

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (ZOOLOGIA)

RAFAEL AGUIAR MARINHO

DIVERSIDADE E INTERAÇÃO DE INSETOS GALHADORES NA CAATINGA

JOÃO PESSOA

2022

RAFAEL AGUIAR MARINHO

DIVERSIDADE E INTERAÇÃO DE INSETOS GALHADORES NA CAATINGA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia) da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof^(a). Dr^(a). Maria Regina de Vasconcellos Barbosa

JOÃO PESSOA

2022

Catálogo na publicação
Seção de Catálogo e Classificação

R136dd Marinho, Rafael Aguiar.
Diversidade e interação de insetos galhadores na
Caatinga / Rafael Aguiar Marinho. - João Pessoa, 2022.
88 f. : il.

Orientação: Maria Regina de Vasconcellos Barbosa.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCEN.

1. Ciências biológicas. 2. Caatinga - Vegetação. 3.
Cecidomyiidae. 4. Semiarid. 5. Morphoty. I. Barbosa,
Maria Regina de Vasconcellos. II. Título.

UFPB/BC

CDU 57(043)

**Ata da 160ª Apresentação e Banca de Defesa
de Doutorado de Rafael Aguiar Marinho**


Ao(s) vinte e três dias do mês de novembro de dois mil e vinte e dois, às 14:00 horas, no(a) Ambiente Virtual, da Universidade Federal da Paraíba, reuniram-se, em caráter de solenidade pública, membros da banca examinadora para avaliar a tese de doutorado de **Rafael Aguiar Marinho**, candidato(a) ao grau de Doutor(a) em Ciências Biológicas. A banca examinadora foi composta pelos seguintes membros: **Dra. Maria Regina de Vasconcellos Barbosa (Orientadora - UFPB/PB); Dra. Rosy Mary dos Santos Isaias (UFMG/MG); Dr. Marco Antonio Alves Carneiro (UFOP/MG); Dra. Maria Virginia Urso-Guimarães (UFSCAR/SP); Dr. Alexandre Pereira Colavite (UFPB/PB)**. Compareceram à solenidade, além do(a) candidato(a) e membros da banca examinadora, alunos e professores do PPGCB. Dando início à sessão, a coordenação fez a abertura dos trabalhos, apresentando o(a) discente e os membros da banca. Foi passada a palavra ao(à) orientador(a), para que assumisse a posição de presidente da sessão. A partir de então, o(a) presidente, após declarar o objeto da solenidade, concedeu a palavra a **Rafael Aguiar Marinho**, para que dissertasse, oral e sucintamente, a respeito de seu trabalho intitulado **"Diversidade e Interação de Insetos Galhadores na Caatinga"**. Passando então a discorrer sobre o aludido tema, dentro do prazo legal, o(a) candidato(a) foi a seguir arguido(a) pelos examinadores na forma regimental. Em seguida, passou a Comissão, em caráter secreto, a proceder à avaliação e julgamento do trabalho, concluindo por atribuir-lhe o conceito APROVADO. Perante o resultado proclamado, os documentos da banca foram preparados para trâmites seguintes. Encerrados os trabalhos, nada mais havendo a tratar, eu, orientador(a), como presidente, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

João Pessoa, 23/11/2022.



Orientador(a)


Examinador(a)


Examinador(a)


Examinador(a)


Examinador(a)


Rafael Aguiar Marinho
(discente ciente do resultado)

(Em modo de webconferência, as assinaturas digitalizadas são certificadas pelo presidente da banca)

Ao meu querido pai-avô, que me criou, cuidou, ensinou e deu todas as condições necessárias durante a minha vida inteira para alcançar meus objetivos, especialmente este Doutorado. Mesmo doente e acamado, o senhor me ligava para saber se estava indo tudo bem. Gostaria que estivesse comigo ainda, mas Deus tinha outros planos. Dedico ao senhor a finalização desta minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente à Deus, à Jesus e aos bons espíritos que me sustentaram espiritualmente durante todos estes anos. Sem essa fonte oriunda de cima, as dificuldades seriam bem maiores, principalmente em um período tão difícil como foi a pandemia em 2020 e 2021, onde foi necessário mudar planos, objetivos, aumentar a perseverança, ser resiliente e manter a cabeça no lugar, pois inúmeras foram as adversidades vindas de todos os lados, prontas para me tirar do caminho!

Agradeço ao meu avô José Lúcio, meu querido avô, que me deu todo o apoio para terminar este curso de Doutorado. O senhor não está mais aqui entre nós, nos deixando fisicamente em 2021, mas acredito que observas de longe essa realização e deve se orgulhar do seu neto! Foram tantas “puxadas de orelha” para que eu chegasse onde cheguei.

Agradeço à minha esposa Luciana que esteve ao meu lado acompanhando de perto minhas reclamações e frustrações e tendo paciência comigo sempre. Cuidando de nossos filhos sozinha para que eu pudesse ir até João Pessoa. Te amo!

Agradeço à minha Orientadora Profa. Dra. Maria Regina que me aceitou como seu orientando nesta bela Universidade e me auxiliou na identificação das espécies botânicas. A professora Regina leu meu projeto em 2017, quando o enviei por email e percebeu que tinha algum futuro nele. Me abriu os olhos onde eu teimava em fechar sendo sábia em mostrar o que poderia ser feito de forma viável e o que era exagero de aluno principiante empolgado em “salvar” o mundo! Agradeço pelas conversas e mensagens de tranquilidade.

Agradeço ao Prof. Dr Pablo Riul pelo suporte e auxílio nas análises de dados, desde a qualificação, mostrando os pontos que deveriam ser modificados na tese. Pelas conversas amistosas pessoais e via zap que tivemos.

Agradeço ao Prof. Dr Alessandro Pereira Colavite, pelo auxílio inicial, a preparação de material para envio e sugestões diversas.

Agradeço ao Programa em Ciências Biológicas, particularmente ao Coordenador e Professor Bráulio, pela resposta no Fórum do Sigaa, postura singela e muito importante para que nós não nos sintamos sozinhos nestes 4 anos de curso.

Agradeço à Profa. Dr. Maria Antonieta pela disponibilidade e colaboração na identificação dos parasitoides associados, condição fundamental para sucesso dos resultados.

Agradeço à Profa. Dr. Valéria Cid Maia, do Museu Nacional do Rio de Janeiro, pelo suporte, ensino e identificação dos cecidomiídeos coletados. Sem isso, não haveria tese de Doutorado.

Agradeço aos Professores Dr. Marco Antonio Alves Carneiro e Dr. Milton Mendonça de Sousa Junior, pelas conversas iniciais sobre vários aspectos do mundo dos insetos galhadores que me auxiliaram a calibrar a Tese.

Agradeço ao Roberto, pelo suporte nas idas até a RPPN almas. Sem essa colaboração, eu não teria ido muito longe.

Agradeço aos meus colegas de Laboratório, Renata, Raphaela, Pietra, Luciano, Henrique, pela toda ajuda que me foi dada e pelas nossas conversas engraçadas no laboratório.

Agradeço aos proprietários das Reservas Particulares que me permitiram adentrar em suas áreas e realizar o meu estudo. Agradeço também ao SisBio pela autorização para estudos dentro da Flona de Açú. Pela hospitalidade e auxílio em campo.

Agradeço às secretarias de educação do Estado da Paraíba e de Alagoa Grande, pela licença concedida para cursar o Doutorado.

Agradeço aos colegas de trabalho da Escola Municipal Aracy e Caic por terem trocado o horário de trabalho para me permitirem uma melhor dedicação para a escrita desta Tese.

Enfim, agradeço às inúmeras pessoas que indiretamente me auxiliaram no decorrer dos meus trabalhos, na Universidade e em campo.

“Se a nossa espécie desaparecesse da Terra e só restassem as demais, muito provavelmente o planeta não notaria essa ausência”

David Attenborough

RESUMO

As galhas são alterações do tecido vegetal de plantas hospedeiras desencadeadas principalmente por insetos. Nesta tese realizei um levantamento da ocorrência de galhas em seis remanescentes de vegetação de caatinga s.s. e testei hipóteses para explicar a variação na riqueza e abundância de galhas e suas plantas hospedeiras em ambientes conservados e degradados. A tese apresenta dois capítulos principais. No primeiro são apresentados os resultados do levantamento e caracterização de galhas entomógenas em remanescentes de caatinga presentes na Depressão Sertaneja Setentrional. Foram selecionados dois sítios no estado da Paraíba, dois no Rio Grande do Norte e dois no Ceará. A amostragem das galhas e de suas plantas hospedeiras foi conduzida durante os períodos chuvosos, de fevereiro a junho de 2019, e de fevereiro a maio de 2021. Foram identificados 41 morfotipos de galhas presentes em 24 espécies de plantas hospedeiras. As plantas pertencem a 12 famílias de Angiospermas, sendo que Fabaceae abrigou 29,2% (n= 12) do total de morfotipos de galhas identificados. A maioria dos morfotipos é glabra (75,6%), enquanto apenas 24,4% exibiram tricomas. As folhas (61%) e os caules (25%) foram os órgãos mais atacados. As galhas, em sua maioria, foram induzidas por insetos da família Cecidomyiidae. A fauna associada compreendeu sucessores, cecidófagos, inquilinos e parasitoides. Os primeiros, encontrados em quatro morfotipos de galhas, estão representados por aranhas e quatro ordens de insetos: Hemiptera, Coleoptera, Lepidoptera e Hymenoptera (Formicidae). Os inquilinos foram representados por *Tanaostigmoides* Ashmead, 1896 (Tanaostigmatidae). Já os parasitoides, encontrados em 18 morfotipos de galhas (43,9%), pertencem a seis famílias de Hymenoptera. Todos os registros de galhas são novas referências para a Depressão Sertaneja Setentrional nos estados estudados. No segundo capítulo, são analisados modelos ecológicos para explicar a abundância e riqueza de plantas, bem como sua relação com a abundância e riqueza de insetos galhadores. Para a seleção das áreas de amostragem, foi utilizado o HumanFootPrint (HFP) que é um índice que mede o impacto humano na superfície não antártica da Terra. Assim, de um total de seis áreas, três foram consideradas com baixo impacto (HFP < 5) e as outras três com alto impacto humano (HFP > 19). Nas áreas menos impactadas, a riqueza de plantas e galhas foi maior do que nas áreas mais impactadas. A composição das comunidades de plantas e galhas foram significativamente diferentes entre os ambientes. Contudo, nos ambientes mais conservados, a composição da comunidade de plantas hospedeiras influenciou a composição da comunidade de insetos galhadores.

Palavras-chaves: Caatinga, Cecidomyiidae, semiárido, galhas, morfotipo,

ABSTRACT

Galls are alterations in the plant tissue of host plants triggered mainly by insects. In this thesis, I carried out a survey of the occurrence of galls in six vegetation remnants of caatinga s.s. and tested hypotheses to explain the variation in gall richness in conserved and degraded environments. The thesis has two main chapters. In the first one, the results of a survey and characterization of entomogenous galls in remnants of caatinga present in the Sertaneja Setentrional Depression are presented. Two sites were selected in the state of Paraíba, two in Rio Grande do Norte and two in Ceará. A sampling of galls and their host plants was conducted during the rainy season, from February to June 2019, and from February to May 2021. 41 morphotypes of galls present in 24 species of host plants were identified. The plants belong to 12 families of Angiosperms and Fabaceae harbored 29.2% ($n=12$) of the total identified gall morphotypes. Most morphotypes are glabrous (75.6%), while only 24.4% exhibited trichomes. Leaves (61%) and stems (25%) were the most attacked organs. Most galls were induced by insects of the Cecidomyiidae family. The associated fauna comprised successors, caecidophages, tenants and parasitoids. The first, found in four morphotypes of galls, are represented by spiders and four orders of insects: Hemiptera, Coleoptera, Lepidoptera and Hymenoptera (Formicidae). The tenants were represented by *Tanaostigmoides* Ashmead, 1896 (Tanaostigmatidae). The parasitoids, found in 18 morphotypes of galls (43.9%), belong to six families of Hymenoptera. All gall records are new references for the studied states in the Northern Sertaneja Depression. The second chapter presents the richness and abundance of plants and their relationship with the richness and abundance of galling insects. Ecological models for plant and galls richness were analyzed using the Poisson error distribution and for plant and galling abundance using the negative binomial distribution. In the selection of sampling areas, we used the HumanFootPrint (HFP), an index that measures the human impact on the non-Antarctic surface of the Earth. We selected a total of six areas, three considered to have low impact ($HFP < 5$) and three to have high human impact ($HFP > 19$). In low impacted areas, the richness of plants and galls was higher than in the most impacted. The composition of plant and gall communities was significantly different between environments. However, in the most conserved environments the composition of the plant community directly influenced the composition of galling insect community.

Keywords: Caatinga, Cecidomyiidae, semiarid, galls, morphotype

SUMÁRIO

PARTE GERAL

1 INTRODUÇÃO	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 Insetos galhadores no mundo	15
2.2 Insetos galhadores na Caatinga	19
2.3 Uso do índice HFP – human footprint.....	22
3 REFERÊNCIAS	25

CAPÍTULO 1 “Occurrence and characterization of entomogenous galls in dry forest remnants (caatinga) in the Northern Depressão Sertaneja, Brazil	34
---	----

Abstract.....	35
1 Introduction.....	36
2 Materials and Methods.....	37
2.1 Study area.....	37
2.2 Sampling.....	37
3 Results.....	39
4 Discussion.....	41
5 Conclusions.....	45
6 References.....	47

CAPÍTULO 2 “Efeito da pegada humana na riqueza de plantas hospedeiras e no parasitismo de insetos galhadores na Depressão Sertaneja Setentrional, Brasil.”	59
--	----

1 Introdução.....	59
2 Material e Métodos.....	61
2.1 Área de estudo e seleção de áreas amostradas	61
2.2 Amostragem.....	63
2.3 Análise de dados.....	64
3 Resultados.....	65
4 Discussion.....	79
5 Conclusões.....	82
6 Referencias.....	47

1 INTRODUÇÃO

As plantas sofrem ações por parte dos insetos constantemente durante sua fenologia. Uma destas ações é a origem de alterações nos tecidos vegetais conhecidas por galhas ou cecídias (HARTLEY, 1998). As galhas podem ocorrer em praticamente todos os órgãos das plantas, das raízes até os brotos apicais, e nas partes vegetativa e reprodutiva, embora sejam mais numerosas e diversificadas nas folhas (MAIA, 2013).

