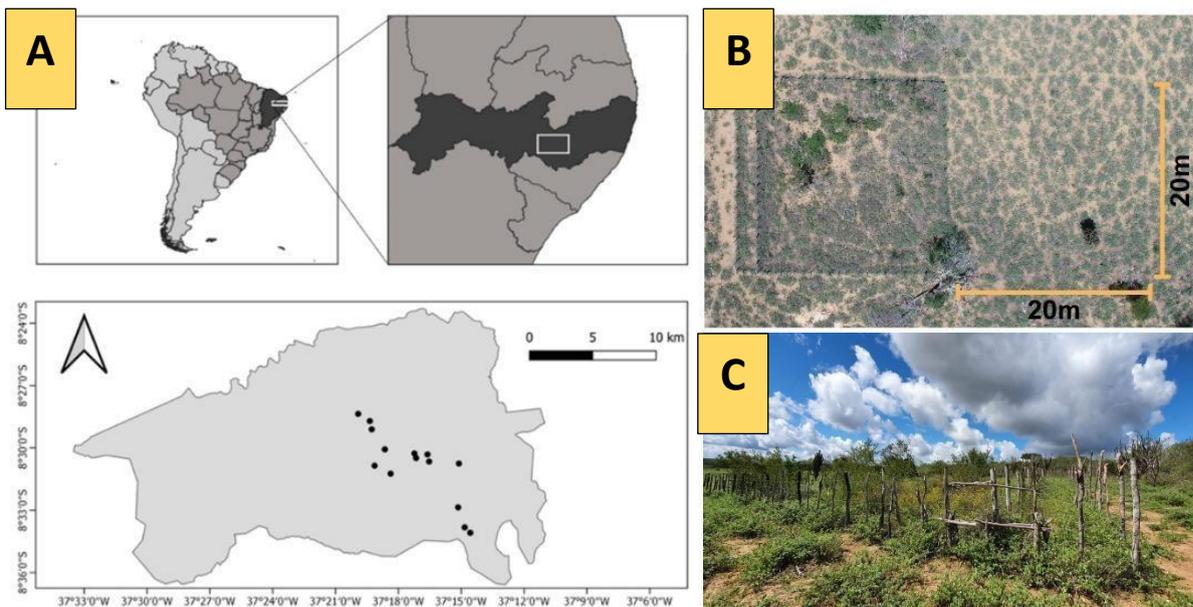
O trabalho foi realizado em áreas de Caatinga no Parque Nacional Catimbau (PARNA Catimbau), no estado de Pernambuco, Brasil (Figura 1). O Parque é localizado entre as coordenadas geográficas 8°24'00" e 8°36'35" de latitude Sul e 37°09'30" e 37°14'40" de longitude Oeste, estendendo-se por 607 km² e ocupando a região central do estado de Pernambuco. Os solos predominantes são as areias quartzíticas, presentes em cerca de 70% do Parque (SNE, 2002; Santos Neto, 2021). O clima na região é classificado como semiárido (Bsh) com transição para tropical chuvoso (As') de acordo com a classificação de Köppen. A precipitação média anual varia entre 480-1100 mm, com uma grande irregularidade interanual. De modo geral, cerca de 60 a 75% de toda a precipitação ocorre entre março/abril e junho/julho e a média térmica anual é de 23 °C, sendo julho o mês mais frio (21 °C) e dezembro o mês mais quente (25 °C) (SNE, 2002). As fitofisionomias observadas vão desde a Caatinga arbórea em áreas de maior precipitação até a vegetação arbustiva com cactáceas e bromeliáceas em regiões mais secas e com afloramentos rochosos (Rito *et al.*, 2017).

O Parque foi estabelecido em 2002, porém, ao longo desses 22 anos, muitos dos habitantes ainda não foram indenizados e continuam residindo dentro do Parque. Este contexto resulta em uma variedade de usos da terra e pressões humanas sobre a biota, o que faz do PARNA Catimbau um excelente modelo para examinar os efeitos que as perturbações decorrentes das atividades humanas (por exemplo, criação de animais, agricultura, extração de lenha e caça) têm sobre a biodiversidade da Caatinga, permitindo ainda extrapolações para outras florestas tropicais secas ao redor do mundo. Com relação à criação de caprinos dentro do Parque, um estudo realizado em 81 domicílios constatou que 55% dos entrevistados criavam caprinos de forma extensiva, com uma média de 22 animais por domicílio (Jamelli *et al.*, 2021). Estudos recentes na área de estudo a respeito de perturbações antrópicas crônicas, incluindo o impacto dos caprinos na região, apontam para uma redução da diversidade plantas herbáceas, reduções na diversidade filogenética e funcional de formigas, além de alterações em interações mutualísticas entre plantas e formigas (Arnan *et al.*, 2018; Câmara *et al.*, 2018; Menezes *et al.*, 2021).

2.2 Desenho experimental

Para avaliar o efeito dos caprinos sobre a regeneração na Caatinga, no ano de 2015 foi estabelecido um experimento de exclusão destes animais no âmbito de um Projeto Ecológico de Longa Duração (PELD) conduzido dentro do PARNA Catimbau (para mais informações: <https://peldcatimbau.com.br>). Para tal, foram delimitadas 14 pares de parcelas de 20m x 20m, sendo uma parcela cercada com nove fios de arame farpado, impedindo a entrada desses animais (parcela de exclusão) e parcela com livre acesso de caprinos (parcela controle) (Menezes *et al.*, 2021). O desenho pareado possibilita manter as mesmas condições ambientais, sendo a presença de caprinos a única variável que difere entre as duas parcelas do par (Menezes *et al.*, 2021).

Figura 1 – (A) Área de estudo, PARNA Catimbau, Buíque-PE. (B) Desenho experimental.



Fonte: Adaptado de Lins *et al.*, 2022. Fotos: Jens Brauneck (B), Inara Leal (C).

2.3 Amostragem da comunidade de formigas

A comunidade de formigas foi amostrada a partir de armadilhas de queda (pitfall trap) feitas com recipiente de plástico (6 cm de altura, 5 cm de diâmetro, capacidade de 100 ml) em cada uma das 28 parcelas. Em cada recipiente foi adicionado 80 ml de uma solução de álcool 70° com uma gota de detergente neutro, facilitando a captura das formigas. Um conjunto de nove armadilhas foi montado em cada parcela, sendo

elas separadas por 5 metros uma da outra. Também determinamos uma distância de 5 metros entre o conjunto de armadilhas e as bordas de cada parcela, deixando um intervalo de 10 metros entre as armadilhas mais periféricas de uma parcela controle para as armadilhas mais periféricas da parcela de exclusão vizinha, diminuindo a interferência das formigas de uma área em outra. As armadilhas permaneceram montadas por 48 horas e em seguida foram recolhidas e encaminhadas para o Laboratório de Interação Planta-Animal da Universidade Federal de Pernambuco para a triagem e identificação. As formigas amostradas foram separadas em morfoespécies e identificadas ao menor nível taxonômico possível com o auxílio das chaves de identificação de Baccaro *et al.* (2016) e da coleção de formigas do laboratório.