Segundo Saito e Uso-Guimarães (2012, p. 99), "galhas são estruturas vegetais formadas pelo crescimento anormal de células, tecidos ou órgãos em resposta a estímulos causados por outros organismos". Os autores elucidam que ela ocorre mediante o crescimento celular. No interior da galha, as formas imaturas recebem proteção contra fatores abióticos, como excesso de luz solar e estresse hídrico bem como contra inimigos naturais, o que permite o pleno desenvolvimento das formas adultas (STONE e SCHÖNROGGE, 2003; RAMAN, SCHAEFER e WITHERS, 2005).

As comunidades de insetos galhadores são constantemente compostas por diversas espécies de distintos ordens, também são fáceis de serem observadas e coletadas e as interações entre outros organismos e o inseto indutor podem ser facilmente manipuladas (FERNANDES e CARNEIRO, 2009). Dentre os insetos galhadores, Cecidomyiidae foi o que mais irradiou o hábito endofítico, sendo esta característica o comportamento que necessita de maiores informações ecológicas (STIREMAN et al., 2010). Os Cecidomyiidae possui hoje uma diversidade registrada de 6.651 espécies (GAGNÉ e JASCHHOF, 2021), mas o número real estimado para este grupo é de aproximadamente 85.000 espécies (ESPIRITO-SANTO e FERNANDES, 2007).

Muita pesquisa é dedicada à compreensão dos efeitos da interação entre insetos galhadores, plantas hospedeiras e outros organismos associados, contribuindo substancialmente em aspectos ecológicos e mesmo para a teoria evolutiva (FLAHERTY e QUIRING, 2008). As galhas são formadas através de tecidos vegetais, mas a manutenção e a formação de algumas galhas podem ser controladas pelas vespas galhadoras, representando assim um fenótipo estendido (COOPER e RIESKE, 2009). Em seu estudo, Cooper e Rieske (2009) ainda apresentam que algumas hipóteses indicam que as galhas oferecem refúgios contra inimigos naturais,

forneendo uma barreira química e física contra parasitoides, predadores e uma mortalidade incidental de herbívoros. Os pesquisadores apontaram que algumas vespas, incluindo a ordem Hymenoptera da família Cynipidae, alteram o desenvolvimento fisiológico das suas plantas hospedeiras para produzir galhas.

Além da construção de galhas, se evidenciou que determinadas vespas fêmeas ovipõe dentro de galhas inserindo seus órgãos de postura através das paredes das galhas. Uma vespa fêmea colocou vários ovos em cada galha. Após a eclosão, as larvas começaram a caçar ácaros, usando suas mandíbulas em forma de foice. Os autores concluíram que as vespas podem ser consideradas agentes eficazes de controle biológico contra os ácaros da galha (RANJITH et al., 2022).

Os principais morfotipos de galhas registradas na flora brasileira são as galhas globoides e fusiformes predominantes nas lâminas foliares (ARAUJO et al., 2019). Em suma, os morfotipos são utilizados como identificação das espécies de insetos galhadores e, portanto, são considerados indicadores indiretos da riqueza e diversidades de galhas presentes nos ecossistemas, podendo ainda, contribuir para a análise da qualidade do habitat e para monitoramento e conservação (ISAIAS et al., 2021).

Os inventários de galhas concentraram-se na região sudeste do Brasil, sendo os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica os mais estudados (FERNANDES et al., 1996, GONÇALVES-ALVIM e FERNANDES, 2001, ARAUJO, et al., 2019); MAIA e FERNANDES, 2004; FERNANDES et al., 2009). Os inventários de galhas no nordeste brasileiro como os realizados por Carvalho-Fernandes et al. (2012), Costa et al. (2014b) e Santos et al. (2011), e no Norte de Minas Gerais em áreas de transição da caatinga para o cerrado, como o estudo de Luz et al. (2012), apontam Leguminosae e Myrtaceae com maior riqueza de galhas entomógenas e de espécies galhadas (COELHO et al., 2009).

As Leguminosae também estão presentes na região semiárida brasileira contribuindo para hipótese que certas composições florísticas tem ligação com a riqueza de insetos galhadores (COSTA et al., 2014a), todavia, poucos estudos se concentraram nas ecorregiões da Caatinga (SANTOS, ALMEIDA-CORTEZ e FERNANDES, 2011; SILVA et al., 2011; CARVALHO-FERNANDES et al., 2012; COSTA, 2016).

No Brasil, a caatinga abrange quase 800.000 km², alcançando estados das regiões Sudeste e Nordeste. A vegetação da caatinga não possui uma vegetação homogênea, o que classifica como o tipo de vegetação menos conhecida quanto a sua biodiversidade na América do Sul (TABARELLI e VICENTE, 2003). Conhecer a biodiversidade dessa vegetação é um importante fator para sua preservação.

Conhecimento sobre a distribuição de organismos vegetais e a forma com que eles se organizam em comunidades nas biotas é fundamental para entender questões como a origem da flora, sua riqueza e seu nível de endemismo, e a distribuição espacial e ecológica das entidades taxonômicas, formas e histórias de vida (TABARELLI e VICENTE, 2003, p. 108).

Estudos etnobotânicos podem ser grandes contribuintes para conhecer e explorar a biodiversidade da Caatinga, "podem contribuir como elemento-chave na compreensão de variáveis que afetam tanto as comunidades quanto a dinâmica de uso dos recursos" (ARAÚJO, ALBUQUERQUE e CASTRO, 2007, p. 11).

Nesse contexto, a compreensão das interações galhador-planta na Caatinga pode auxiliar a detectar grupos sensíveis às alterações antrópicas e a identificar plantas hospedeiras que melhor expressem respostas ecológicas às pressões seletivas em curso. Além disso, as galhas são sésseis, diversas e abundantes, servindo como uma ótima ferramenta para estudos aplicados e experimentais (PRICE et al., 2005).

A conversão de ambientes naturais em áreas urbanas e agrícolas leva à perda e fragmentação de habitats e consequente redução da biodiversidade e interrupções nas interações entre plantas e insetos (TABARELLI, 1998). Alguns estudos anteriores demonstraram que a riqueza de galhas entomógenas no interior dos fragmentos florestais responde negativamente a distúrbios antrópicos, reduzindo

significativamente à medida que as perdas de biodiversidade se acentuam e as taxas de mortalidade das plantas empobrecem esses fragmentos (URSO-GUIMARÃES et al., 2003; MOREIRA et al., 2007).

Segundo Velloso et al (2001), a vegetação considerada mais típica da Caatinga encontra-se nas depressões sertanejas: uma na face norte e outra ao sul do bioma, divididas por serras que formam verdadeiras barreiras geográficas. No presente estudo, a Ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional foi selecionada para ser a fonte de informações relevantes à cerca das métricas ecológicas (abundância, composição e distribuição) inerentes à ocorrência dos insetos galhadores, plantas hospedeiras e organismos associados em remanescentes considerados conservados (com baixa pressão humana) e degradados (com alta pressão humana). Inicialmente inventariei a diversidade de galhas na Caatinga e, posteriormente, determinei modelos ecológicos que explicam a riqueza e abundância de plantas e galhas nos remanescentes estudados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Insetos galhadores no mundo

A constatação da existência de insetos galhadores vem desde os tempos remotos. Tanto as civilizações antigas como os gregos e chineses os usavam na prática de tratamento naturais e com o avançar do tempo eles apresentaram variadas utilidades no comércio (MEYER, 1987; PRICE et al., 1986). Não havia ideias sólidas à cerca da natureza peculiar dos insetos galhadores até que os trabalhos e pesquisas do renomado Marcello Malpighi (1628-1694), com a utilização de microscópicos, revelou que as galhas eram causadas por outros organismos que usavam a planta como alimento e modificavam sua estrutura para atender às suas próprias necessidades (REDFERN, 2011).

A

palavra “galha” deriva do latim galha, uma excrescência que é produzida em árvores, especificamente em Carvalhos. Assim, a palavra galha foi tomando emprestado estes significados e modificando-se com o passar do tempo. Em termos modernos, galhas são crescimentos anormais que ocorrem no tecido vegetal, causados por ação de outros organismos (ROHFRITSCH & SHORTHOUSE, 1982).

Encarcerada pela estrutura lobular da galha, a larva dos insetos galhadores se mantém protegida de agentes externos e se desenvolve até o indivíduo adulto (embora alguns insetos emergam ainda larvais das galhas). Não há um local exclusivo para formação das galhas, de modo que, diversas partes da planta como brotos, folhas, pecíolos, botões florais, caules e raízes são utilizados como substrato por diferentes espécies, caracterizando uma relação extremamente específica onde os beneficiados são os galhadores (STONE e SCHÖNROGGE, 2003; RAMAN, SCHAEFER e WITHERS, 2005).

Segundo Meyer (1987), a maioria das Angiospermas (plantas com flores) são atacadas por insetos galhadores, com prevalência em dicotiledôneas (90%). As galhas, frequentemente, afetam as espécies de plantas mais comuns e com arquitetura mais complexa que outras, o que levou à formulação de hipóteses diversas (FLECK e FONSECA, 2007). Na Europa e na América do Norte, cerca de 50% das galhas ocorrem em carvalhos e faias (Fagaceae), 20% nas Asteraceae e 15% em Rosaceae. Segundo Redfern (2011), alguns insetos causadores de galhas são mais comuns em climas temperados e outros em áreas tropicais e subtropicais. Por exemplo, vespas (Cynipidea) são mais comuns nas florestas de carvalhos da Europa temperada e quente da América do Norte; determinadas espécies de vespas nos salgueiros são mais comuns nas zonas temperadas do norte e dominam nos eucaliptos da Austrália. Na América do Sul, África e Índia, predominam galhas nas Fabaceae (leguminosas), e na Austrália, mais de 50% ocorrem em eucaliptos (Myrtaceae) (REDFERN, 2011). Galhas causadas por psílídeos são comuns na Índia. Vários organismos distintos causam galhas, sendo os insetos aqueles que causam a maioria e induzem a maior variedade de estruturas.

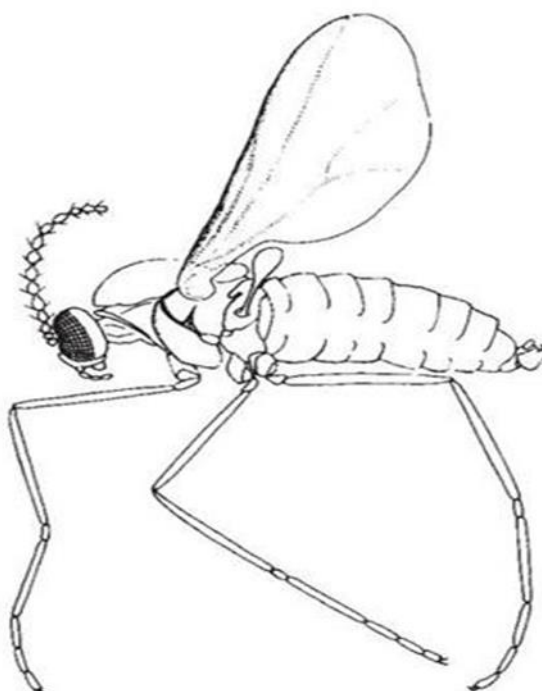
Segundo Hennig (1973), a ordem Diptera é considerada monofilética já que compartilha as asas posteriores modificadas em halteres e as peças bucais são especializadas nos adultos. O monofiletismo na ordem foi corroborado por análises moleculares (LAMBKIN et al., 2012). A família Cecidomyiidae, cosmopolita, com mais

de 6000 espécies em 783 gêneros, reúne na subfamília Cecidomyiinae, monofilética, todos os mosquitos galhadores, além de algumas espécies predadoras e fungívoras.

Entre os animais que são considerados galhadores, os insetos são os mais abundantes e então presentes em um extenso tipo de plantas hospedeiras. Aprofundando tal assunto, os insetos induzem a geração da galha após serem ovipositados no tecido vegetal. Ademais, as etapas imaturas dos insetos aproveitam-se da galha como abrigo durante algumas etapas da vida, enquanto se alimentam da planta e evitam seus compostos defensivos e alguns inimigos naturais (PEREA et al., 2021).

Os cecidomiídeos são mosquitos com cerca de três milímetros de comprimento e padrão corporal de aparência frágil, asas com venação reduzida e veia costal geralmente interrompida imediatamente após o ápice da veia; os olhos compostos são conectados logo acima da inserção das antenas, e os ocelos são ausentes na maioria das espécies (Figura 1), a não ser nas pertencentes à subfamília Lestremiinae (GAGNÉ e JASCHHOF, 2009). Atualmente, a família encontra-se organizada em seis subfamílias: Catotrichinae, Lestremiinae, Micromyinae, Winnertziiinae, Porricondyliinae e Cecidomyiinae (GAGNÉ E JASCHHOF, 2021).

Figura 1 - Vista lateral de um cecidomiídeo macho de gênero *Dasineura* sp.