2.4 Classificação das formigas em grupos funcionais

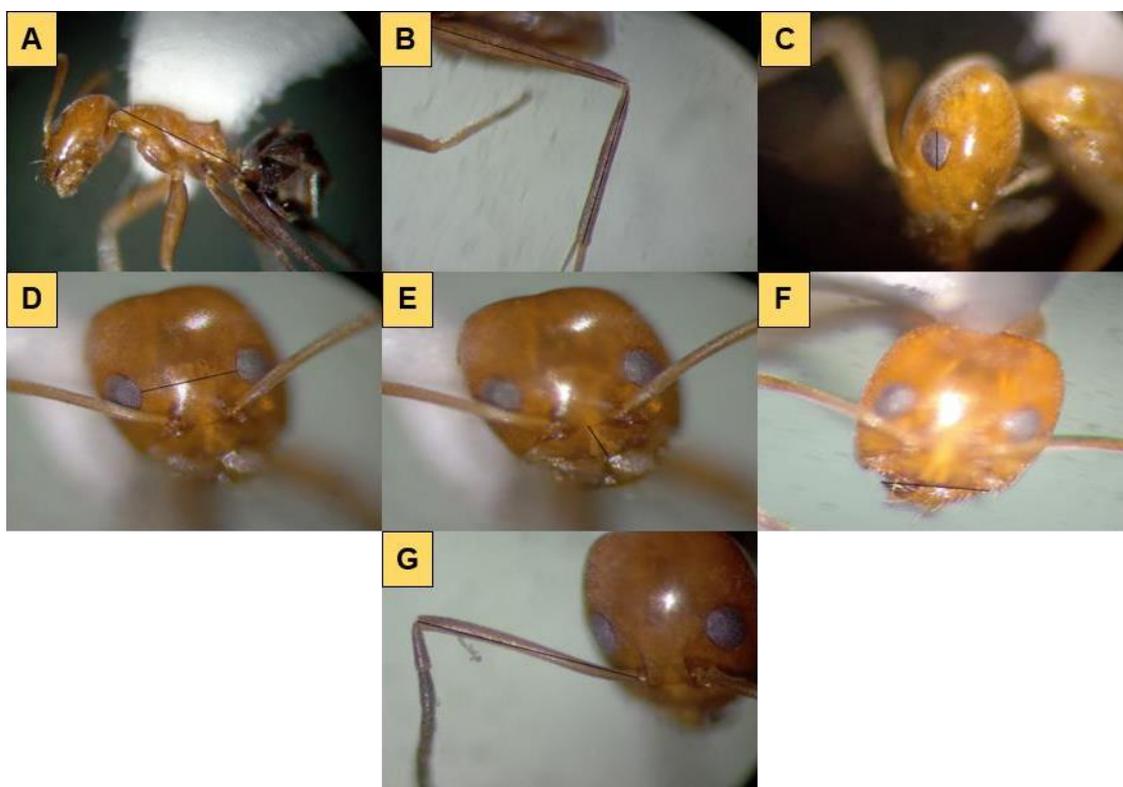
Após a identificação, as espécies foram classificadas em grupos funcionais, seguindo a classificação de Oliveira *et al.* (2017), esses grupos refletem hábitos e funções das espécies no ecossistema, além de relações de dominância entre as espécies, tendo sido propostos para verificar como a fauna de formigas da Caatinga responde a estresse e distúrbios ambientais, sendo, portanto, um complemento importante para a descrição da comunidade de formigas. Os grupos foram: 1 – Dolichoderinae Dominantes (DD): espécies competitivamente dominantes, predominantes em áreas pouco perturbadas; 2 – Camponotini Subordinadas (CS): a maioria das espécies possui comportamento submisso às Dolichoderinae Dominantes e podem ser ecologicamente segregadas delas pelo seu tamanho de corpo grande e forrageamento frequentemente noturno; 3 – Attini Derivadas (HA): espécies muito agressivas, com colônias grandes e polimórficas, que utilizam folhas frescas para cultivar um fungo simbiótico e que são favorecidas em ambientes perturbados; 4 – Attini Basais (LA): espécies não agressivas, com colônias pequenas e monomórficas, que também cultivam um fungo simbiótico, mas o fazem por meio de fezes e material vegetal morto, sendo sensíveis a perturbações; 5 – Espécies Crípticas (SC): espécies de tamanho pequeno que nidificam e forrageiam principalmente no solo e serrapilheira; 6 – Oportunistas (OP): espécies ruderais, não especializadas e pouco competitivas; 7 – Myrmicinae Generalistas (GM): espécies competitivamente subdominantes, predominantes em áreas com perturbação moderada; 8 – Predadoras Especialistas (SP): espécies de tamanho médio a grande, predadoras especialistas

em outros artrópodes; 9 – Formigas arborícolas (TS): espécies que nidificam em árvores e as utilizam prioritariamente para forrageio.

2.5 Atributos morfológicos das formigas

Para os atributos funcionais morfológicos, selecionamos duas espécies filogeneticamente distantes que ocorreram em pelo menos seis pares de parcelas para a medição de seus atributos morfológicos funcionais. As espécies selecionadas foram: *Dorymyrmex thoracicus* (subfamília Dolichoderinae) e *Pheidole radoszkowskii* (subfamília Myrmicinae). Via de regra, foram selecionados seis indivíduos por espécie em cada parcela, seguindo recomendações de estudos que indicam que este seria um número razoável para gerar médias robustas capazes de demonstrar variações intraespecíficas em caracteres de formigas (Parr *et al.*, 2017; Gaudard *et al.*, 2019). No entanto, quando isto não foi possível, utilizamos um mínimo de três indivíduos em cada par de parcela, seguindo Oliveira *et al.*, (2022). Dessa forma, para cada indivíduo selecionado, medimos sete atributos morfológicos ligados a funções ecológicas, sendo eles: o tamanho do corpo (comprimento de Weber), comprimento da perna (tíbia + fêmur), comprimento do olho, distância inter-ocular comprimento do cípeo, comprimento da mandíbula, comprimento do escapo antenal (Figura 2). Esses atributos refletem, por exemplo, os estilos de vida, tamanho do corpo, tolerância fisiológica a temperatura, capacidade e período de forrageamento, tipo de presa e estratégias na aquisição de recursos, e podem variar em resposta a determinadas alterações ambientais (Bihn *et al.*, 2010; Parr *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2022) (Tabela 1).

Figura 2 – Medidas dos atributos funcionais propostos em milímetros (mm). A: Comprimento de Weber; B: Comprimento da perna (fêmur + tíbia); C: Comprimento do olho; D: Distância inter-ocular; E: Comprimento do clípeo; F: Comprimento da mandíbula; G: Comprimento do escapo antenal.



Fonte: O autor, 2024.

Com isso, padronizamos todas as medidas de características (exceto comprimento de Weber) dividindo cada uma delas pelo comprimento de Weber para limitar as correlações com o tamanho do corpo. Dessa forma, obtivemos as diferenças entre o comprimento de Weber, comprimento relativo do olho, comprimento relativo do escapo antenal, comprimento relativo da mandíbula, comprimento relativo do clípeo, comprimento relativo da perna e comprimento relativo da distância inter-ocular, nas parcelas de exclusão e controle.

Tabela 1. Características morfológicas utilizadas para verificar possíveis variações morfológicas em *Dorymyrmex thoracicus* e *Pheidole radoskowskii* em áreas com e sem a presença de caprinos no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.

Característica	Medida	Função
Comprimento de Webber	Mesosossoma; representa o tamanho do corpo, sendo medido desde a base da inclinação anterior do pronoto até o ângulo posterior inferior do propódeo (Brown, 1953).	Relacionado com muitas características fisiológicas, ecológicas e de história de vida (Kaspari & Weiser, 1999).
Comprimento de relativo da perna	Razão entre o comprimento da perna (fêmur + tíbia) e o comprimento do mesossoma.	Possivelmente correlacionado com o modo de aquisição de recursos e eficiência de forrageamento, bem como com a capacidade de lidar com altas temperaturas da superfície de forrageamento (Bihn <i>et al.</i> , 2010; Kaspari & Weiser, 1999).
Comprimento relativo do olho	Razão entre o comprimento do olho e o comprimento do mesossoma.	Provavelmente correlacionado com o período principal de forrageamento (dia vs. Noite) (Bihn <i>et al.</i> , 2010).
Comp. Relativo da distância inter-ocular	Razão entre largura interocular e comprimento do mesossoma.	Relacionado ao método de caça (Fowler <i>et al.</i> , 1991) ou ao habitat ocupado (Gibb & Parr, 2013)
Comprimento relativo do clipeo	Razão entre o comprimento do clipeo e o comprimento do mesossoma.	Correlacionado com a capacidade de sucção e comportamento de alimentação líquida (Davidson <i>et al.</i> , 2004).
Comprimento relativo da mandíbula	Razão entre o comprimento da mandíbula e o comprimento do mesossoma.	Possível indicador de estilo de vida predatório e, portanto, tipos de recursos consumidos (Weiser & Kaspari, 2006).
Comprimento relativo do escapo antenal	Razão entre o comprimento do escapo antenal e o comprimento do mesossoma.	Possivelmente correlacionado com a capacidade de receber informações quimiossensoriais. Formigas com escapos longos podem ser mais sensíveis a trilhas de feromônios (Weiser & Kaspari, 2006).

Fonte: O autor, 2024.

2.6 Análise estatística

A influência da exclusão dos caprinos na riqueza de espécies e de grupos funcionais de formigas foi avaliada a partir de modelos generalizados mistos (GLMMs) com distribuição Poisson, onde a variável explicativa foi o tratamento (controle ou

exclusão de caprinos) e o par de parcelas foi o fator aleatório. Para caracterizar a composição de espécies e de grupos funcionais, inicialmente utilizamos um escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS), baseado em matrizes de similaridade a partir do índice de Bray-Curtis. As possíveis diferenças na composição de espécies e de grupos funcionais foram verificadas com uma Análise Multivariada de Permutação de Variância (PERMANOVA), onde a variável explicativa foi tratamento e o fator aleatório foi o par. Com relação ao efeito dos caprinos sobre a variação morfológica dos atributos de cada espécie de formiga avaliada, foram construídos modelos lineares mistos (LMMs) utilizando a média de cada atributo como variável resposta, o tratamento como variável explicativa e o par de parcelas como fator aleatório. Para as análises envolvendo a riqueza de espécies, grupos funcionais e os atributos morfológicos de formigas, foram verificados os resíduos quanto à normalidade e homoscedasticidade e a significância estatística foi verificada por meio de uma ANOVA. Todas as análises foram feitas através do software R 4.3.2 (R Core Team, 2023).

3 RESULTADOS

3.1 Resultados biológicos

Neste estudo, foram amostradas 58 espécies de formigas em um total de 5119 indivíduos, pertencentes a 17 gêneros e 5 subfamílias (Tabela 2). A subfamília mais representativa foi Myrmicinae, correspondendo a 75.8% do total das espécies amostradas, sendo seguida por Dolichoderinae (12%), Ectatomminae e Formicinae (5.1%) e Ponerinae (1.7%). Os gêneros mais diversos foram *Pheidole*, com 15 espécies, e *Solenopsis*, com 10 espécies, representando juntos 43% de todas as espécies observadas. *Dinoponera quadriceps* e *Ectatomma muticum*, foram as espécies mais frequentes, ocorrendo em 96.4% e 85.7% das parcelas, respectivamente. Em número de indivíduos totais, *Ectatomma muticum*, *Dorymyrmex thoracicus* e *Pheidole radoszkowskii*, foram as espécies mais abundantes com 1398, 1166 e 708 indivíduos coletados para cada uma delas, respectivamente. Apesar disso, em termos de abundância relativa, *E. muticum* e *D. quadriceps* também foram as espécies mais representativas, com médias de 0.65 (DP: 0.39; EP: 0.07) e 0.37 (DP: 0.23; EP: 0.04) indivíduos por parcela, respectivamente. Das 58 espécies coletadas, 20 ocorreram em apenas um tratamento, ver Tabela 2.