Fonte: reproduzido de Gagné (1994).

O ciclo de vida das larvas da família Cecidomyiidae apresentam três instares de modo que a larva de terceiro instar é peculiar com sua espátula protorácica, caracter automórfico da família. Os hábitos das larvas de cecidomiídeos variam de micetófagas, fitófagas, predadoras de ácaros e pequenos artrópodes, com destaque para o hábito galhador, predominante na família.

Os cecidomiídeos não galhadores representam 25% da diversidade da família e pertencem às subfamílias Catotrichinae, Lestremiinae, Micromyiinae, Winnertziinae, Porricondyliinae e duas supertribos de Cecidomyiinae, Brachineuridi e Stomatosematidi. Os cecidomiídeos galhadores pertencem às supertribos Lasiopteridi e Cecidomyiidi, e incluem a maioria das espécies, cerca de 80% (GAGNÉ e JASCHHOF, 2021).

Para os demais táxons, como coleóptera, que apresentam espécies galhadores são: Apionidae, Buprestidae, Cerambycidae, Curculionidae, Eirrhinidae e Nanophyidae (CASARI e MARTINS, 2011). Dentre os Hemiptera, os Sternorrhyncha se destacam por possuírem muitos táxons indutores de galhas, como por exemplo, Aphididae, Psyllidae e Coccoidea (HODKINSON, 1984). Representantes galhadores são encontrados nas superfamílias Chalcidoidea, Cynipoidea e Ichneumonidae. Parte dos Chalcidoidea são parasitoides, apresentam grande variação evolutiva e uma quantidade ampla de hospedeiros (LA SALLE, 2005).

Estudos com insetos galhadores e suas plantas hospedeiras na região Neotropical não são recentes, e diversas descrições das galhas e registros dos organismos irritantes e de suas plantas hospedeiras já foram realizados. Gagné (1994), resumiu a fauna de Cecidomyiidae (Diptera) da região Neotropical e contribuiu com informações importantes sobre os estudos de cecidomiídeos nos Neotrópicos.

Segundo Fernandes et al (2014) os estudos à cerca de insetos galhadores no Brasil começaram com as pesquisas clássicas do padre jesuíta J.S. Tavares, de 1906 a 1925, que resultou na descrição de 26 gêneros e 56 espécies de cecidomiídeos, todos de natureza morfológica. Estudos sobre a ecologia de insetos galhadores começaram a aumentar no início dos anos de 1980, basicamente com dados de distribuição e história natural.

Os primeiros estudos sobre galhas no Brasil foram realizados no início do

século XX. Em suma, nos anos de 1905 a 1925, importantes pesquisadores estrangeiros como: EP Felt (Estados Unidos da América), EH Rübsaamen (Alemanha) e JS Tavares (Portugal) descreveram um grande número de insetos galhadores presentes no Brasil. Após esse período, os estudos sobre insetos galhadores permaneceu um pouco estagnado.

Pesquisas foram realizadas em diversos biomas e ecossistemas brasileiros, por exemplo: Pantanal (JULIÃO et al, 2002), floresta tropical amazônica (ALMADA e FERNANDES, 2011; MAIA, 2012), dunas de areia costeira (MAIA 2001, 2005; OLIVEIRA e MAIA, 2005; MENDONÇA et al., 2007), cerrado (FERNANDES e PRICE, 1988; GONÇALVES-ALVIM e FERNANDES, 2001; MAIA e FERNANDES, 2004), ecossistemas montanhosos rupestres (CARNEIRO et al., 2009), floresta tropical seca em afloramentos calcários (COELHO et al., 2009), caatinga (SANTOS, ALMEIDA-CORTEZ e FERNANDES, 2011) e floresta tropical atlântica (SANTOS et al, 2012).

Com o aumento de estudos sobre galhas se aquecendo no Brasil, diversos estudos se espalharam e também se concentraram em aspectos específicos das galhas. Boa parte destes estudos focaram na elaboração de inventários da diversidade de galhas em diferentes ecossistemas (SANTOS et al., 2011; ARAÚJO et al., 2012; COSTA et al., 2014; NOGUEIRA et al., 2016), enquanto outros investigaram aspectos ecológicos de insetos indutores de galhas ou descreveram novas espécies (; MAIA e OLIVEIRA, 2010; PEREIRA-COLAVITE e URSO-GUIMARÃES, 2013; MAIA e SOUZA, 2013; MAIA, 2014), bem como as naturezas estruturais e ultraestruturais dos tecidos da galha (ARDUIN e KRAUS 2001; MOURA et al., 2009; OLIVEIRA e ISAIAS 2010; ISAIAS et al., 2011; SUZUKI et al, 2015). Outros trabalhos direcionaram seus objetivos no exame das galhas como importantes bioindicadoras da qualidade do habitat (MOREIRA et al., 2007; OLIVEIRA, 2009).

Estudos anatômicos de galhas neotropicais ganharam impulso apenas recentemente, com a consolidação de alguns grupos de pesquisa (por exemplo, FORMIGA et al., 2009; OLIVEIRA e ISAIAS, 2009; SÁ et al., 2009). Estes estudos têm objetivado não apenas descrever as características anatômicas e morfológicas das galhas, mas também compreender os processos envolvidos em sua formação, padrões de crescimento e divisão celular em diferentes tecidos vegetais de plantas hospedeiras na região neotropical.

Apesar dos intensos registros de galhas, até o momento, cerca de 200 espécies de cecidomiídeos foram de fato descritas no Brasil. Essa lacuna deve ser

urgentemente preenchida para que estudos comparativos detalhados possam ser realizados e os dados à cerca da evolução dos insetos galhadores no Brasil e no globo atualizados.

2.2 Insetos galhadores na Caatinga

A Caatinga, composta por um mosaico de florestas secas e vegetação arbustiva (savana-estépica), é a única grande região natural brasileira cujos limites estão inteiramente restritos ao território nacional (TABARELLI e SILVA, 2002). Neste contexto, as condições severas típicas da Caatinga, com perda de folhas no período seco, ocorrência maciça de espinhos, e um mosaico de tipos de solos (VELLOSO, SAMPAIO e PAYREN, 2001), a tornam um modelo de ambiente xérico no qual as relações entre insetos galhadores, seus parasitoides e plantas hospedeiras poderiam ser averiguadas. Entretanto, o aspecto que mais se destaca sobre as galhas neste bioma é o conhecimento negligenciado que se tem delas, com grande parte do esforço científico concentrado no estado de Pernambuco e recentemente na Bahia (SANTOS, ALMEIDA-CORTEZ e FERNANDES, 2011; CARVALHO-FERNANDES et al., 2012; BRITO et al., 2018).

A heterogeneidade ambiental da Caatinga e a singularidade de certos ambientes permitem supor a possibilidade de uma riqueza de insetos galhadores associada a essa vegetação. Dessa forma, relata-se muitos grupos de insetos herbívoros que estão presentes na Caatinga, entre eles estão os mastigadores de folhas: Phasmatodea, Lepidoptera, Coleóptera e etc. Entre esses grupos de herbívoros, destacam-se os insetos causadores de galhas com maior especificidade com as plantas hospedeiras.

O primeiro inventário de galhas realizado na Caatinga foi conduzido por Santos, Almeida-Cortez e Fernandes (2011), onde foram estudadas algumas áreas nos municípios pernambucanos de Alagoinha, Custódia, Pombos, Bodocó, Serrita, Pesqueira, Salgueiro, Parnamirim, bem como no Parque Nacional do Vale do Catimbau e em dois parques estaduais de Pernambuco.

Nesse estudo, os autores encontraram 64 tipos morfológicamente distintos de galhas de insetos na caatinga de Pernambuco. Essas galhas foram encontradas em

48 espécies de plantas hospedeiras de 17 famílias e 31 gêneros. A maioria das galhas induzidas pertenceu à família Cecidomyiidae (89%), seguida por Coleoptera (5%), Heteroptera (2%). As famílias de plantas hospedeiras que apresentaram maior número de espécies de galhas foram: Fabaceae (23,44%), Euphorbiaceae (14,06%) e Boraginaceae, Malpighiaceae e Myrtaceae com 6,25% cada. Como padrão global, a maioria das galhas foi induzida nas folhas (73,44%).

Carvalho-Fernandes et al., (2012) inventariaram e caracterizaram as galhas de diferentes áreas de Caatinga próximas à Usina Hidroelétrica de Xingó, pertencente à Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF). Os resultados encontrados pelos autores do estudo revelaram padrões semelhantes aos encontrados por Santos, Almeida-Cortez e Fernandes (2011). Foram encontrados 25 morfotipos de galhas distribuídos em 18 espécies hospedeiras pertencentes a oito famílias vegetais. Fabaceae foi a família com maior riqueza de galhas, com onze morfotipos, sendo *Caesalpinia pyramidalis* Tul. a espécie com maior número de espécies de insetos galhadores. Em relação aos órgãos atacados, 68% das galhas ocorreram nas folhas e 28% em ramos.

Já Brito et al (2018) verificou a ocorrência de galhas entomógenas em áreas de Caatinga de Ibiassucê, Estado da Bahia, com diferentes intensidades de ação antrópica. Foram selecionadas três áreas com base nos seus diferentes graus de antropização. Os autores registraram 20 morfotipos de galhas distribuídos em nove espécies vegetais pertencentes a oito famílias. A maior riqueza de galhas foi encontrada nas áreas intermediárias (n=8), seguida das áreas antropizadas (n=7) e preservadas (n=5). Lepidoptera, Coleoptera e Diptera (Cecidomyiidae) foram as ordens identificadas com representantes galhadores.

Apesar destes estudos, o número de inventários na Caatinga ainda não apresentou um número razoável de esforço amostral quando comparado a outros biomas. Se restringirmos a seleção de biomas apenas para o Cerrado, existem mais de 32 inventários contra apenas nove da Caatinga. (Cintra et al. 2020), onde a abundância e riqueza de morfotipos e suas plantas hospedeiras são baixas quando relacionados a outros biomas.

Para Cintra et al (2021) há um conjunto de fatores que explicam o baixo número de morfotipos e insetos galhadores, como por exemplo, a Caatinga apresenta um número menor de espécies vegetais em comparação ao Cerrado. A flora da Caatinga possui 4.891 spp. válidas, 1.232 gêneros e 176 famílias de plantas com flores.

Enquanto isso, a flora do Cerrado possui 12.420 espécies válidas, 1.662 gêneros e 187 famílias (Flora do Brasil 2020).

Outro argumento ainda segundo Cintra et al (2021) é a Caatinga ser uma floresta tropical sazonalmente seca, um ambiente semiárido, com baixa pluviosidade e que durante a estação seca, muitas espécies perdem suas folhas. Já que os insetos galhadores induzem galhas preferencialmente nas folhas, haveria uma redução na quantidade e qualidade dos recursos disponíveis, por exemplo, tecidos meristemáticos. Os demais biomas não apresentam esta particularidade, ofertando folhas anualmente e em abundância.

2.3 Uso do índice HFP – human footprint

O índice de pegada humana, publicada pela primeira vez em 2002 (SANDERSON, 2002), usa dados de oito pressões humanas globais desde o início da década de 1990. A robustez dos dados tem como base informações bem completas e globalmente consistentes com as pressões humanas acumuladas no meio capaz de ser modelada e ser informada até de forma estatística o impacto humano (SHRESTHA et al., 2021). A partir de uma sobreposição de mapa e em um esforço para reduzir os danos ambientais, é necessário identificar onde as pressões humanas são mais intensas. Além disso, camadas de dados globais são combinadas para formar o mapa da Pegada Humana, que retratam espacialmente o que se acredita serem as influências mais significativas sobre o meio ambiente (FAKHER, 2019).

Assim, o Índice de Pegada Humana expressa em porcentagem a Influência humana relativa em cada bioma da superfície terrestre. O valor do Human Foot Print (HFP) varia de 0 a 50. Valores mais altos indicam maiores impactos humanos, valores mais baixos, menos impacto (VENTER et al., 2016). A fim de ter uma noção das tensões colocadas pelas pessoas na natureza, muitos mapas de rastreamento foram produzidos. A chamada “pegada humana” ou “human foot print” pode ser quantificada e medir a gravidade das demandas humanas sobre o meio ambiente.

Segundo Venter et al. (2016), os mapas da pegada humana fornecem informações sobre onde os humanos estão exercendo pressão e alterando os sistemas naturais. Eles também fornecem informações sobre onde essas pressões estão ausentes e os ecossistemas provavelmente operam em um estado mais natural. Essas terras livres de pressão representam locais candidatos a serem considerados

como “Selvagem” ou intactas ou mesmo com mínima pressão (VENTER et al., 2016).

No estudo de Venter et al. (2016), foram utilizadas ferramentas de sensoriamento remoto e bottom-up para metrificar as pressões humanas no período do estudo, resultando na primeira validação de um mapa de pressão cumulativa, em forma de raster e disponível para download, utilizando equipamentos de sensoriamento remoto.

Essas camadas compreendem a pressão da população humana (densidade populacional), uso humano da terra e infraestrutura (áreas construídas, iluminação noturna, uso da terra (cobertura da terra) e acesso humano (litorais, estradas, ferrovias, rios navegáveis). Para cada bioma, cada quilômetro quadrado de sobreposição entre as camadas é dimensionado entre um e cem. Intensificando-se ao longo do tempo, as pressões humanas sobre o meio ambiente têm efeitos diretos na biodiversidade do planeta. Além disso, a exploração dos recursos naturais, a expansão da infraestrutura e a utilização de áreas naturais para o sustento humano contribuem para a interferência humana. Nesse sentido, essas forças são consideradas ameaças à biodiversidade, pois têm a capacidade de aniquilar o mundo natural (VENTER et al., 2016).