É possível notar na Tabela 2 que a diferença no número de espécies entre os tratamentos foi baixa. Espécies de gêneros mais raros em nossa amostragem, como por exemplo *Myrmicocrypta* sp1 e *Rogeria blanda*, foram observadas na exclusão e no controle, respectivamente, enquanto que *Wasmania rochai* ocorreu em ambos os tratamentos. Espécies de gêneros mais comuns, em geral, ocorreram em ambos os tratamentos e o reflexo desse padrão é o número semelhante de espécies que ocorreram no controle (49 espécies) e na exclusão (47 espécies), ver Tabela 2.

Tabela 2. Ocorrência das espécies coletadas em diferentes tratamentos (controle e tratamento), no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.

Subfamília	Espécies	Controle	Exclusão
Dolichoderinae	<i>Dorymyrmex goeldii</i> Forel, 1904	X	X
	<i>Dorymyrmex</i> sp1	X	
	<i>Dorymyrmex</i> sp2	X	X
	<i>Dorymyrmex thoracicus</i> Gallardo, 1916	X	X

	<i>Linepithema neotropicum</i> Wild, 2007	X	X
	<i>Tapinoma</i> sp1	X	X
	<i>Tapinoma</i> sp2	X	X
Ectatomminae	<i>Ectatomma muticum</i> Mayr, 1870	X	X
	<i>Gnamptogenys striatula</i> Mayr, 1884	X	X
	<i>Gnamptogenys sulcata</i> Smith, 1858		X
Formicinae	<i>Camponotus atriceps</i> Smith, 1858	X	X
	<i>Camponotus crassus</i> Mayr, 1862	X	X
	<i>Camponotus vittatus</i> Forel, 1904	X	X
Myrmicinae	<i>Acromyrmex landolti</i> Forel, 1885		X
	<i>Acromyrmex rugosus</i> Smith, 1858	X	X
	<i>Acromyrmex</i> sp1	X	X
	<i>Atta opaciceps</i> Borgmeier, 1939	X	
	<i>Atta sexdens</i> Linnaeus, 1758	X	X
	<i>Cephalotes persimilis</i> De Andrade, 1999	X	
	<i>Cephalotes pusillus</i> Klug, 1824	X	X
	<i>Crematogaster obscurata</i> Emery, 1895	X	X
	<i>Crematogaster</i> sp1	X	X
	<i>Crematogaster</i> sp2		X
	<i>Crematogaster</i> sp3	X	X
	<i>Cyphomyrmex</i> sp1	X	
	<i>Cyphomyrmex</i> sp2	X	
	<i>Cyphomyrmex transversus</i> Emery, 1894		X
	<i>Myrmicocrypta</i> sp1		X
	<i>Pheidole radoszkowskii</i> Mayr 1884	X	X
	<i>Pheidole</i> sp1	X	
	<i>Pheidole</i> sp10		X
	<i>Pheidole</i> sp11	X	X
	<i>Pheidole</i> sp12	X	
	<i>Pheidole</i> sp13		X

	<i>Pheidole</i> sp14		X
	<i>Pheidole</i> sp2	X	X
	<i>Pheidole</i> sp3	X	X
	<i>Pheidole</i> sp4	X	
	<i>Pheidole</i> sp5	X	X
	<i>Pheidole</i> sp6	X	X
	<i>Pheidole</i> sp7	X	X
	<i>Pheidole</i> sp8	X	X
	<i>Pheidole</i> sp9		X
	<i>Rogeria blanda</i> Smith, 1858	X	
	<i>Solenopsis</i> sp1	X	X
	<i>Solenopsis</i> sp2	X	X
	<i>Solenopsis</i> sp3	X	X
	<i>Solenopsis</i> sp4	X	X
	<i>Solenopsis</i> sp5	X	X
	<i>Solenopsis</i> sp6	X	X
	<i>Solenopsis</i> sp7	X	
	<i>Solenopsis</i> sp8	X	X
	<i>Solenopsis</i> sp9	X	X
	<i>Solenopsis tridens</i> Forel, 1911	X	X
	<i>Trachymyrmex</i> sp1	X	X
	<i>Trachymyrmex</i> sp2	X	
	<i>Wasmania rochai</i> Forel, 1912	X	X
Ponerinae	<i>Dinoponera quadriceps</i> Kempf, 1971	X	X
Total de espécies	58	49	47

Fonte: O autor, 2024.

Dentre os grupos funcionais, os mais representativos em termos de abundância relativa foram Myrmicinae generalistas (Média: 0.92; DP: 0.13; EP: 0.02), Oportunistas (Média: 0.72; DP: 0.33; EP: 0.06), Dolichoderinae dominantes (Média: 0.52; DP: 0.38; EP: 0.07) e Predadores especialistas (Média: 0.37; DP: 0.23; EP: 0.04), ver Figura 3.

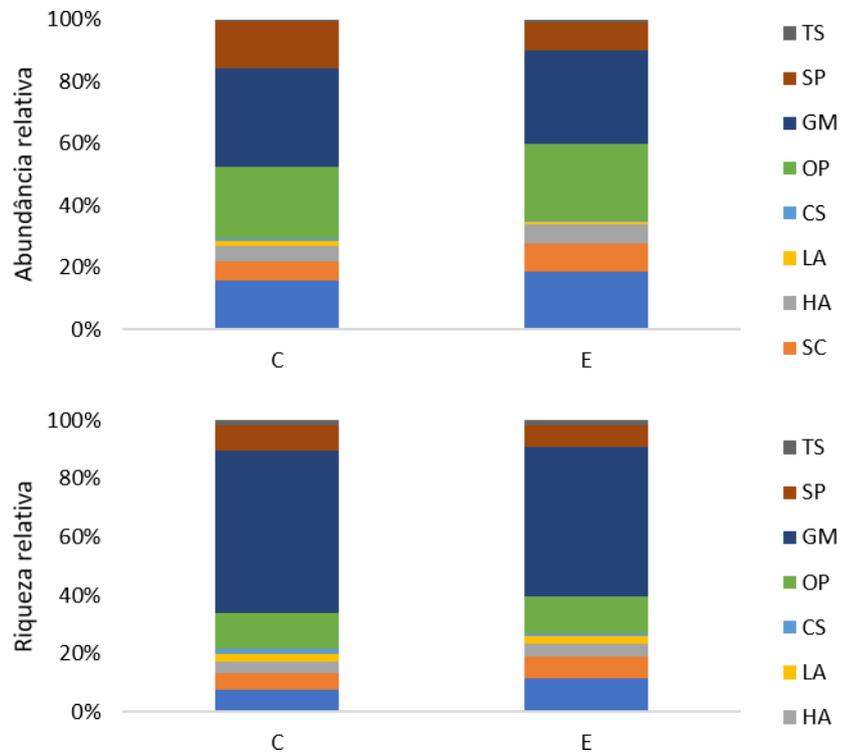
Embora o número de indivíduos e a ocorrência nas amostras tenha sido expressiva para Oportunistas e Dolichoderinae dominantes, ambos foram representados por poucas espécies (Tabela 3). As Oportunistas, especialmente, ocorreram como grupo funcional em todas as parcelas amostradas, mas a sua abundância esteve ligada a praticamente uma única espécie, *E. muticum*. O grupo funcional Predadores especialistas foi representado apenas por *D. quadriceps*, que embora não tenha como característica colônias numerosas, só não ocorreu em 2 parcelas.

Tabela 3. Grupos funcionais e espécies amostradas no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.