Além disso, os mapas da HFP têm várias aplicações como substitutos para a intervenção humana de sistemas naturais. Além disso, podem auxiliar na compreensão das forças humanas que impulsionam os padrões macro ecológicos. Também pode ser usado para monitorar mudanças ambientais e informar pesquisas e práticas de conservação (SHRESTHA et al., 2021).

Neste contexto, O HFP substituiria a seleção de áreas com base em critérios subjetivos, de respostas pouco eficazes que não alcançam completamente as interferências capazes de alterar a estrutura das comunidades de plantas e a fauna. Além disso, como apresenta valores quantificáveis, é adequado à ser confrontado em testes de hipóteses onde a avaliação da pressão humana influencia a estrutura da comunidade de animais e plantas, como a riqueza e abundância.

3 REFERÊNCIAS

- ALMADA, E.D.; FERNANDES, G.W. Insetos indutores de galhas em florestas de terra firme e em reflorestamentos com espécies nativas na Amazônia Oriental, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi** 6: 163-196, 2011.
- ARDUIN, M; J. E. KRAUS. Galhas de ambrosia em folhas de *Baccharis concinna* e *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae). **Rev. Bras. Bot.** 24: 64-71 2001.
- ARAÚJO, E.L.; ALBUQUERQUE, U.P.; CASTRO, C.C. Dynamics of Brazilian caatinga - a review concerning the plants, environment and people. **Functional Ecosystems and Communities**. v. 1, p. 15-29. 2007.
- ARAÚJO, W.S.; PORFÍRIO-JÚNIOR, E.D.; JORGE, V.A. & ESPÍRITO SANTO, K. Plantas hospedeiras e galhas entomógenas em sub-bosques de florestas tropicais do Pará, Brasil. **INSULA Revista de Botânica Florianópolis**, 41: 59-72. 2012.
- ARAÚJO, W. S.; SILVA, I. P. A.; SANTOS, B. B.; GOMES-KLEIN, V. L. Host plants of insect-induced galls in areas of cerrado in the state of Goiás, Brazil. **Acta Botanica Brasílica**, Feira de Santana, v. 27, n. 3, p. 537-542, 2013.
- BLANCHE, K. R.; LUDWING, J. A. Species Richness of Gall-Inducing Insects and Host Plants along an Altitudinal Gradient in Big Bend National Park, Texas. **The American Midland Naturalist**. Vol. 145, No. 2 (Apr., 2001), pp. 219-232.
- BRITO, G. P.; COSTA, E. C.; CARVALHO-FERNANDES, S. P.; SANTOS-SILVA, J. Riqueza de galhas de insetos em áreas de Caatinga com diferentes graus de antropização do estado da Bahia, Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, 108, 2018, e2018003. Epub March 26, 2018. <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2018003>
- CARNEIRO, M.A.A.; FERNANDES, G.W. and DE SOUZA, O.F.F. Convergence in the variation of local and regional galling species richness. **Neotropical Entomology** 34: 547-553, 2005.

CARVALHO-FERNANDES, S.P.; ALMEIDA-CORTEZ, J.S.; FERREIRA, A.L.N. Riqueza de galhas entomógenas em áreas antropizadas e preservadas de Caatinga. **Revista Árvore** 36: 269–277, 2012.

CASARI, S. A.; MARTINS, U. R. Larva of *Nealcidion bicristatum* (Bates) (Cerambycidae, Lamiinae, Acanthocinini). **Papéis Avulsos de Zoologia** (USP.Museu de Zoologia. Impresso), v. 51, p. 499-504, 2011.

COCOLETZI, E. et al. Incidence of galls on fruits of *Parkinsonia praecox* and its consequences on structure and physiology traits in a Mexican semi-arid region. **Rev. Mex. Biodiv.**, México, v. 90, e902758, 2019. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2758>.

COELHO, M.S.; ALMADA, E.D.; FERNANDES, G.W.; CARNEIRO, M.A.A.; Santos, R.M.; Quintino, A.V. & Sanchez-Azofeifa, A. 2009. **Gall inducing arthropods from a seasonally dry tropical forest in Serra do Cipó, Brazil**. *Revista Brasileira de Entomologia* 53: 404–414.

COOPER, W.R.; RIESKE, L.K. **Woody Stem Galls Interact With Foliage to Affect Community Associations**, *Environmental Entomology*, Volume 38, Issue 2, 1 April 2009, Pages 417–424, <https://doi.org/10.1603/022.038.0215>

COSTA, E.C.; FERNANDES, S.P.C.; SILVA, J.S. Galhas de insetos em uma área de transição caatinga-cerrado no Nordeste do Brasil. **Sitientibus série Ciências Biológicas**. V.14, 2014a.

COSTA, E.C.; FERNANDES, S.P.C.; SILVA, J.S. Galhas entomógenas associadas à Leguminosae do entorno do riacho Jatobá, Caeitité, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências** 12: 115–120. 2014b.

DREGER-JAUFFRET, F.; SHORTHOUSE, J. D. **Diversity of gall-inducing insects and their galls**. In: SHORTHOUSE, J. D.; ROHFRITSCH, O. (Ed.). *Biology of insect-induced galls*. Oxford: Oxford University, 1992. p. 8-33

ESPÍRITO-SANTO M.M, FERNANDES G. W. 2007. How many species of gall-inducing insects are there on Earth, and where are they? **Ann. Entomol. Soc. Am.** 100:95-99.

FAKHER, Hossein-Ali. Investigating the determinant factors of environmental quality (based on ecological carbon footprint index). **Environmental science and pollution research**, v. 26, n. 10, p. 10276-10291, 2019.

FERNANDES, S.P.C.; MAIA, V.C. **Registros de galhas de insetos no município de Paraty (RJ, Brasil)**. São Paulo: Sociedade de Ecologia do Brasil. 2011.

FERNANDES, W. G.; CARNEIRO, M. A.A. Insetos galhadores. **Miolo-Bioecologia** 2. 2009, p. 597- 638. Disponível em: <<https://debio.ufop.br/sites/default/files/debio/files/3.pdf>>. Acessado em 01 de outubro.

FERNANDES, GW & PW PRICE. Gradientes biogeográficos na riqueza de espécies galhadoras: testes de hipóteses. **Oecologia** 76: 161-167, 1988.

FLAHERTY, L; QUIRING D. Plant module size and dose of gall induction stimulus influence gall induction and galler performance. **Oikos** 117: 1601-1608. 2008

FLECK, T.; FONSECA, C.R. Hipóteses sobre riqueza de insetos galhadores: uma revisão considerando os níveis intra-específico, interespecífico e de comunidade. **Neotropical Biology and Conservation** 2: 36–45, 2007

GAGNÉ, R.J. **The gall midges of the Neotropical Region**. Cornell University Press, Ithaca, New York. 325p. 1994

GAGNÉ, R.J.; JASCHHOF, M. **Family Cecidomyiidae**. In Cumming, J.M.; Wood, D.M. Manual of Central America Diptera. National Research Council of Canada Monograph Publishing Program. Ottawa. v1. 2009.

GAGNÉ, R.J.; JASCHHOF, M. **A Catalog of the Cecidomyiidae (Diptera) of the World**. 3rd Edition. Digital version 2. 2014.

GAKU, A.; KEITO, K.; AYAKO, I.; MANA MUKAI, R.O., KANEHIRO KITAYAMA, Y.O. Leaf trichomes in *Metrosideros polymorpha* can contribute to avoiding extra water stress by impeding gall formation, **Annals of Botany**, Volume 125, Issue 3, 14 February 2020, Pages 533–542, <https://doi.org/10.1093/aob/mcz196>

GONÇALVES-ALVIM, S.J.; FERNANDES, G.W. Comunidades de insetos galhadores (Insecta) em diferentes fisionomias do cerrado em Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia** 18: 289–305, 2001

HARTLEY, SE. The chemical composition of plant galls: are levels of nutrients and secondary compounds controlled by the gall-former? **Oecologia** 113: 492-501, 1998

HODKINSON, IAN. **The biology and ecology of the gall-forming Psylloidea (Homoptera)** 1984.

ISAIAS, R.; ARRIOLA, I.; COTRIM COSTA, E.; BRAGANÇA, G.; CARNEIRO, R. **(Mi)galhas na conservação: plantas ameaçadas indicam galhadores ameaçados na flora do Brasil**. In: Indicadores ambientais e conservação da biodiversidade. 2021.

JULIÃO, G. R.; M. E. C. AMARAL & G. W. FERNANDES. Galhas de insetos e suas plantas hospedeiras no Pantanal Pantanal Sul-Matogrossense. **Naturalia** 27: 47-74 2002.

LAMBKIN, C.L.; SINCLAIR, B.J.; PAPE, T.; COURTNEY, G.W.; SKEVINGTON, J.H.; MEIER, R.; YEATES, D.K.; BLAGODEROV, V.; WIEGMANN, B.M. The phylogenetic relationships among infraorders and superfamilies of Diptera based on morphological evidence. **The Royal Entomological Society, Systematic Entomology**, 1-15, 2012.

LA SALLE, J. Gall-inducing Coleoptera In: RAMAN, A.; SCHAEFER, C. W.; WITHERS, T. M. (Ed.). *Biology, ecology, and evolution of gall-inducing arthropods*. New Hampshire: **Science**, 2005. v. 1, p. 239-271.

LUZ, G.R.; FERNANDES, G.W.; SILVA, J.O.; NEVES, F.S. & FAGUNDES, M. 2012. Galhas de insetos em habitats xérico e méxico em região de transição Cerrado-Caatinga no norte de Minas Gerais, Brasil. **Neotropical Biology and Conservation** 7: 171–186.

MAIA, V.C. The gall midges (Diptera, Cecidomyiidae) from three restingas of Rio de Janeiro State, Brazil. **Revista Brasileira de Zoologia** 18: 583-629, 2001.

MAIA V. C. & G. W. Fernandes. Insect galls from Serra de São José (Tiradentes, MG, Brazil). **Revista Brasileira de Biologia** 6: 423-445, 2004.

MAIA, V. C. Clinodiplosis costai, a new galler species (Diptera, Cecidomyiidae) associated with Paullinia weinmanniaefolia Mart. (Sapindaceae). **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, Brasil, v. 22, n.3, p. 676-679, 2005.

MAIA, V. C. Coleopterous galls from the Neotropical region. **Papéis avulsos de zoologia** (ONLINE), v. 52, p. 175-184, 2012.

MAIA V. C.; SILVA, L. O. Insect galls of Restinga de Marambaia (Barra de Guaratiba, Rio de Janeiro, RJ). **Braz. J. Biol.**, 76: 787-795, 2016.

MAIA, V. C. Galhas de insetos em restingas da região sudeste do Brasil com novos registros. **Biota Neotropica**, 13: 183-209, 2013.

MAIA, V.C. Insect galls of Itamonte (Minas Gerais, Brazil): characterization and occurrence. **Biota Neotropica**, 14(1):1–17 2014.

MAIA, V. C.; OLIVEIRA, J. C. Insect galls of the Reserva Biologica Estadual da Praia do Sul (Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ). **Biota Neotropica**, 10: 227-238, 2010.

MAIA, V.C. 2005. Catálogo dos Cecidomyiidae (Dipetra) do Estado do Rio de Janeiro. **Biota Neotropica** 5 (2): 189-203.

MAIA, V.C. & SOUZA, M.C. Insect galls of the xeric vegetation of Ilha do Cabo Frio (Arraial do Cabo, RJ, Brazil). **Biota Neotropica**. 13 (3) 2013

MENDONÇA, M. J.; TOMA, T.S.P.; DA SILVA, J. S. Galls and Gallling arthropods of Southern Brazil. In: Fernandes, G.W. & Santos, J.C. Ed(s). **Neotropical Insects Galls**. Springer, 2014 edition (June 26, 2014). p. 221-256, 2014

MEYER, J. **Plant galls and gall inducers**. Berlin: Gebruder Borntraeger, 1987. 291p

MOREIRA, R.G., FERNANDES, G.W., ALMADA, E.D. & SANTOS, J.C. Gallling insects as bioindicators of land restoration in an area of Brazilian Atlantic Forest. **Lundiana**, 8: 107-112, 2007.

NOGUEIRA, R.M.; COSTA, E.C.; CARVALHO-FERNANDES, S.P; SANTOS-SILVA, J. Galhas de insetos da Serra Geral, Caetité, Bahia, Brasil. **Biota Neotrop**. [online]. 2016, vol.16, n.1, e20150035. Epub Mar 18, 2016. ISSN 1676-0611. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2015-0035>.

OLIVEIRA DC, ISAIAS RMS (2009) Influence of leaflet age in anatomy and possible adaptive values of the gall of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae: Caesalpinioideae). **Rev. Biol. Trop.** 57(1). In Press.

OLIVEIRA, D.C.; ISAIAS, R.M.S. **Galls as fascinating models in biological studies**. In: Annals of the 2nd Symposium on the Biology of Galls. Anais... Rio de Janeiro(RJ) UFRJ, 2021. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/2ndbiologyofgalls/334232-GALLS-AS-FASCINATING-MODELS-IN-BIOLOGICAL-STUDIES>>. Acessado em 01 de outubro.

OLIVEIRA, J.C.; MAIA, V.C. Ocorrência e Caracterização de galhas de insetos na Restinga de Grumari (Rio de Janeiro, RJ, Brasil). **Arq. Mus. Nac.** 63(4):669-675, 2005.