Grupo funcional	Espécies
Dolichoderinae dominantes (DD)	<i>Dorymyrmex goeldii</i> , <i>Dorymyrmex</i> sp1, <i>Dorymyrmex</i> sp2, <i>Dorymyrmex thoracicus</i> , <i>Linepthea neotropicum</i>
Camponotini subordinadas (SC)	<i>Camponotus atriceps</i> , <i>Camponotus crassus</i> , <i>Camponotus vittatus</i>
Myrmicinae generalistas (GM)	<i>Crematogaster obscurata</i> , <i>Crematogaster</i> sp1, <i>Crematogaster</i> sp2, <i>Crematogaster</i> sp3, <i>Pheidole radoszkowskii</i> , <i>Pheidole</i> sp1, <i>Pheidole</i> sp2, <i>Pheidole</i> sp3, <i>Pheidole</i> sp4, <i>Pheidole</i> sp5, <i>Pheidole</i> sp6, <i>Pheidole</i> sp7, <i>Pheidole</i> sp8, <i>Pheidole</i> sp9, <i>Pheidole</i> sp10, <i>Pheidole</i> sp11, <i>Pheidole</i> sp12, <i>Pheidole</i> sp13, <i>Pheidole</i> sp14, <i>Solenopsis</i> sp1, <i>Solenopsis</i> sp2, <i>Solenopsis</i> sp3, <i>Solenopsis</i> sp4, <i>Solenopsis</i> sp5, <i>Solenopsis</i> sp6, <i>Solenopsis</i> sp7, <i>Solenopsis</i> sp8, <i>Solenopsis</i> sp9, <i>Solenopsis tridens</i>
Oportunistas (OP)	<i>Ectatomma muticum</i> , <i>Gnamptogenys striatula</i> , <i>Camponotus vittatus</i> , <i>Tapinoma</i> sp1, <i>Tapinoma</i> sp2
Espécies crípticas (CS)	<i>Wasmania rochai</i> , <i>Rogeria blanda</i>
Predadores especialistas (SP)	<i>Dinoponera quadriceps</i>
Attini derivadas (HA)	<i>Acromyrmex landolti</i> , <i>Acromyrmex rugosus</i> , <i>Acromyrmex</i> sp1, <i>Atta opaciceps</i> , <i>Atta sexdens</i>
Attini basais (LA)	<i>Cyphomyrmex</i> sp1, <i>Cyphomyrmex</i> sp2, <i>Cyphomyrmex transversus</i> , <i>Myrmicocrypta</i> sp1, <i>Trachymyrmex</i> sp1, <i>Trachymyrmex</i> sp2
Arborícolas (TS)	<i>Cephalotes persimilis</i> , <i>Cephalotes pusillus</i>

Fonte: O autor, 2024.

Figura 3. Abundância e riqueza relativa em % dos diferentes grupos funcionais amostrados em parcelas com e sem a presença de caprinos no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil. Tratamentos: C (controle); E (exclusão). Grupos funcionais: TS (Formigas Arborícolas); SP (Predadores especialistas); GM (Myrmicinae generalistas); OP (Oportunistas); CS (Espécies crípticas); LA (Attini basais); HA (Attini derivadas); SC (Camponotini subordinadas) e DD (Dolichoderinae dominantes).



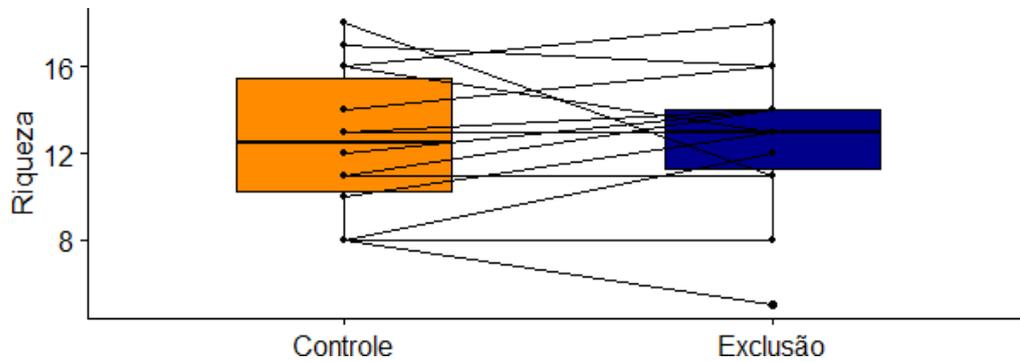
Fonte: O autor, 2024.

3.2 Resultados estatísticos

3.2.1 Comunidade de formigas

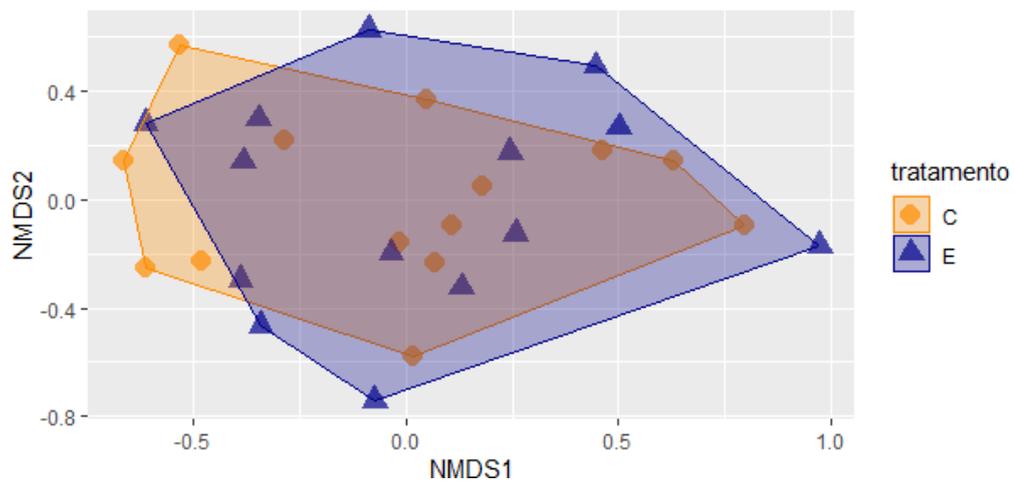
As diferenças observadas na riqueza de espécies (Figura 4) não foram estatisticamente significativas entre os tratamentos. A composição das espécies de formigas também não diferiu entre os tratamentos (Figura 5) e esse padrão foi confirmado com os resultados da PERMANOVA ($Df = 1$; $F = 0.6$; $p\text{-value} = 0.7$).

Figura 4. Boxplots mostrando os efeitos dos caprinos na riqueza de espécies de formigas amostradas em 14 parcelas pareadas de livre acesso e exclusão em uma floresta seca de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.



Fonte: O autor, 2024.

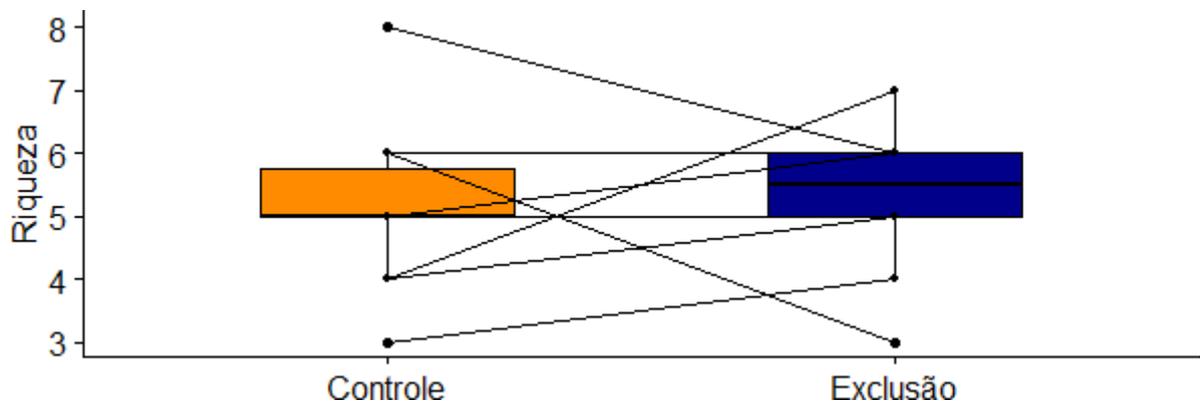
Figura 5. Escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) indicando os efeitos de caprinos na composição de espécies de formigas amostradas em 14 parcelas pareadas de livre acesso e exclusão em uma floresta seca de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.



Fonte: O autor, 2024.

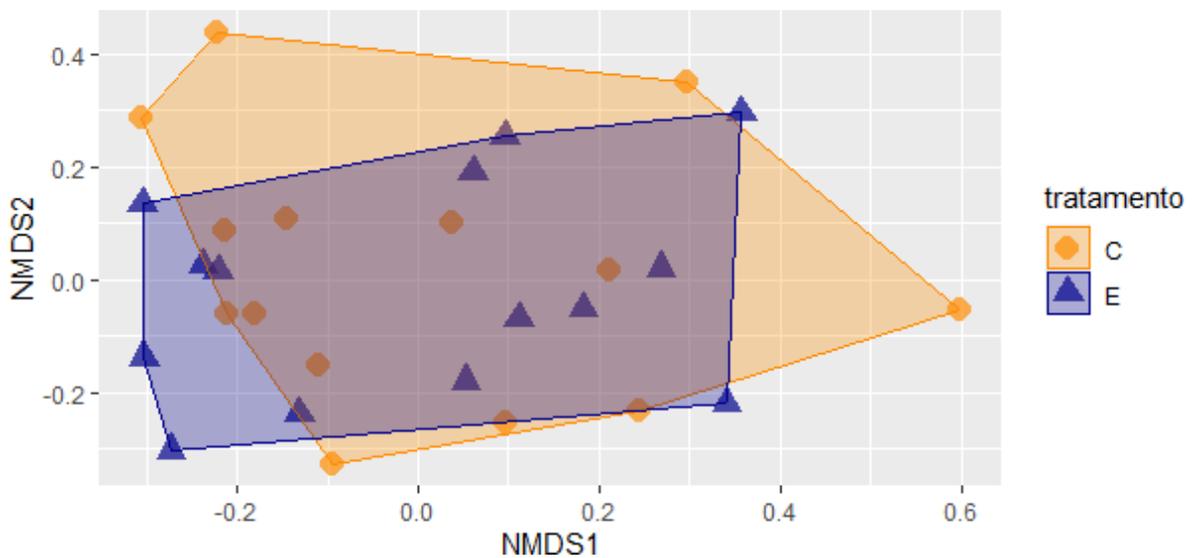
Para a riqueza de grupos funcionais também não foram observadas diferenças entre os tratamentos (Figura 6) e, quanto à composição desses grupos, o resultado observado foi similar à composição das espécies ($Df = 1$; $F = 0.9$; $p\text{-value} = 0.4$) (Figura 7).