PEREA R, DIRZO R, BIELER S, WILSON FERNANDES G. Incidence of Galls on Sympatric California Oaks: Ecological and Physiological Perspectives. **Diversity**. 2021; 13(1):20. <https://doi.org/10.3390/d13010020>

PEREIRA-COLAVITE, A.; URSO-GUIMARAES, M.V. Nova espécie de *Dasineura* Rondani, 1840 (Diptera, Cecidomyiidae) em capítulos de *Hypochaeris chillensis* (Kunth) Britton (Asteraceae) para o Brasil. **Pap. Avulsos Zool.** (São Paulo), São Paulo, v. 53, n. 4, p. 59-66, 2013.

PRICE, P.W. Adaptative radiation of gall-inducing insects. **Basic. Appl. Ecol.** 6:413-421. 2005.

PRICE, P. W.; G. L. WARING & G. W. FERNANDES. Hypotheses on the adaptive nature of galls. **Proceedings of the Entomological Society of Washington** 88: 361–363, 1986.

RAMALHO, V. F.; SILVA, A. G. Modificações bioquímicas e estruturais induzidas nos tecidos vegetais por insetos galhadores. **Natureza on line.** ISSN 1806–7409. 8 (3): 117-122.

RAMAN, A.; SCHAEFER, C. W; WITHERS, T. M. **Biology, ecology, and evolution of gall-inducing arthropods**, Science Publishers 2: 817, 2005.

RANJITH, A. P. et al. Completely predatory development is described in a braconid wasp. **Scientific reports**, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2022.

REDFERN, M. **Plant and Galls**. Collins: London. 2011.

SANDERSON, E. W et al. The human footprint and the last of the wild. **Bioscience** 52: 891-904, 2002.

SANTOS, J.C.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; FERNANDES, G.W. Richness of gallinducing insects in the tropical dry forest (caatinga) of Pernambuco. **Rev. Bras. de Entomol** 55: 45–54, 2011.

SAITO, V.S. and URSO-GUIMARÃES, M.V. Characterization of galls, insect galls and associated fauna of Ecological Station of Jataí (Luiz Antônio, SP). **Biota Neotropica**, 12: 99-107, 2012.

SHRESTHA, Nawal et al. Vulnerabilities of protected lands in the face of climate and human footprint changes. **Nature communications**, v. 12, n. 1, p. 1-9, 2021.

STIREMAN JO, DEVLIN H, CARR TG, ABBOT P. 2010. Evolutionary diversification of the gall midge genus *Asteromyia* (Cecidomyiidae) in a multitrophic ecological context. **Mol. Phylogenet. Evol.** 54:194–210.

STONE, G. N.; SCHÖNROGGE K. The adaptive significance of insect gall morphology. **Trends Ecol Evol.** 18: 10, 2003.

TABARELLI, M. Dois Irmãos: **o desafio da conservação biológica em fragmento de floresta tropical**. Pp. 311-323, in: MACHADO, I.C., A.V. LOPES & K.C. PÔRTO (orgs.) Reserva Ecológica de Dois Irmãos: estudos em um remanescente de Mata Atlântica em área urbana (Recife _ Pernambuco _ Brasil). Editora Universitária da UFPE, Recife. 1998.

TABARELLI, M. & A. VICENTE. 2003. **Conhecimento Sobre Plantas Lenhosas da Caatinga: lacunas geográficas e ecológicas**, p. 101-112 In: Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias (SILVA, J.M.C, M. TABARELLI, M.F, FONSECA & L.V. LINS, orgs.). MMA, Brasília, DF

URSO-GUIMARÃES, M.V.; SCARELI-SANTOS, C. & BONIFÁCIO-SILVA, A.C. Occurrence and characterization of entomogen galls in plants from natural vegetation areas in Delfi nópolis, MG, Brazil. **Brazilian Journal of Biology** 63(4): 705-715. 2003

VENTER, O. et al. **Global terrestrial Human Footprint maps for 1993 and 2009**. Sci Data. 2016 Aug 23;3:160067. doi: 10.1038/sdata.2016.67.

VELLOSO AL, SAMPAIO EVSB, PAREYN FG. C. Ecorregiões propostas para o bioma caatinga. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental, The Nature Conservancy do Brasil, 2002. 76 p.

WALTER, S.A. 30 years of research on insect galls in Brazil: a scientometric review.

Articles. Pap. Avulsos Zool. 58. 2018. <https://doi.org/10.11606/1807-0205/2018.58.34>

CAPÍTULO 1

Manuscrito submetido ao periódico Biota Neotropica em 22/09/2022. Aceito para publicação em 29/03/2023.

OCCURRENCE and characterization of entomogenous galls in dry forest remnants (caatinga) in the Northern Depressão Sertaneja, Brazil

OCORRÊNCIA e caracterização de galhas entomógenas em remanescentes de floresta seca (caatinga) na Depressão Sertaneja Setentrional, Brasil

Rafael Aguiar Marinho¹, Maria Regina de Vasconcelos Barbosa¹, Valéria Cid Maia²

¹ Federal University of Paraíba, Graduate Program in Biological Sciences, Center for Exact and Natural Sciences, Department of Systematics and Ecology, Laboratory of Plant Taxonomy, Campus I Allotment Cidade Universitaria, 58051-900, PB, Brazil

.

² Department of Entomology, National Museum, Federal University of Rio de Janeiro, Quinta da Boa Vista, s/n, São Cristóvão, 20940-040 Rio de Janeiro, RJ, Brazil

Correspondence to: Rafael Aguiar Marinho E-mail: rafa_paraibano@hotmail.com

Abstract

A survey and the characterization of entomogenous galls were carried out in six remnants of caatinga in the Setentrional Sertaneja Depression in the states of Paraíba, Rio Grande do Norte and Ceará. We identified 41 gall morphotypes in 24 plant species, belonging to 12 botanical families. Fabaceae presented 29.2% (n=12) of the total number of gall morphotypes found. Leaves (61%) and stems (25%) were the most attacked organs. Most morphotypes are glabrous (75.6%), while only 24.4% exhibit trichomes. Most galls were induced by insects of the Cecidomyiidae family. The associated fauna comprised successors, cecidophages, tenants, and parasitoids. The first was found in four morphotypes of galls, being represented by spiders and four orders of insects: Hemiptera, Coleoptera, Lepidoptera, and Hymenoptera (Formicidae). The tenants were represented by Tanaostigmoides Ashmead, 1896 (Tanaostigmatidae). The parasitoids, found in 18 morphotypes (43.9%), were represented by six families of Hymenoptera. We recorded the occurrence of new types of galls in 12 species of host plants. Gall records also are new references for the Northern Sertaneja Depression in the studied states.

Key words: Caatinga, Cecidomyiidae, semiarid, galls, morphotype, parasitoids

Resumo

Realizou-se um levantamento e caracterização de galhas entomógenas em remanescentes de caatinga presentes na Depressão Sertaneja Setentrional. Foram selecionados duas localidades no estado da Paraíba, dois no Rio Grande do Norte e dois no Ceará. Identificamos 41 morfotipos de galhas em 24 espécies de plantas, pertencentes a 12 famílias botânicas. A Família Fabaceae abrigou 29,2% (n= 12) do total de morfotipos de galhas encontrados. As folhas (61%) e os caules (25%) foram os órgãos mais atacados. A maioria dos morfotipos é glabra (75,6%), enquanto apenas 24,4% exibiram tricomas. As galhas, em sua maioria, foram induzidas por insetos da família Cecidomyiidae. A fauna associada compreendeu sucessores, cecidófagos, inquilinos e parasitoides. Os primeiros foram encontrados em quatro morfotipos de galhas, estando representados por aranhas e quatro ordens de insetos: Hemiptera, Coleoptera, Lepidoptera e Hymenoptera (Formicidae). Os inquilinos foram representados por Tanaostigmoides Ashmead, 1896 (Tanaostigmatidae). Já os parasitoides, encontrados em 18 morfotipos de galhas (43,9%), foram representados por seis famílias de Hymenoptera. Registramos a ocorrência de novos tipos de galhas em 12 espécies de plantas hospedeiras. Os registros de galhas também são novas referências para a Depressão Sertaneja Setentrional nos estados estudados.

Palavras-chave: Caatinga, Cecidomyiidae, semiárido, galhas, morfotipo, parasitoides

1 Introduction

Some plants can undergo alterations in plant tissues, caused by parasitic insects, causing the formation of structures known as galls (Hartley 1998). Any organ of the host plant, regardless of its architecture, can have its tissue gall under the influence of the parasitic agent, which makes this association one of the most complex in the natural world (Shorthouse et al. 2005).

The emergence of galls is one of the most immediate responses of plants to the actions of herbivores and, therefore, it is a model capable of revealing important and quantifiable ecological patterns (Fonseca & Fleck 2007). Inside the gall, the immature forms of the insects receive protection against the effect of several abiotic factors, which vary in intensity according to the biome where they occur (Stone & Schönrogge 2003, Raman et al. 2005).

Among galling insects, the Cecidomyiidae (Diptera) present the highest radiation of the endophytic habit, establishing complex trophic interactions with plants, symbiotic fungi, and predators, which makes them important sources of ecological information (Stireman et al. 2010). They constitute a very diverse family, with ca. 6,500 described species (Gagné & Jaschhof (2021), most of which are gall-inducing.

Galls in the Caatinga biome began to be investigated more recently, with the first survey dating from 2011 (Santos et al. 2011). Currently there are data for the states of Ceará, Pernambuco, Alagoas, and Bahia (Carvalho-Fernandes et al. 2012, Costa et al. 2014b, Nogueira et al. 2016, Alcantara et al. 2017, Brito et al. 2018). However, the aspect that stands out about the occurrence of galls in this biome is the limited knowledge and the low number of inventories when compared to other Brazilian biomes (Araújo et al. 2019).

The Brazilian caatinga is considered one of the largest areas of seasonally dry tropical forests (Pennington et al. 2001). It is composed of a mosaic of dry forests and tree-shrub vegetation with thorns. According to Velloso et al. (2002), its most typical vegetation is found in the Sertaneja Depression (Depressão Sertaneja), part in the north and part in the south of the biome, divided by mountains that form true geographic barriers. The severe abiotic conditions, inherent to the Depressão Sertaneja, make these Caatinga ecoregions unique for studies with galling insects, finding variations in the occurrence of galls or even patterns of diversity.

Potentially, the Caatinga may have a galling fauna so relevant ecologically as already detected in the Cerrado (Gonçalves-Alvim & Fernandes. 2001, Araújo et al. 2013, Costa 2016) and in Caatinga-Cerrado transition zones. (Costa et al. 2014a, Nogueira et al. 2016).

In the present study, six areas included in the Sertaneja Septentrional Depression, two in the state of Paraíba, two in Ceará, and two in Rio Grande do Norte, were selected to inventory and characterize the occurrence of galls and their associated fauna.

2 Materials and Methods

2.1 Study area

The study area is the Northern Sertaneja Depression (Figure 1). According to (Velooso et al 2002), this ecoregion has a hot and semi-arid climate, the soil is shallow, stony, of crystalline origin, with medium to high fertility, and very susceptible to erosion. The predominant phytophysognomy is shrub-tree, quite degraded, except in the few Conservation Units that still resist anthropic degradation.

In this region, six locations were selected: two in the state of Paraíba, both located in the Cariri Paraibano - The Experimental Station of the Federal University of Paraíba (EESJCariri) in the municipality of São João do Cariri, and the Private Natural Heritage Reserve (RPPN) Fazenda Almas (RPPN Almas), located in the municipality of São José dos Cordeiros; two in the state of Rio Grande do Norte - RPPN Stoessel de Brito (RPPN Stoessel), in the municipality of Jucurutu, and the National Forest (Flona) de Açú (Flona), in the municipality of Açú; two in Ceará - the RPPN Olho d'água do Urucu, in the municipality of Parambu, and the RPPN Não me Deixes, in the municipality of Quixadá.

2.2 Sampling

The sampling of galls and host plants was conducted during two rainy seasons, from February to June 2019, and from February to May 2021, totaling 9 months in the field. In each area, 10 transects measuring 4 x 50 m, 100 meters apart from each other, were plotted. In each transect, for better orientation and surveying, a straight orientation line was plotted with the aid of a compass, and every 10 meters wooden

stakes of 1.20 m in height were inserted in the ground. All tree, shrub, and subshrub plants inside the transect, with a minimum height of 1m and a maximum of 3m, were quantified and marked. Two people inspected the transects for at least one hour each for visualization and collection of galls, making a total of 10 hours of minimum sampling effort per area. The galls found were photographed in the field. The plants that presented galls on leaves, or other visually identifiable organs, had their leaves and/or structures collected and stored in individual plastic bags with field identification. Subsequently, exsiccates of all species of plants collected were prepared, aiming at their identification.

In the laboratory, the galls were separated by morphotype, and part of the samples was dissected under a stereomicroscope to verify the number of internal chambers, and obtain immature specimens, if present. These immatures were preserved in 70% ethanol and placed in labeled microtubes. The remaining samples were destined for the creation of galling insects and possible associated fauna (parasitoids, predators, tenants, kleptoparasites, and successors). To this end, each gall morphotype was placed in labeled plastic pots lined with moistened paper (for species whose pupa occurs in the gall) or containing soil from the area itself (for species whose pupa occurs in the soil). The pots were inspected daily and each adult that emerged was captured using alcohol shots with a plastic pipette. All material obtained from breeding in the laboratory was also preserved in 70% ethanol. The Cecidomyiidae (Diptera) were prepared and mounted on permanent microscopy slides (Gagné 1994) and identified at the Entomology Laboratory at the Rio de Janeiro National Museum (MNRJ). Gagné's keys (Gagné 1994) were used to identify the genera. For species identification, we used information from the host plant, gall morphotypes, and species descriptions. Microhymenoptera were identified at family and genus levels by Dr. Maria Antonieta Pereira de Azevedo (Collaborating Researcher, National Museum), according to Gibson's classification key (Gibson 1997). Hymenoptera obtained only in the larval or pupal stage remained in order level. All insects were deposited in the Entomology collection of MNRJ.