Figura 6. Boxplots mostrando os efeitos dos caprinos na riqueza de grupos funcionais de formigas amostradas em 14 parcelas pareadas de livre acesso e exclusão em uma floresta seca de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.



Fonte: O autor, 2024.

Figura 7. Escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) indicando os efeitos de caprinos na composição de grupos funcionais de formigas amostradas em 14 parcelas pareadas de livre acesso e exclusão em uma floresta seca de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.



Fonte: O autor, 2024.

3.2.2 Atributos funcionais morfológicos

Em *P. radoszkowskii*, embora os atributos possam ter variado, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas nas médias dos atributos funcionais analisados entre os tratamentos controle e exclusão (Tabela 4). Os

resultados relativos ao valor médio dos atributos funcionais morfológicos indicam uma variação significativa no comprimento relativo dos olhos ($p = 0.03$) e no comprimento relativo do clipeo ($p = 0.03$) para *D. thoracicus* (Tabela 4).

Tabela 4. Variação na média dos atributos funcionais morfológicos em milímetros (mm) indicando o efeito dos caprinos sobre duas espécies de formigas amostradas em 14 parcelas pareadas de livre acesso e exclusão em uma floresta seca de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.

Espécies	Atributos			
		DF	Chisq	P
<i>Dorymyrmex thoracicus</i>				
	Comprimento de Webber	1	0.2342	0.6284
	Comprimento relativo da perna	1	1.6015	0.2057
	Comprimento relativo do olho	1	4.444	0.03503*
	Comp. relativo da distância inter-ocular	1	1.7548	0.1853
	Comprimento relativo do clipeo	1	4.5172	0.03355*
	Comprimento relativo mandíbula	1	1.448	0.2289
	Comprimento relativo escapo	1	0.9545	0.3286
<i>Pheidole radoszkowskii</i>				
	Comprimento de Webber	1	1.2486	0.2638
	Comprimento relativo da perna	1	0.024	0.8768
	Comprimento relativo do olho	1	0.025	0.8743
	Comp. relativo da distância inter-ocular	1	0.3531	0.5523
	Comprimento relativo do clipeo	1	0.1992	0.6554
	Comprimento relativo mandíbula	1	0.9717	0.3243
	Comprimento relativo escapo	1	0.3526	0.5526

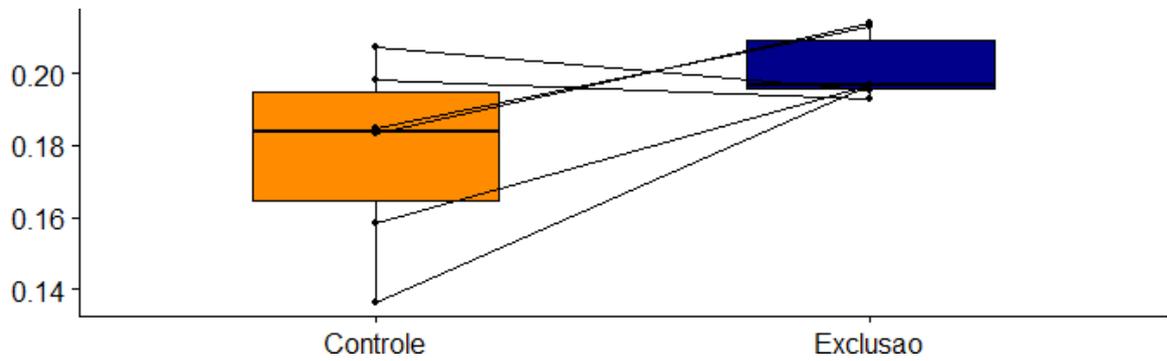
Fonte: O autor, 2024.

Especificamente, as médias do tamanho relativo dos olhos e do clipeo em *D. thoracicus* foram maiores nas áreas de exclusão (Média: 0.079; DP: 0.003; EP: 0.001 e; Média: 0.14; DP: 0.014; EP: 0.005, respectivamente) do que nas áreas controle (Média: 0.071; DP: 0.008; EP: 0.003 e; Média: 0.13; DP: 0.018; EP: 0.007, respectivamente) (Figura 8).

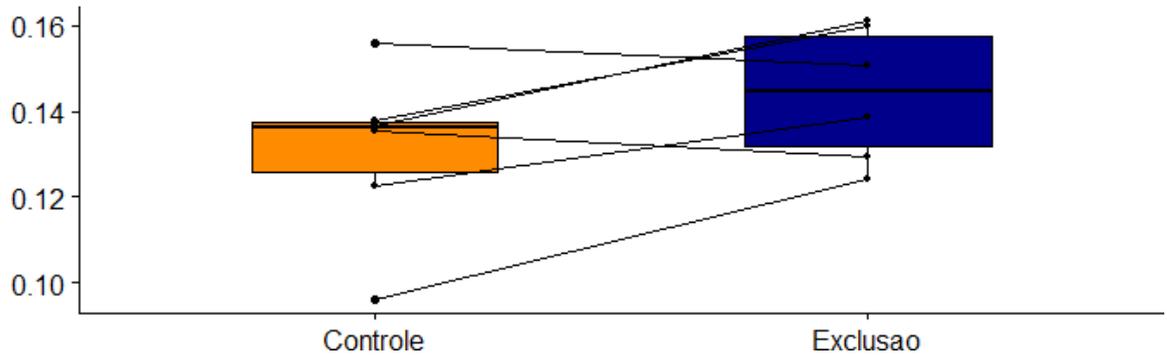
Figura 8. Boxplots mostrando os efeitos dos caprinos na variação do tamanho (mm) de dois atributos funcionais morfológicos em indivíduos de *D. thoracicus* amostrados em parcelas pareadas de livre acesso e exclusão em uma floresta seca de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, PE, Brasil.

(A) tamanho relativo dos olhos; (B) tamanho relativo do clipeo.

A)



B)



Fonte: O autor, 2024.

4 DISCUSSÃO

Neste estudo, avaliamos o efeito da exclusão de caprinos sobre a comunidade de formigas epigeicas, bem como sobre os atributos funcionais morfológicos de duas espécies filogeneticamente distantes e amplamente distribuídas na área de estudo. De uma forma geral, nossos achados indicam que a comunidade de formigas é resiliente à presença dos caprinos na área de estudo. Entretanto, a exclusão desses animais é capaz de promover alterações intraespecíficas em atributos morfológicos.

Os resultados relacionados à comunidade de formigas amostrada corroboram com estudos semelhantes realizados na região semiárida de Pernambuco, conforme apontado por Ribeiro-Neto *et al.*, 2016; Oliveira *et al.*, 2017; Leal *et al.*, 2017 e Arnan *et al.*, 2018. Por outro lado, a falta de efeito dos caprinos sobre a comunidade de formigas contrasta com estudos anteriores que mostram que perturbações crônicas diversas, comuns em áreas de Caatinga, incluindo a pressão de caprinos, reduz a diversidade taxonômica, filogenética e funcional de formigas com uma substituição previsível de grupos especializados por grupos generalistas (Oliveira *et al.* 2016; Ribeiro-Neto *et al.* 2016; 2023; Leal *et al.* 2017; Arnan *et al.* 2018).

Esperávamos que a exclusão de caprinos recuperasse a comunidade de formigas porque esses animais podem afetar as formigas negativamente devido (1) à compactação no solo devido ao pisoteio, dificultando a construção dos ninhos das formigas e alterando a estrutura do principal sítio de forrageamento desses animais, e (2) pelo consumo e redução da vegetação, um importante recurso alimentar e que também serve para a nidificação de muitas espécies de formigas. A resiliência observada para a comunidade de formigas amostrada em relação aos caprinos, pode estar ligada a uma alta plasticidade em respostas morfológicas, fisiológicas e comportamentais, que já vêm sendo descrita para as formigas quando seus ambientes são modificados (Silva *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2021).

No entanto, o impacto do pastoreio pode ser diferente dependendo da estrutura do solo e das características da vegetação (Eldridge *et al.*, 2017) e as comunidades de formigas, em muitos aspectos, estruturam-se de forma semelhante à vegetação (Andersen, 1995), de modo que o tipo de solo também pode ser relevante para o impacto dos caprinos sobre as formigas a depender do cenário. Oliveira *et al.*, (2017), observaram que as respostas das comunidades de formigas às perturbações crônicas diversas, que incluem a pressão por caprinos, variam a depender do tipo de solo, se

arenosos ou argilosos. Nossa amostragem foi realizada em solos arenosos, onde, além de serem menos utilizados pelas atividades humanas, na Caatinga, abrigam comunidades vegetais menos diversas e de menor cobertura vegetal do que os solos argilosos (Silva *et al.*, 2003). Nesses ambientes mais abertos, predominam filtros ambientais e consequentemente comunidades resilientes a condições ambientais mais severas e a eventuais alterações no ambiente, como aquelas provocadas pelos caprinos.

Com relação aos atributos funcionais morfológicos das duas espécies focais, observamos alterações no tamanho relativo dos olhos e do clipeo de *D. thoracicus*. Estudos recentes sobre os serviços prestados por formigas às plantas da Caatinga descrevem *D. Thoracicus* com uma das principais espécies associadas à proteção anti-herbivoria em plantas nativas que possuem nectários extraflorais (NEF) (Silva, 2020). A estrutura especializada no consumo de alimentos líquidos como aqueles encontrados em nectários florais, extraflorais ou *honeydew* é o clipeo, que abriga internamente músculos responsáveis pela abertura bucal e pela capacidade de ingestão (Snodgrass, 1935). O tamanho relativo dos olhos, por sua vez, pode fornecer informações importantes sobre a dieta e o hábito das formigas, por exemplo, ao correlacionar-se com o período de forrageamento das espécies (Weiser & Kaspari, 2006, Bihn *et al.*, 2010).

Um estudo recente avaliou o tamanho do relativo do clipeo na quantidade e eficiência do consumo de alimentos líquidos, sugerindo que formigas com um clipeo menor são mais eficientes na absorção dos líquidos, provavelmente devido a uma musculatura mais concentrada nessa estrutura (Borges, 2019). Um outro estudo realizado no Parque Nacional do Catimbau, relatou que os caprinos aumentam o grau de especialização em interações planta-formiga (Câmara *et al.*, 2018), corroborado outros estudos que demonstraram que plantas portadoras de NEF sujeitas a altos níveis de herbivoria produzem mais néctar, recrutando mais formigas para atuarem em sua defesa (Huang *et al.*, 2015; Hernandez-Cumplido *et al.*, 2016). Assim, os achados encontrados neste estudo indicam uma possível alteração na dieta e/ou comportamento de *D. Thoracicus* e, ainda, possíveis diferenças em relações mutualísticas da espécie com plantas nos diferentes tratamentos.

Clípeos maiores, como observado em *D. Thoracicus* nas áreas de exclusão de caprinos, sugerem uma menor eficiência no consumo de alimentos líquidos e, portanto, uma relação menos especializada em interações com nectários extraflorais,

por exemplo. Nesse sentido, a interação dessas formigas com as plantas portadoras de NEF presentes nas parcelas de exclusão pode ter gradualmente perdido um pouco de sua especialização com a retirada dos caprinos, em razão de uma maior disponibilidade de outros recursos. Nas colônias onde os bodes permaneceram (tratamento controle), os indivíduos apresentaram um tamanho relativo do clípeo menor, indicando que estas seriam mais eficientes no consumo de alimentos líquidos. Uma maior eficiência pode estar relacionada a uma interação mais especializada devido às repostas das plantas portadoras de NEF à presença dos bodes, como demonstrado por Câmara *et al.*, (2018). Além disso, o efeito dos bodes no ambiente pode estar, de fato, levando a mudanças na estrutura do solo e da vegetação, criando micro-habitats mais secos e com menos recursos disponíveis, levando os indivíduos de *D. Thoracicus* a serem mais eficientes no consumo de líquidos, o que também poderia explicar o clípeo reduzido dos indivíduos do tratamento controle em comparação com os indivíduos da exclusão. Neste caso, a hipótese inicial de que nas parcelas de exclusão teríamos populações com atributos funcionais mais especializados não foi corroborada, ocorrendo, na verdade, um efeito contrário. Somado a isto, o fato de os olhos estarem ligados ao período de forrageamento (Bihn *et al.*, 2010) e as médias relativas dos olhos serem maiores nas áreas de exclusão, indicam uma possível mudança nos hábitos de *D. Thoracicus* com a retirada dos caprinos.

5 CONCLUSÃO

Os nossos achados acerca da comunidade de formigas na Caatinga, sugerem que esta parece ser resiliente a distúrbios provocados pela criação extensiva de caprinos. Essa alta resiliência é consistente com outros estudos que mostram que as formigas podem não ser impactadas por perturbações antrópicas crônicas, como a criação de caprinos. Apesar das comunidades de formigas avaliadas em nosso estudo serem resilientes ao efeito dos caprinos, isto pode estar associado a uma característica intrínseca de comunidades estruturadas sob filtros ambientais, que são representativos em ambientes de solo arenoso e vegetação aberta. De qualquer forma, os resultados indicam que funções ecossistêmicas mediadas por formigas podem ser mantidas mesmo sob efeito de perturbações ambientais ligadas aos caprinos, em solos arenosos.

Por outro lado, as variações encontradas nos atributos de *D. thoracicus* indicam que os bodes afetam o ambiente e promovem repostas importantes a nível populacional, podendo afetar o comportamento e a eficiência no consumo de alimentos líquidos que, por sua vez, podem estar ligados a interações mutualísticas entre plantas e formigas. Então, embora a comunidade se mostre resiliente, a exclusão dos caprinos levou a variações intraespecíficas de atributos importantes, ligados ao comportamento e ao uso de recursos, em populações que vivem em áreas adjacentes. Alterações intraespecíficas muitas vezes não são acessadas quando avaliamos padrões a nível de comunidades, e podem indicar possíveis perdas ou reduções na eficiência das funções providas por formigas aos ecossistemas. Trata-se de uma mudança mais silenciosa do que simplesmente a perda de uma espécie ou de um grupo funcional, mas que pode causar efeitos deletérios no funcionamento do ecossistema a longo prazo.

Nesse sentido, destacamos a importância de estudos que relacionem diferentes tipos de solo e de estrutura da vegetação com a comunidade de formigas e as redes de interação formigas-plantas na investigação dos potenciais efeitos da caprinocultura na Caatinga, tendo em vista que se trata de uma atividade amplamente utilizada em Florestas Secas ao redor do mundo.

REFERÊNCIAS

ACKERLY, David D.; CORNWELL, William K. A trait-based approach to community assembly: partitioning of species trait values into within-and among-community components. **Ecology letters**, v. 10, n. 2, p. 135-145, 2007.

AGOSTI, Donat; ALONSO, Leeanne E. **The ALL protocol. ANTS: standard methods for measuring and monitoring biodiversity**. Smithsonian Institution Press, Washington DC, p. 204-206, 2000.

ANDERSEN, Alan N. A classification of Australian ant communities, based on functional groups which parallel plant life-forms in relation to stress and disturbance. **Journal of biogeography**, p. 15-29, 1995.

ANDERSEN, Alan N. *et al.* Use of terrestrial invertebrates for biodiversity monitoring in Australian rangelands, with particular reference to ants. **Austral ecology**, v. 29, n. 1, p. 87-92, 2004.

ANDERSEN, Alan N.; HERTOOG, Tony; WOINARSKI, John CZ. Long-term fire exclusion and ant community structure in an Australian tropical savanna: congruence with vegetation succession. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 5, p. 823-832, 2006.

ANDERSEN, Alan N.; MAJER, Jonathan D. Ants show the way down under: invertebrates as bioindicators in land management. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 2, n. 6, p. 291-298, 2004.

ANDERSEN, Alan. Functional groups and patterns of organization in North American ant communities: a comparison with Australia. **Journal of biogeography**, v. 24, n. 4, p. 433-460, 1997.

ARAUJO, Helder FP *et al.* Human disturbance is the major driver of vegetation changes in the Caatinga dry forest region. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 18440, 2023.

ARNAN, Xavier *et al.* Forest management conditioning ground ant community structure and composition in temperate conifer forests in the Pyrenees Mountains. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 2, p. 51-59, 2009.

ARNAN, Xavier *et al.* Increased anthropogenic disturbance and aridity reduce phylogenetic and functional diversity of ant communities in Caatinga dry forest. **Science of the Total Environment**, v. 631, p. 429-438, 2018.

ARNAN, Xavier; CERDÁ, Xim; RETANA, Javier. Distinctive life traits and distribution along environmental gradients of dominant and subordinate Mediterranean ant species. **Oecologia**, v. 170, p. 489-500, 2012.

BACCARO, Fabricio B. *et al.* **Formigas**. 2016.

BEEVER, Erik A. *et al.* Behavioral flexibility as a mechanism for coping with climate change. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 15, n. 6, p. 299-308, 2017.