The galls were characterized, in the laboratory, by color, shape, presence or absence of trichomes (hairy or glabrous), as well as the leaf surface on which they were found (adaxial, abaxial, both or intralaminar). To standardize the forms of the galls, we adopted the terminology of Isaias et al. (2013). Maximum specificity was

considered in the separation of morphotypes so that similar galls in different plant species were classified as different morphotypes (Carneiro et al. 2009).

The identification of host plants was performed at Herbarium JPB, in the Department of Systematics and Ecology of the Federal University of Paraíba (UFPB).

3 Results

Forty-one gall morphotypes were obtained in 24 plant species, belonging to 12 botanical families (Table 1). Among the host plants, 23 are native and only *Lantana camara* L. is naturalized. Among the native species, six are endemic to the Caatinga: *Cenostigma pyramidale* (Tul.) E.Gagnon & G.P.Lewis; *Manihot dichotoma* Ule; *M. catingae* Ule; *Varronia leucocephala* (Moric.) J.S.Mill.; *Spondias tuberosa* Arr.; and *Cynophalla flexuosa* (L.) L. Others also occur in the Cerrado, such as *Allophylus quercifolius* (Mart.) Radlk. and *Croton echinoides* Baill. *Capsicum parvifolium* Sendtn. also occurs in the Atlantic Forest.

The greatest richness of host plants was recorded in RPPN Almas, with 14 species distributed in 10 families. In the RPPN Olho do Urucu, seven host species, belonging to five families, were identified. The EESJ Cariri presented the lowest richness, with only two species of host plants, in two botanical families (Table 1).

Fabaceae, Euphorbiaceae, and Verbenaceae presented the greatest richness of host plants, with Fabaceae harboring 29.2% (n=12) of the total number of gall morphotypes found. *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud. (Fabaceae) was the species with the highest gall richness, with five associated morphotypes, followed by *Lantana camara* (Verbenaceae) with four morphotypes. Therefore, these two species are indicated as super hosts. *Cenostigma pyramidale* and *Croton blanchetianus* Baill. were the only host species that occurred in all the six areas investigated. Leaves (61%) and stems (25%) were the most attacked organs.

Globoid and fusiform galls were the most frequent, each representing 34.1% of the total. Lenticular galls corresponded to 22%. Most morphotypes were glabrous (75.6%), while only 24.4% exhibited trichomes. As for color, green (58.5%) and gray (9.7%) prevailed. However, we observed that the color of two morphotypes varied over time. The globoid morphotype, present on the adaxial surface of the leaves of *Croton*

blanchetianus, varied from light green in the young stage to dark green or brown in its final stage. The clavate morphotype, present on the adaxial surface of *Manihot catingae* leaves, initially light green, later became red. Regarding the number of internal chambers, 32 morphotypes (78%) had a single chamber while only 9 (22%) had more than one.

Inducers of 21 morphotypes (51.21%) were identified at the family level. The others were not identified, either because the galls were empty, or with parasitoids, or even with some immature whose life habits were not determined. Adult gallers were obtained from only three morphotypes, all belonging to Cecidomyiidae (Diptera) and identified as: *Contarinia* sp. in *Desmodium tortuosum* (Sw.) DC. (Figure 3d); *Clinodiplosis* sp. in *Capsicum parvifolium* (Figure 3k); and *Schismatodiplosis lantanae* in *Lantana camara* (Figure 3i). Of other four morphotypes (Figures 2h, 2k, 3m, 3n), only *Clinodiplosini*'s larvae were obtained. In addition to these, adults of *Stomatosema* emerged from galls on *Croton echinoides* (Figure 2n), but that genus does not include cecidogenous species (Table 1).

The associated fauna comprised successors, cecidophages, tenants, and parasitoids. Successors, represented by spiders and four orders of insects - Hemiptera (one morphospecies), Coleoptera (Passelidae, one morphospecies), Lepidoptera (one morphospecies), and Hymenoptera (Formicidae - two morphospecies), were found in four morphotypes of galls. One gall morphotype presented *Stomatosema* sp. (Cecidomyiidae), but, considering that this genus does not include galling species, this individual was considered a cecidophage. The tenants were represented by *Tanaostigmoides* Ashmead, 1896 (a morphospecies) (Tanaostigmatidae). The parasitoids, found in 18 morphotypes of galls (43.9%), were represented by six families of Hymenoptera: Eulophidae (five morphospecies), Braconidae (one), Eupelmidae (one), Eurytomidae (one), Torymidae (one) and Pteromalidae (one).

Parasitoids were found in globoid, fusiform, lenticular, and leaf fold galls, being more frequent in globoid (57.1%) and fusiform (42.8%) galls. Eight families of plants hosted parasitoids, among them Fabaceae, Euphorbiaceae, and Verbenaceae that together represented 37.5% of the records. Other parasitoids were found in other gall morphotypes, but as only larvae were obtained, they could not be separated into morphospecies. The successors were found only in globoid galls, present in hosts

representing four botanical families - Euphorbiaceae, Fabaceae, Verbenaceae, and Vitaceae, being more diverse in Euphorbiaceae and Vitaceae.

The parasitoids were mainly obtained from galls on leaves (55.5%) and stems (38.9%). If we consider the total number of leaf galls, 37.5% of them were parasitized. Likewise, 53.8% of galls on the stems were parasitized. The successors were obtained from two morphotypes of leaf galls and two morphotypes of stem galls, at frequencies below 9% of the total number of galls in these organs.

Of the total number of unilocular galls (32), 11 presented parasitoids (34.4%) and two harbored successors (6.25%). Regarding the total number of multilocular galls (9), 7 galls contained parasitoids (77.8%), and 2 exhibited successors (22.2%). The occurrence of parasitoids was observed in the six areas investigated. RPPN Almas had the highest number of parasitized galls (66.7%).

Intense occurrence of multiparasitism was observed in globoid leaf galls of *Croton blanchetianus* and *Lantana camara*, both with two wasp morphospecies. On the other hand, the presence of more than one inquiline taxon was recorded in globoid leaf galls of *Croton blanchetianus* and globoid stem galls of *Cissus decidua*.

Considering that this is the first inventory of galls and their host plants carried out in areas of the Sertaneja depression in the states of Paraíba and Rio Grande do Norte, all records are new for these states. For the state of Ceará, all records are new, except for the morphotypes that occur in *Croton blanchetianus* (Figure 2k and 2i) and *Combretum leprosum* (Figure 2h) already selected in a previous study (see Alcantara et al. 2017). We also recorded the occurrence of new types of galls in 12 species of host plants, represented in the following illustrations: (Figures 2 - 2a, 2b, 2c, 2d, 2f, 2j, 2q) and (Figures 3 - 3d, 3e, 3h, 3j, and 3q).

4 Discussion

When comparing our results with the first gall inventory carried out in the Caatinga (Santos et al. 2011), we can observe differences in the richness of gall morphotypes, the composition of host plants, and the associated fauna. However, regarding the presence of parasitism in certain plant families, the results are similar. Santos et al (2011) inventoried eight areas in the state of Pernambuco, included in the

Meridional (south) Sertaneja Depression and Borborema Plateau ecoregions, including Vale do Catimbau National Park and two state parks. They found 64 morphologically distinct types of insect galls in 48 species of host plants, belonging to 31 genera and 17 families. In our research, we found 41 gall morphotypes in 24 plant species and recognized Fabaceae and Euphorbiaceae as super host families. In this case, the variation in morphotype richness may be partially associated with differences in floristic composition in the ecoregions of the Northern and Southern Sertaneja Depressions. In addition, Santos et al. (2011) adopted the random walk method (Fernandes & Negreiros 2006; Coelho et al. 2009, Silva et al. 2015), while we established systematically distributed transects as a way of minimizing interurrences of walking through more accessible or already open places.

Carvalho-Fernandes et al. (2012) found 25 morphotypes of galls distributed in 18 host species in areas in the Southern Sertaneja Depression, in the state of Alagoas. Their results revealed patterns like ours and those found by Santos et al (2011). Fabaceae, the family with the greatest richness in our study, was also in theirs, with eleven morphotypes.

Alcântara et al (2017) recorded only three host plants and 12 gall morphotypes in an area located in the Septentrional Sertaneja Depression. The low number of morphotypes may have been a consequence of the authors having established only three random plots of 10 m². In the same study, *Croton blanchetianus* was the most frequent species with the highest number of gall morphotypes, followed by *Cenostigma pyramidalis* and *Combretum leprosum* Mart., a result similar to ours, regarding the presence of Fabaceae and Euphorbiaceae as the main superhost families of the galling insects.

For Fernandes and Price (1988), factors such as latitude, elevation, temperature, and humidity strongly influence the diversity and distribution of galling species in the world. Variations in morphotype richness can, therefore, also be attributed to different climatic conditions that regulate each Caatinga ecoregion. As established by Veloso et al (2002), on a regional scale, the Caatinga was divided into eight ecoregions: Campo Maior Complex, Ibiapaba-Araripe Complex, Northern (septrentional) Sertaneja Depression, Borborema Plateau, Southern (meridional) Sertaneja Depression, São Francisco Dunes, Chapada Diamantina and Raso da Catarina. This division, according to the same authors, occurs in the face of factors

such as climatic seasonality, water availability (in soil and rainfall), relief, and geomorphology.

Our data indicated Fabaceae as the botanical family with the most galled species, which allows us to say that it constitutes a super host taxon for galling insects (Santos-Silva, & Araújo, 2020). Fabaceae is also the richest family in species in the Caatinga, occupying the second position in the Atlantic Forest, Cerrado, and Pantanal (Brazil Flora Group 2015). This high diversity and its prominence in relation to the number of gall host species and morphotypes was also recorded in other biomes such as the Cerrado (Gonçalves-Alvim and Fernandes 2001), Pantanal (Ascendino and Maia, 2018), Atlantic Forest and Chaco (Urso -Guimarães et al. 2017). According to Gagné (1994), Fabaceae stands out as the family with the greatest richness of galls related to Cecidomyiidae in the Neotropical region. Furthermore, since Fabaceae is the most important host family in the semiarid region, the present study adds evidence in favor of the taxon size hypothesis, which predicts that the richness of gall morphotypes is greater in plant families with a greater number of species (Veldtman & Mcgeoch, 2003; Mendonça Júnior 2007).

The prevalence in our study of gall induction on leaves confirms the worldwide pattern observed since Felt (1940) and Mani (1964), and reinforced in previous inventories carried out in the Caatinga (Santos et al, 2011; Costa et al, 2014; Brito et al, 2018). As a general pattern, the globoid and fusiform morphotypes stood out as the most frequent. According to Isaias et al (2013), gall inventories completed in the Neotropical region point to globoid galls as the predominant morphotype.

Diptera, Cecidomyiidae, were the most frequent inducers in our study, as verified in previous surveys carried out in Brazil (Julião et al. 2002; Urso-Guimarães & Scareli-Santos, 2006; Luz et al. 2012, Maia & Siqueira, 2020). Thus, our results reinforce previous results and corroborate the hypothesis of Gagné and Jaschhof (2021), which points out Cecidomyiidae as the family with the greatest diversity of galling insects in the world.

In our study area, 78% of the galls did not present trichomes on their external surface. This result can be attributed to the particular characteristics of semi-arid regions, where the urgent need of the galling insect to defend itself from the action of parasitoids may force it to reinforce the gall structure to the detriment of the presence

of external trichomes. Although we did not assess this defensive role, the reported defense strategy may be applied, since a more intense attack by multiple parasitoids was verified in globoid leaf galls with trichomes. According to László et al (2014), larvae of inducers in smaller galls, with thinner walls, face the action of parasitoids more frequently, as they are closer to their ovipositors, thus becoming less secure. The presence of trichomes in the gall would have a better function in maintaining temperature and humidity, fundamental factors for the establishment and development of galls (Woodman & Fernandes 1991; Fernandes, 1994; Oliveira et al. 2006).

The larval chamber was unique in almost all morphotypes in our study, which is also in line with previous results on gall diversity in the Caatinga (Brito et al. 2018) and other biomes in Brazil, such as the Cerrado (Gonçalves- Alvim & Fernandes, 2001) and the Atlantic Forest (Fernandes et al., 2009). Regarding color, most galls were similar in color to the organ of the attacked plant, with a predominance of green on the leaves, as already observed by several authors (Bregonci et al., 2010; Santos et al., 2011, Bergamini et al. 2017, Ascendino & Maia 2018).

As for the associated fauna, Eulophidae, Eurytomidae, Braconidae, Eupelmidae, and Pteromalidae had already been recorded as parasitoids of galling insects in Brazil (Maia & Tavares 2000, Maia & Azevedo 2009, Bergamini et al 2017). In this sense, our data reinforce that the parasitoid guild is more frequent and diverse than the tenant and successor guilds (Maia & Siqueira, 2020). However, in *Cissus decidua* Lombardi, three orders were found (Coleoptera, Lepidoptera, and Hymenoptera), forming three new associations of successors in the Caatinga. Eulophidae was the most frequent parasitoid family in our study, as previously verified by Maia and Azevedo (2009) in the restinga.

The occurrence of micro-hymenoptera in several galls evidences the formation of a “plant-galler-parasitoid” tritrophic system (Araujo & Maia, 2021). However, there is a need for further investigation on the status of the micro-hymenoptera collected, since these organisms constitute a diverse taxon, of great importance for studies of interaction with galling insects. Many galling insects, originating from less antlered hosts, could not be identified due to the intense attack of micro-hymenoptera, which prevented the emergence of adult galls. This fact is recognized in the literature as one of the biggest obstacles to the success of taxonomic identification of galls (Maia et al. 2008).