- BIANCHI, Felix JJA; BOOIJ, C. J. H.; TSCHARNTKE, Teja. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 273, n. 1595, p. 1715-1727, 2006.
- BIHN, Jochen H.; GEBAUER, Gerhard; BRANDL, Roland. Loss of functional diversity of ant assemblages in secondary tropical forests. **Ecology**, v. 91, n. 3, p. 782-792, 2010.
- BORGES, Leonardo Paz. **Clípeo é um bom preditor para eficiência de ingestão, mas não para quantidade de líquido ingerido por formigas (Hymenoptera: Formicidae)**. 2019. Dissertação (Mestrado em Zoologia). Universidade Federal do Amazonas/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.
- BROWN, William L. Revisionary studies in the ant tribe Dacetini. **The American Midland Naturalist**, v. 50, n. 1, p. 1-137, 1953.
- CÂMARA, Talita *et al.* Anthropogenic disturbance and rainfall variation threaten the stability of plant–ant interactions in the Brazilian Caatinga. **Ecography**, v. 42, n. 11, p. 1960-1972, 2019.
- CÂMARA, Talita *et al.* Effects of chronic anthropogenic disturbance and rainfall on the specialization of ant–plant mutualistic networks in the Caatinga, a Brazilian dry forest. **Journal of Animal Ecology**, v. 87, n. 4, p. 1022-1033, 2018.
- CARDINALE, Bradley J. *et al.* Biodiversity loss and its impact on humanity. **Nature**, v. 486, n. 7401, p. 59-67, 2012.
- CHIANG, John CH; KOUTAVAS, Athanasios. Tropical flip-flop connections. **Nature**, v. 432, n. 7018, p. 684-685, 2004.
- DAVIDSON, Diane W.; COOK, Steven C.; SNELLING, Roy R. Liquid-feeding performances of ants (Formicidae): ecological and evolutionary implications. **Oecologia**, v. 139, p. 255-266, 2004.
- DE ECOLOGIA, Sociedade Nordestina. **Projeto técnico para a criação do Parque Nacional do Catimbau/PE**. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco-SECTMA, Recife, 2002.
- DEL TORO, Israel; RIBBONS, Relena R.; PELINI, Shannon L. The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). **Myrmecological News**, v. 17, n. 0, p. 133-46, 2012.
- ELDRIDGE, David J. *et al.* Do grazing intensity and herbivore type affect soil health? Insights from a semi-arid productivity gradient. **Journal of Applied Ecology**, v. 54, n. 3, p. 976-985, 2017.
- ELIZALDE, Luciana *et al.* The ecosystem services provided by social insects: traits, management tools and knowledge gaps. **Biological Reviews**, v. 95, n. 5, p. 1418-1441, 2020.

ELMQVIST, Thomas *et al.* Response diversity, ecosystem change, and resilience. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 1, n. 9, p. 488-494, 2003.

ESPINOSA, Carlos I. *et al.* What factors affect diversity and species composition of endangered Tumbesian dry forests in Southern Ecuador? **Biotropica**, v. 43, n. 1, p. 15-22, 2011.

FAJARDO, L. *et al.* Restoration of a degraded tropical dry forest in Macanao, Venezuela. **Journal of Arid Environments**, v. 88, p. 236-243, 2013.

FILGUEIRAS, Bruno KC *et al.* Winner–loser species replacements in human-modified landscapes. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 36, n. 6, p. 545-555, 2021.

FOWLER, H. G. Ecologia nutricional de formigas. **Ecologia nutricional de insetos**, p. 131, 1991.

GAUDARD, Clara A.; ROBERTSON, Mark P.; BISHOP, Tom R. Low levels of intraspecific trait variation in a keystone invertebrate group. **Oecologia**, v. 190, p. 725-735, 2019.

GIBB, Heloise; PARR, Catherine L. Does structural complexity determine the morphology of assemblages? An experimental test on three continents. **PLoS One**, v. 8, n. 5, p. e64005, 2013.

GIBB, H. *et al.* Habitat disturbance selects against both small and large species across varying climates. **Ecography**, v. 41, n. 7, p. 1184-1193, 2018.

GIULIETTI, Ana Maria *et al.* **Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**, 2004.

GREENLEAF, Sarah S. *et al.* Bee foraging ranges and their relationship to body size. **Oecologia**, v. 153, p. 589-596, 2007.

HADFIELD, M. G.; STRATHMANN, M. F. Variability, flexibility and plasticity in life histories of marine invertebrates. **Oceanologica acta**, v. 19, n. 3-4, p. 323-334, 1996.

HARPER, John L. Module, branches, and the capture of resources. **Population biology and evolution of clonal organisms**, p. 1-33, 1985.

HERNANDEZ-CUMPLIDO, Johnattan *et al.* Induced floral and extrafloral nectar production affect ant-pollinator interactions and plant fitness. **Biotropica**, v. 48, n. 3, p. 342-348, 2016.

HIROTA, Marina *et al.* Global resilience of tropical forest and savanna to critical transitions. **Science**, v. 334, n. 6053, p. 232-235, 2011.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. **The Ants Springer-Verlag**. 1990.

HOOPER, David U. *et al.* Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. **Ecological monographs**, v. 75, n. 1, p. 3-35, 2005.

HUANG, Wei *et al.* Below-ground herbivory limits induction of extrafloral nectar by above-ground herbivores. **Annals of Botany**, v. 115, n. 5, p. 841-846, 2015.

HUGHES, Jennifer B.; DAILY, Gretchen C.; EHRLICH, Paul R. Population diversity: its extent and extinction. **Science**, v. 278, n. 5338, p. 689-692, 1997.

HUGHES, Lesley; WESTOBY, Mark. Fate of seeds adapted for dispersal by ants in Australian sclerophyll vegetation. **Ecology**, v. 73, n. 4, p. 1285-1299, 1992.

IBGE. 2020. Pesquisa de informações municipais: **Perfil dos municípios brasileiros**. IBGE, Brasília.

JAMELLI, Davi; BERNARD, Enrico; MELO, Felipe PL. Habitat use and feeding behavior of domestic free-ranging goats in a seasonal tropical dry forest. **Journal of Arid Environments**, v. 190, p. 104532, 2021.

JENTSCH, Anke *et al.* Beyond gradual warming: extreme weather events alter flower phenology of European grassland and heath species. **Global Change Biology**, v. 15, n. 4, p. 837-849, 2009.

KASPARI, M.; MAJER, J.D. 2000. Using ants to monitor environmental change. **Standard methods for measuring and monitoring biodiversity**. Smithsonian Institution, Washington DC, v. 9, p. 204-6, 2000.

KASPARI, M.; WEISER, M. D. The size–grain hypothesis and interspecific scaling in ants. **Functional ecology**, v. 13, n. 4, p. 530-538, 1999.

KROL, Martinus S. *et al.* The semi-arid integrated model (SIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability of ecosystems and society in NE-Brazil. **Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere**, v. 26, n. 7-8, p. 529-533, 2001.

LACH, Lori; PARR, Catherine L.; ABBOTT, Kristi L. **Ant ecology at large**. 2010.

LAURANCE, William F.; SAYER, Jeffrey; CASSMAN, Kenneth G. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. **Trends in ecology & evolution**, v. 29, n. 2, p. 107-116, 2014.

LEAL, Inara R. Diversidade de formigas em diferentes unidades de paisagem da Caatinga. **Ecologia e conservação da caatinga**, v. 1, p. 435-461, 2003. Leal, I. R. (2003).

LEAL, Inara R. *et al.* Ants of the Caatinga: diversity, biogeography, and functional responses to anthropogenic disturbance and climate change. **Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America**, p. 65-95, 2017.

LEAL, Inara R. *et al.* Changing the course of biodiversity conservation in the Caatinga of northeastern Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 701-706, 2005.

LEAL, Inara R. *et al.* Effects of habitat fragmentation on ant richness and functional composition in Brazilian Atlantic forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, p. 1687-1701, 2012.

LEAL, Inara R. *et al.* Interações planta-animal na Caatinga: visão geral e perspectivas futuras. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 35-40, 2018.

LEAL, Inara R.; VICENTE, Adriano; TABARELLI, Marcelo. Herbivoria por caprinos na Caatinga da região de Xingó: uma análise preliminar. **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003.

LEAL, Inara R.; WIRTH, Rainer; TABARELLI, Marcelo. Seed dispersal by ants in the semi-arid Caatinga of north-east Brazil. **Annals of botany**, v. 99, n. 5, p. 885-894, 2007.

LEAL, Laura C.; ANDERSEN, Alan N.; LEAL, Inara R. Anthropogenic disturbance reduces seed-dispersal services for myrmecochorous plants in the Brazilian Caatinga. **Oecologia**, v. 174, p. 173-181, 2014.

LEAL, Laura C.; ANDERSEN, Alan N.; LEAL, Inara R. Disturbance winners or losers? Plants bearing extrafloral nectaries in Brazilian Caatinga. **Biotropica**, v. 47, n. 4, p. 468-474, 2015.

LEZAMA, Felipe *et al.* Variation of grazing-induced vegetation changes across a large-scale productivity gradient. *Journal of Vegetation Science*, v. 25, n. 1, p. 8-21, 2014.

LINS, Lays *et al.* Exotic goats do not affect the seed bank but reduce seedling survival in a human-modified landscape of Caatinga dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 522, p. 120491, 2022.

LORENT, Hugues *et al.* Livestock subsidies and rangeland degradation in central Crete. **Ecology and Society**, v. 14, n. 2, 2009.

MAGRIN, Graciela *et al.* **Central and south america**. 2014.

MAJER, J. D. *et al.* Recolonization by ants in bauxite mines rehabilitated by a number of different methods. **Journal of applied ecology**, p. 355-375, 1984.

MAJER, Jonathan; KASPARI, M. Using ants to monitor environmental change.

MAY, Robert M.; STUMPF, Michael PH. Species-area relations in tropical forests. **Science**, v. 290, n. 5499, p. 2084-2086, 2000.

MUKUL, Sharif Ahmed *et al.* Role of non-timber forest products in sustaining forest-based livelihoods and rural households' resilience capacity in and around protected

area: a Bangladesh study. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 59, n. 4, p. 628-642, 2016.

MENEZES, Tatiane *et al.* Introduced goats reduce diversity and biomass of herbs in Caatinga dry forest. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 1, p. 79-90, 2021.

MORI, Akira S.; FURUKAWA, Takuya; SASAKI, Takehiro. Response diversity determines the resilience of ecosystems to environmental change. **Biological reviews**, v. 88, n. 2, p. 349-364, 2013.