According to Maia (2001), galls represent an important micro-habitat, where several trophic relationships are established. In the restinga areas of Rio de Janeiro, Maia and Azevedo (2009) found that the vast majority of microhymenopterans were parasitoids, but some of them, for example, the Tanaostigmatidae and some species of Torymidae and Eulophidae were gall tenants. According to Carvalho-Fernandes et al (2016), some species of micro-hymenoptera are found, as parasitoids, in galls induced by Cecidomyiidae, or even as phytophagous tenants, capable of altering the physical structure of galls. These results reinforce the need to elucidate and separate the role of parasitism and inquilinism in the plant-galler interaction observed in our results.

Price (2005) reported that many invertebrate organisms may be associated with galls. These organisms include predators, tenants, or successors, and are represented by many taxa, such as Acari, Collembola, Hymenoptera, Coleoptera, Lepidoptera, Thysanoptera, Diptera, Hemiptera, and Psocoptera (Bregonci et al., 2010).

In addition to the presence of parasitoids, many gall inducers in our work could not be identified, at the genus or species level, due to the absence of the male or female adult, as well as the stages of a complete series (larva, pupa, or pupal exuvia and adults), necessary for their identification. We point out the removal of leaves from the host plants, for gall sampling and insect rearing, as a factor that makes it difficult to obtain these individuals, since cutting off the flow of nutrients to the gall can make the development of the insect unfeasible.

5 Conclusions

There is a moderate occurrence of gall morphotypes in the Sertaneja Setentrional Depression Ecoregion, in the states of Paraíba, Ceará and Rio Grande do Norte. Results from previous studies, which recorded the Cecidomyiidae family as the main gall-inducing group in the Caatinga, were confirmed, as well as the high rate of parasitism by Hymenoptera.

Fabaceae was confirmed as the family with the highest number of galled species, an already recognized pattern. However, we recorded new associations

between host plant species, their galls, and successors, expanding the knowledge about galls in the caatinga.

The presence in the RPPNs of several plants endemic to the Caatinga, for which new gall records were registered in our study, indicates the importance of preserving these areas for the galling insect community. The new associations registered demonstrate the importance of inventories to provide information about the richness and diversity of galls in Brazil.

Acknowledgements

We thank the owners of the RPPNs for authorizing data collection in their properties, the Centro de Ciências Agrárias of UFPB for permission to collect data at the Experimental Station in São João do Cariri and ICMBio for authorizing collection in the Flona de Açú. We also thank the UFPB's Center for Exact Sciences and Nature, for providing vehicles for field trips, and to all the people who helped in the installation of the transects. We especially thank Prof. Dr. Marcos Carneiro (UFMG), for his suggestions on gall collection methods, and Dr. Maria Antonieta Pereira de Azevedo for the identification of Micro-hymenoptera. This article is part of the Doctoral Thesis by R. A. Marinho, at the Postgraduate Program in Biological Sciences/Federal University of Paraíba (PPGCB/UFPB).

Authors' Contribution

Role Authors

Conceptualization MR.

Validation VC, BM

Resources MR, BM, VC

Methodology MR, BM

Investigation MR

Writing – original draft manuscript preparation MR

Writing – review & editing manuscript BM, VC

Conflicts of Interest

The authors declares that they have no conflict of interest related to the publication of this manuscript

Ethics

This study did not involve human beings and/or clinical trials that should be approved by one Institutional Committee.

Data availability

The datasets generated during and/or analyzed during the current study are available at: <https://doi.org/10.48331/scielodata.IREBGF>

6 References

- AGRAWAL AA. 2004. Resistance and susceptibility of milkweed: competition, root herbivory, and plant genetic variation. *Ecology* 85: 2118-2133p.
- ALCÂNTARA JA, SOUZA EB & BRAGA PET. 2017. Ocorrência e caracterização de galhas em duas áreas do noroeste do Ceará, Brasil. *Natureza on line* 15:33-40.
- ARAÚJO WS, FERNANDES GW & SANTOS JC. 2019. An overview of inventories of gall-inducing insects in Brazil: looking for patterns and identifying knowledge gaps. *An Acad Bras Ciênc* 91(1): e20180162.
- ARAÚJO WS, SILVA IPA, SANTOS BB, GOMES-KLEIN V L. 2013. Host plants of insect-induced galls in areas of cerrado in the state of Goiás, Brazil. *Acta bot bras* 27: 537-542.
- ARAÚJO WS & MAIA VC. 2021. Topological structure of a tritrophic network composed of host plants, gall-inducing insects and parasitoids in a restinga area in Brazil. *Entomol Sci* 24: 1-16.
- ASCENDINO S. & MAIA VC. 2018. Insects galls of Pantanal areas in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil: characterization and occurrence. *An Acad Bras Ciênc*. 90: 1543-1564

- BERGAMINI BAR, BERGAMINI LL, SANTOS BB & ARAÚJO WS. 2017. Occurrence and characterization of insect galls in the Floresta Nacional de Silvânia, Brazil. *Pap Avul Zool* 57: 413-431.
- BFG - GRUPO BRASIL FLORA. 2015. Crescendo conhecimento: uma visão geral da diversidade de plantas com sementes no Brasil. *Rodriguésia* 66(4): 1085-1113
- BREGONCI JM, POLYCARPO PV, MAIA VC. 2010. Insect galls of the Parque Estadual Paulo César Vinha (Guarapari, ES, Brazil). *Biota Neotrop* 10:265-274. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000100023> (last access on 10/11/2021)
- BRITO GP, COSTA EC, CARVALHO-FERNANDES SP, & SANTOS-SILVA J. 2018. Riqueza de galhas de insetos em áreas de Caatinga com diferentes graus de antropização do estado da Bahia, Brasil. *Iheringia Ser Zool* 108
- CARNEIRO MAA, BORGES RAX, ARAÚJO APA. & FERNANDES GW. 2009. Insetos indutores de galhas da porção sul da Cadeia do Espinhaço, MG. *Rev. bras. entomol.* 53: 570-592.
- CARVALHO-FERNANDES SP, ALMEIDA-CORTEZ JS & FERREIRA ALN. 2012. Riqueza de galhas entomógenas em áreas antropizadas e preservadas de Caatinga. *Rev Árvore* 36: 269–277
- CARVALHO-FERNANDES SP, ASCENDINO S, MAIA VC AND COURI MS. 2016. Diversity of insect galls associated with coastal shrub vegetation in Rio de Janeiro, Brazil. *An Acad Bras Cienc* 88: 1407-1418
- COELHO MS, ALMADA EDG, FERNANDES W, CARNEIRO MAA, SANTOS RM, QUINTINO AV & SANCHEZ-AZOFEIFA GA. 2009. Gall inducing arthropods from a seasonally dry tropical forest in Serra do Cipó, Brazil. *Rev bras entomol* 53: 404-414.
- COSTA EC, CARVALHO-FERNANDES SP & SANTOS-SILVA J. 2014a. Galhas de insetos em uma área de transição Caatinga-Cerrado no Nordeste do Brasil. *Sitientibus: Série Ciências Biológicas* 14:1-9.
- COSTA EC, CARVALHO-FERNANDES SP & SANTOS-SILVA J. 2014b. Galhas entomógenas associadas à Leguminosae do entorno do riacho Jatobá, Caetité, Bahia, Brasil. *Rev bras de bioc* 12:115-120

FELT EP. 1940. Plant Galls and Gall Makers. Ithaca: Comstock Publishing Company. 361p

FERNANDES GW, COSTA-ARAUJO R, ARAUJO S, LOMBARDI JA, SILVA DE PAULA A, JÚNIOR RL & CORNELISSEN TG. 1997. Insect galls from savanna and rocky fields of the Jequitinhonha Valley, Minas Gerais, Brazil. *Naturalia* 22: 221-244.

FERNANDES GW & NEGREIROS D. 2006. A comunidade de insetos galhadores da RPPN Fazenda Bulcão, Aimorés, Minas Gerais, Brasil. *Lundiana*, 7:111-120.

FERNANDES GW & PRICE PW. 1988. Biogeographical gradients in galling species richness: tests of hypotheses. *Oecologia*. 76:161-167

FERNANDES SPC, CASTELO-BRANCO BP, ALBUQUERQUE FA, BRITO-RAMOS AB, FERREIRA ALN, BRAGA DVV & ALMEIDA-CORTEZ JS. 2009. Galhas entomógenas em um fragmento urbano de Mata Atlântica no centro de endemismo de Pernambuco. *Rev Bras Bioc* 7: 240-244.

FERNANDES GW. 1994. Plant mechanical defenses against insect herbivory. *Rev bras Entomol* 38: 421-433.

FLECK T & FONSECA CR. 2007. Hypotheses for the richness of gall insects: a review considering the intraespecific, interespecific and community levels. *Neotrop Biol Conserv* 2: 36–45

GAGNÉ RJ. 1994. The gall midges of the Neotropical Region, 1st ed., Cornell Univ Press: Ithaca, New York. 325p.

GAGNÉ RJ & JASCHHOF M. 2021. A Catalog of the Cecidomyiidae (Diptera) of the World. 5th ed. Digital. 813 pp.

GONÇALVES-ALVIM SJ & FERNANDES GW. 2001. Comunidades de insetos galhadores (Insecta) em diferentes fisionomias do cerrado em Minas Gerais, Brasil. *Rev bras Zool* 18: 289–305, 2001

HARTLEY SE. 1998. The chemical composition of plant galls: are levels of nutrients and secondary compounds controlled by the gall-former? *Oecologia* 113: 492-501.

ISAIAS RMS, CARNEIRO RGS, OLIVEIRA DC & SANTOS JC. 2013. Illustrated and annotated checklist of Brazilian gall morphotypes. *Neotrop Entomol* 42:230-239.

JULIÃO GR, AMARAL MEC & FERNANDES GW. 2002. Galhas de insetos e suas plantas Hospedeiras no Pantanal Sul Mato-Grossense. *Naturalia* 27: 47-74.

LÁSZLÓ Z, SÓLYOM K, PRÁZSMÁRI H, BARTA Z, TÓTHMÉRÉSZ B. 2014. Predation on Rose Galls: Parasitoids and Predators Determine Gall Size through Directional Selection. *Plos One* 9(6): e99806.

LUZ GR, FERNANDES GW, SILVA JO, NEVES FS & FAGUNDES M. 2012. Insect galls in xeric and mesic habitats in a Cerrado-Caatinga transition in northern Minas Gerais, Brazil *Neotrop Biol Conserv* 7(3): 171-187.

MAIA VC & TAVARES MT. 2000. *Cordiamyia globosa* Maia (Diptera, Cecidomyiidae), flutuação populacional e parasitóides (Hymenoptera) associados. *Rev Bras Zool.* 17: 589-593,

MAIA VC. 2001. The gall midges (Diptera, Cecidomyiidae) from three restingas of Rio de Janeiro State, Brazil. *Rev Bras Zool* 18: 583-629.

MAIA VC. 2013. Galhas de insetos em restingas da região sudeste do Brasil com novos registros. *Biota Neotrop*, 13: 183-209 <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000100021> (last access on 11/11/2021)

MAIA VC & AZEVEDO MAP. 2009. Micro-himenópteros associados com galhas de Cecidomyiidae (Diptera) em Restingas do Estado do Rio de Janeiro (Brasil). *Biota Neotrop* 9: 151-164. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000200015> (last access on 11/11/2021).

MAIA VC, MAGENTA MAG & MARTINS EM. 2008. Ocorrência e caracterização de galhas de insetos em áreas de restinga de Bertioga (São Paulo, Brasil). *Biota Neotrop* 8: 167-197 <https://doi.org/10.1590/S1676-06032008000100020> (last access on 09/11/2021).

MAIA VC & SIQUEIRA, ES. 2020. Insect galls of the Reserva Biológica União, Rio de Janeiro, Brazil. *Biota Neotrop*, 20(1) <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0758> (last access on 11/11/2021).

MANI, MS 1964. Ecology of Plant Galls. 1nd ed, Junk, Haia. 434p

MENDONÇA MS. 2007. Plant diversity and galling arthropod diversity searching for taxonomic patterns in an animal-plant interaction in the neotropics. B Soc Arg Bot 42(3-4): 347-357.

NOGUEIRA RM, COSTA EC, CARVALHO-FERNANDES SP & SANTOS-SILVA J. 2016 Insect galls from Serra Geral, Caetité, BA, Brazil. Biota Neotrop 16:1. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2015-0035> (last access on em 12/11/2021)

OLIVEIRA DC, CHRISTIANO JCS, SOARES GLG & ISAIAS RMS. 2006. Reações de defesas químicas e estruturais de *Lonchocarpus muehlbergianus* Hassl. (Fabaceae) à ação do galhador *Euphalerus ostreoides* Crawf. (Hemiptera: Psyllidae). Braz J Bot 29: 657-667.

PENNINGTON RT, PRADO DE, and PENDRY CA. 2000. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. J Biogeogr 27: 261-273.

PRICE PW. 2005. Adaptative radiation of gall-inducing insects. Basic. Appl Ecol 6:413-421.

PRICE PW, FERNANDES GW, LARA ACF, BRAWN J, GERLING D, BARRIOS H, WRIGHT MG, RIBEIRO SP & ROTHCLIFF N. 1998. Global patterns in local number of insect galling species. J Biogeogr 25:581-591.

RAMAN A, SCHAEFER CW, WITHERS TM. 2005. Biology, ecology, and evolution of gall-inducing arthropods. 2nd ed. The Sci Publis 2: 817.

SANTOS JC, ALMEIDA-CORTEZ JS & FERNANDES GW. 2011. Richness of gallinducing insects in the tropical dry forest (caatinga) of Pernambuco. Rev. Bras. de Entomol 55: 45–54, 2011.