MURPHY, Peter G.; LUGO, Ariel E. Ecology of tropical dry forest. **Annual review of ecology and systematics**, v. 17, n. 1, p. 67-88, 1986.

MÜLLER, Norbert *et al.* Patterns and trends in urban biodiversity and landscape design. **Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities: a global assessment**, p. 123-174, 2013.

NIMER, Edmon. Ensaio de um novo método de classificação climática: contribuição à climatologia intertropical e subtropical, especialmente do Brasil. **Boletim de Geografia**. Rio de Janeiro, v. 31, n. 277, p. 141-153, 1972.

NOUTCHEU, Ronald *et al.* Chronic human disturbance and environmental forces drive the regeneration mechanisms of a Caatinga dry tropical forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, 2024.

OLIVEIRA, Fernanda Maria Pereira de. **Perturbações antrópicas e mudanças climáticas na Caatinga: efeitos sobre os serviços providos por formigas às plantas**. 2018. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal). Universidade Federal de Pernambuco.

OLIVEIRA, Fernanda MP *et al.* Chronic anthropogenic disturbance as a secondary driver of ant community structure: interactions with soil type in Brazilian Caatinga. **Environmental Conservation**, v. 44, n. 2, p. 115-123, 2017.

OLIVEIRA, Fernanda MP *et al.* Effects of increasing aridity and chronic anthropogenic disturbance on seed dispersal by ants in Brazilian Caatinga. **Journal of Animal Ecology**, v. 88, n. 6, p. 870-880, 2019.

OLIVEIRA, Fernanda MP *et al.* Morphology of four common and phylogenetically distant ant species varies along disturbance and aridity gradients in the Caatinga dry forest. **Biotropica**, v. 54, n. 1, p. 78-90, 2022.

OLIVEIRA, Fernanda MP *et al.* Plant protection services mediated by extrafloral nectaries decline with aridity but are not influenced by chronic anthropogenic disturbance in Brazilian Caatinga. **Journal of Ecology**, v. 109, n. 1, p. 260-272, 2021.

OLIVEIRA, Guilherme *et al.* Conserving the Brazilian semiarid (Caatinga) biome under climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, p. 2913-2926, 2012.

PARR, Catherine L. *et al.* GlobalAnts: a new database on the geography of ant traits (Hymenoptera: Formicidae). **Insect Conservation and Diversity**, v. 10, n. 1, p. 5-20, 2017.

PENNINGTON, R. Toby; LAVIN, Matt; OLIVEIRA-FILHO, Ary. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 40, p. 437-457, 2009.

PENNINGTON, R. Toby; PRADO, Darién E.; PENDRY, Colin A. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. **Journal of Biogeography**, v. 27, n. 2, p. 261-273, 2000.

PETERSON, Garry; ALLEN, Craig R.; HOLLING, Crawford Stanley. Ecological resilience, biodiversity, and scale. **Ecosystems**, v. 1, p. 6-18, 1998.

PETCHEY, Owen L.; GASTON, Kevin J. Functional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology letters**, v. 9, n. 6, p. 741-758, 2006.

PIGOT, Alex L.; TRISOS, Christopher H.; TOBIAS, Joseph A. Functional traits reveal the expansion and packing of ecological niche space underlying an elevational diversity gradient in passerine birds. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1822, p. 20152013, 2016.

PODGAISKI, Luciana Regina; DE SOUZA MENDONÇA JR, Milton; DE PATTA PILLAR, Valério. O uso de atributos funcionais de invertebrados terrestres na ecologia: o que, como e por quê? **Oecologia Australis**, v. 15, n. 4, p. 835-853, 2011.

PRADO, Darién E. *et al.* As caatingas da América do Sul. **Ecologia e conservação da Caatinga**, v. 2, p. 3-74, 2003.

RIBEIRO, Elâine MS *et al.* Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, n. 3, p. 611-620, 2015.

RIBEIRO-NETO, José Domingos *et al.* Aridity and chronic anthropogenic disturbances cause a taxonomic, functional, and phylogenetic homogenization of ant communities in a Caatinga dry forest. **Biological Conservation**, v. 284, p. 110151, 2023.

RIBEIRO-NETO, José Domingos *et al.* Chronic anthropogenic disturbance causes homogenization of plant and ant communities in the Brazilian Caatinga. **Biodiversity and conservation**, v. 25, p. 943-956, 2016.

RITO, Kátia F. *et al.* Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 3, p. 828-838, 2017.

SAMPAIO, E. S. B. Overview of the Brazilian caatinga. **Seasonally dry tropical forests**, p. 35-63, 1995.

SANTOS, Jean Carlos *et al.* Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 276-286, 2011.

SANTOS NETO, Pedro Elias. **Efeito das formigas cortadeiras *Atta* e *Acromyrmex* nos atributos do solo e na regeneração da Caatinga**. 2021. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal). Universidade Federal de Pernambuco.

SCHÄR, Christoph *et al.* The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. **Nature**, v. 427, n. 6972, p. 332-336, 2004.

SCHULZ, Katharina *et al.* Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 367, p. 62-70, 2016.

SFAIR, Julia C. *et al.* Chronic human disturbance affects plant trait distribution in a seasonally dry tropical forest. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 2, p. 025005, 2018.

SILVA, I. L. H. *et al.* Spatiotemporal responses of ant communities across a disturbance gradient: the role of behavioral traits. **Insectes Sociaux**, v. 66, p. 623-635, 2019.

SILVA, Jessica Luiza S. *et al.* Divergent responses of plant reproductive strategies to chronic anthropogenic disturbance and aridity in the Caatinga dry forest. **Science of the total environment**, v. 704, p. 135240, 2020.

SILVA, Jônatas Levi Gomes da. **Serviços de proteção anti-herbivoria prestados por formigas em um gradiente de sucessão secundária em áreas de Caatinga**. 2020. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Universidade Federal de Pernambuco.

SILVA, José Maria Cardoso da *et al.* **The Caatinga: understanding the challenges**. Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America, p. 3-19, 2017.

SILVA, José Maria Cardoso da; BARBOSA, Luis Cláudio Fernandes. **Impact of human activities on the Caatinga**. Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America, p. 359-368, 2017.

SILVA, José Maria Cardoso; LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo (Ed.). **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**. Springer, 2018.

SILVA, José Maria Cardoso da *et al.* **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para conservação**. Ministério do Meio Ambiente, 2004.

SILVA, Rogério R.; BRANDÃO, Carlos Roberto F. Morphological patterns and community organization in leaf-litter ant assemblages. **Ecological Monographs**, v. 80, n. 1, p. 107-124, 2010.

SINGH, Surendra P. Chronic disturbance, a principal cause of environmental degradation in developing countries. **Environmental conservation**, v. 25, n. 1, p. 1-2, 1998.

SCHOFIELD, Sophie F.; BISHOP, Tom R.; PARR, Catherine L. Morphological characteristics of ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) differ among contrasting biomes. **Myrmecological News**, v. 23, p. 129-137, 2016.

SNODGRASS, Robert Evans. The abdominal mechanisms of a grasshopper. **Smithsonian Miscellaneous Collections**, 1935.

SOUTHWOOD, T. R. E. Tactics, strategies and templates. **Oikos**, p. 3-18, 1988.

SUAZO-ORTUÑO, IRERI; ALVARADO-DÍAZ, JAVIER; MARTÍNEZ-RAMOS, MIGUEL. Effects of conversion of dry tropical forest to agricultural mosaic on herpetofaunal assemblages. **Conservation Biology**, v. 22, n. 2, p. 362-374, 2008.

SU, Rina *et al.* Effects of grazing on spatiotemporal variations in community structure and ecosystem function on the grasslands of Inner Mongolia, China. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 40, 2017.

SUNDERLAND, T. *et al.* Global dry forests: a prologue. **International Forestry Review**, v. 17, n. 2, p. 1-9, 2015.

TABARELLI, M. *et al.* Tropical Dry Forests. **Encyclopedia of Biodiversity**. v. 4, pp.1-19, 2024.

TREJO, Irma; DIRZO, Rodolfo. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. **Biological conservation**, v. 94, n. 2, p. 133-142, 2000.

UNDERWOOD, Emma C.; FISHER, Brian L. The role of ants in conservation monitoring: if, when, and how. **Biological conservation**, v. 132, n. 2, p. 166-182, 2006.

VIOLLE, Cyrille *et al.* Let the concept of trait be functional!. **Oikos**, v. 116, n. 5, p. 882-892, 2007.

WARDLE, David A. *et al.* Long-term aboveground and belowground consequences of red wood ant exclusion in boreal forest. **Ecology**, v. 92, n. 3, p. 645-656, 2011.

WEISER, Michael D.; KASPARI, Michael. Ecological morphospace of New World ants. **Ecological Entomology**, v. 31, n. 2, p. 131-142, 2006.

ZELIKOVA, Tamara J.; SANDERS, Nathan J.; DUNN, Robert R. The mixed effects of experimental ant removal on seedling distribution, belowground invertebrates, and soil nutrients. **Ecosphere**, v. 2, n. 5, p. 1-14, 2011.

YATES, Michelle L. *et al.* Morphological traits: predictable responses to macrohabitats across a 300 km scale. **PeerJ**, v. 2, p. e271, 2014.