SANTOS-SILVA, J, & ARAÚJO TJ. 2020. Are Fabaceae the principal super-hosts of galls in Brazil? An Acad Bras Cienc 92(2): e20181115.

SHORTHOUSE JD, WOOL D & RAMAN A. Gall-inducing insects: nature's most sophisticated herbivores. Basic Appl Ecol 6: 407-411, 2005.

SILVA TM, SANTOS AW, SANTOS BB. 2016. Ocorrência e caracterização de galhas de insetos em um fragmento de mata semicaducifolia do Campus Samambaia, Goiânia, GO, Brasil. *J Neotrop Biol* 12(1): 26–38

STONE GN, SCHÖNROGGE K. 2003. The adaptive significance of insect gall morphology. *Trends Ecol Evol* 18: 10.

STIREMAN JO, DEVLIN H, CARR TG, ABBOT P. 2010. Evolutionary diversification of the gall midge genus *Asteromyia* (Cecidomyiidae) in a multitrophic ecological context. *Mol Phylogenet Evol* 54:194–210.

URSO-GUIMARÃES MV, CASTELLO ACD, KATAOKA EY & KOCH I. 2017. Characterization of entomogen galls from Mato Grosso do Sul, Brazil. *Rev Bras Entomol* 61: 25-42.

URSO-GUIMARÃES MV & SCARELI-SANTOS C. 2006. Galls and gall makers in plants from the Pé-de-Gigante Cerrado Reserve, Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil. *Braz J Biol* 66(1b): 357-369.

VELDTMAN R & MCGEOCH MA. 2003. Gall-forming insect species richness along a non-scleromorphic vegetation rainfall gradient in South Africa: The importance of plant community composition. *Austral Ecol* 28 (1): 1-13.

VELLOSO AL, SAMPAIO EVSB, PAREYN FG. C. Ecorregiões propostas para o bioma caatinga. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental, The Nature Conservancy do Brasil, 2002. 76 p.

WOODMAN RL & FERNANDES GW. 1991. Differential mechanical defense: herbivory, evapotranspiration and leaf-hairs. *Oikos* 60: 11-19

LEGENDS

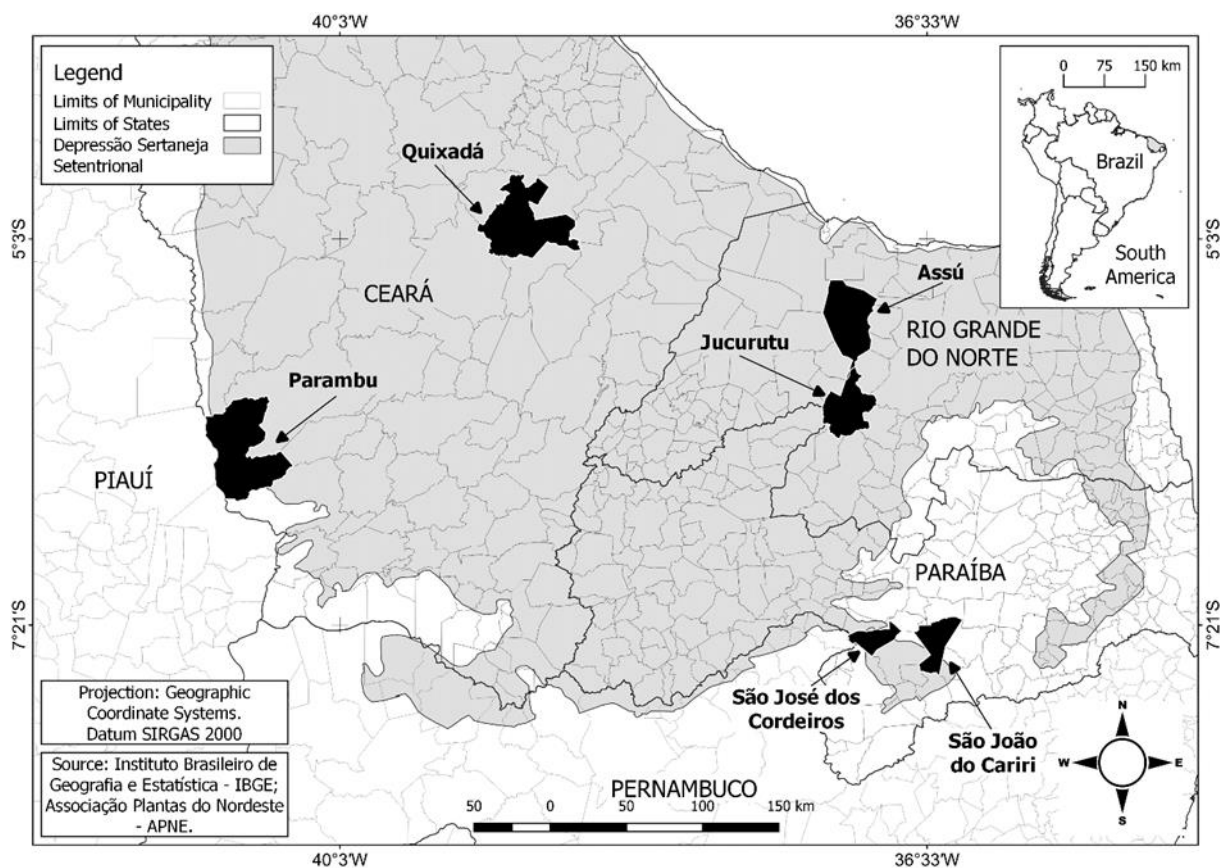


Figure 1 – Location Map of the six study areas included in the Setentrional Sertaneja Depression, Brazil. Source: Map prepared by Maurício Oliveira dos Santos (Technologist), 2021.

Tabela I Characterization of insect galls in six areas of tropical dry forest (caatinga) in the Depressão Sertaneja Setentrional, Northeastern Brazil. Legends: P= parasitoid, S= successor, C= Cecidófago, I= Inquilino; AL= RPPN Almas, FL=Flona de Açu, ND= RPPN Não me deixes, OL= RPPN Olho do Urucu, SB= RPPN Stoessel de Brito, SC= EE São João do Cariri

*New record

Family/species	Organ	Leaf face	Shape	Color	Trichomes	Occurrence	Chambers	Inductor insect	Associated fauna	Site	Figure
Anacardiaceae											
<i>Spondia tuberosa</i> Arruda	Stem	---	Fusiform	Gray	No	Isolated	various	Undetermined	Undetermined	AL	2-a
Bignoniaceae											
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC) Mattos	Stem	---	Fusiform	Gray	No	Grouped	various	Undetermined	Undetermined	ND	2-b
<i>Handroanthus serratifolius</i> Vahl	Stem	---	Globoid	Green	No	Isolated	various	Cecidomyiidae	Tanaostimatidae (I)/ Torymidae (P) (Hymenoptera)	FL	2-c
Boraginaceae											
<i>Cordia glazioviana</i> Taub.	Leaf fold	Adaxial	Lenticular	Green	No	Isolated	one	Cecidomyiidae	Undetermined	OL	2-d
<i>Varronia leucocephala</i> (Moric.) J.S.Mill.	Leaf fold	Abaxial	Fusiform	Green	No	Isolated	one	Cecidomyiidae	Undetermined	AL	2-e
Burseraceae											
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	Bud	---	Fusiform	Green	Yes	Grouped	one	Undetermined	Hymenoptera (P)	AL	2-f
Capparaceae											
<i>Cynophalla flexuosa</i> L.	Leaf fold	Adaxial	Lenticular	Green	No	Grouped	one	Undetermined	Undetermined	SB	2-g
Combretaceae											
<i>Combretum leprosum</i> Mart.	Stem	---	Fusiform	Green	No	Isolated	various	Clinodiplosini (Cecidomyiidae)	Galeopsomyia sp (P) Pteromalidae (P) Scelionidae (P) (Hymenoptera)	AL, ND	2-h

	Leaf fold	Adaxial	Globoid	Green	No	Isolated	one	Cecidomyiidae	Undetermined	AL	2-i
	Leaf fold	Intralaminar	Lenticular	Green	No	Isolated	one	Cecidomyiidae	Undetermined	ND	2-j
Euphorbiaceae											
<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	Leaf fold	Adaxial	Globoid	Green	Yes	Isolated	one	Clinodiplosini (Cecidomyiidae)	Aranae (S)/Hemiptera (S)/ Eulophidae (P)/ Galeopsomyia sp (P)/ Torymidae (P)/ Eurytomidae (P)/Braconidae (Hymenoptera)	AL, SJ, SB, FL, ND, OL	2-k
	Leaf fold	Adaxial	Globoid	Green	No	Isolated	one	Cecidomyiidae	Undetermined	AL	2-l
<i>Croton adenocalyx</i> Baill.	Stem	---	Fusiform	Yellow	No	Isolated	one	Undetermined	Undetermined	ND	2-m
<i>Croton echinoides</i> Baill.	Leaf fold	Adaxial/abaxial	Globoid	Green	Yes	Isolated	one	Cecidomyiidae	<i>Stomatosema</i> sp (C) Eulophidae (P)/Eupelmidae (P) (Hymenoptera)	AL, OL	2-n
	Leaf fold	Intralaminar	Lenticular	Green	Yes	Isolated	one	Cecidomyiidae	Eulophidae (P) (Hymenoptera)	AL	2-o
	Stem	---	Fusiform	Green	No	Isolated	one	Cecidomyiidae	Hymenoptera (P)	AL	2-p
<i>Manihot catingae</i> Ule	Leaf fold	Adaxial	Globoid	Green	No	Grouped	various	Cecidomyiidae	Eulophidae (P) (Hymenoptera)	AL	2-q
	Leaf fold	Adaxial	Clava	Green/Red	No	Isolated	one	Cecidomyiidae	Eulophidae (P) (Hymenoptera)	AL	2-r
<i>Manihot dichotoma</i> Ule	Leaf fold	Adaxial	Clava	Green	No	Isolated	one	Cecidomyiidae	Undetermined	SB, ND	2-s
Fabaceae											
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	Leaf Fold	Adaxial	Globoid	Green	Yes	Isolated	one	Undetermined	Undetermined	AL	2-t
	Leaf Fold	Adaxial	Globoid	Green	No	Isolated	one	Undetermined	Undetermined	SB	2-u

	Leaf Fold	Adaxial	Fusiform	Red/Green	No	Isolated	one	Cecidomyiidae	<i>Eurytoma</i> sp (P)/ <i>Dimeromicrus cecidomyiae</i> (P) (Hymenoptera)	AL, SB	2-v
	Vein	Abaxial	Globoid	Green	Yes	Isolated	one	Undetermined	Undetermined	SB	2-w
	Leaf Fold	Intralaminar	Lenticular	Green	No	Isolated	one	Undetermined	Undetermined	SB	2-x
<i>Cenostigma pyramidale</i> (Tul.) E.Gagnon & G.P.Lewis	Leaf fold	Adaxial	Lenticular	Green	No	Isolated	one	Undetermined	Undetermined	ND	3-a
	Stem	---	Globoid	Gray	No	Isolated	various	Undetermined	Formicidae (S)/ Hymenoptera (P)	AL,SJ ND,OL FL, SB	3-b
	Leaf fold	Intralaminar	Lenticular	Green	Yes	Isolated	one	Undetermined	Undetermined	AL	3-c
<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC.	Leaf fold	---	Marginal roll	Green	No	Grouped	one	Contarinia sp (Cecidomyiidae)	Eulophidae (P)	SB	3-d
<i>Geoffroea spinosa</i> Jacq.	Leaf fold	adaxial	Globoid	Green	No	Isolated	one	Undetermined	Undetermined	SB	3-e
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Peciole	---	Fusiform	Brown	No	Isolated	one	Undetermined	Undetermined	SB	3-f
	Stem		Fusiform	Black	No	Isolada	one	Undetermined	Undetermined	SB	3-g
Sapindaceae											
<i>Allophylus quercifolius</i> (Mart.) Radlk.	Stem	---	Fusiform	Green	Yes	Isolated	one	Undetermined	Undetermined	AL	3-h
<i>Serjania glabrata</i> Kunth	Stem	---	Fusiform	Green	No	Isolated	one	Undetermined	Undetermined	OL	3-i
	Leaf fold	Adaxial	Lenticular	Green	No	Isolated	one	Undetermined	Undetermined	OL	3-j
Solanaceae											
<i>Capsicum parvifolium</i> Sendtn.	Stem	---	Fusiform	Green	No	Isolado	various	Clinodiplosis sp (Cecidomyiidae)	Eulophidae (P)	AL	3-k

Verbenaceae											
<i>Lantana camara</i> L.	Leaf fold	Adaxial	Globoid	Green	Yes	Isolated	one	Schimatodiplosis lantanae (Cecidomyiidae)	Eulophidae (P) Hymenoptera /Hemiptera (S)	AL, ND	3-l
	Leaf fold	Intralaminar	Lenticular	Green	No	Isolada	one	(Clinodiplosini) Cecidomyiidae	Hymenoptera (P)	AL	3-m
	Stem	---	Fusiform	Green	No	Isolated	various	Clinodiplosini (Cecidomyiidae)	Hymenoptera (P)	AL	3-n
	Leaf fold	adaxial	Conical	Green	No	Isolada	one	Undetermined	Undetermined	AL	3-o
<i>Lippia origanoides</i> Kunth	Leaf fold	Abaxial	Globoid	Green	Yes	Grouped	one	Cecidomyiidae	Torymidae (P) (Hymenoptera)	AL	3-p
Vitaceae											
<i>Cissus decidua</i> Lombardi	Stem	---	Globoid	Gray	No	Isolated	various	Undetermined	Coleoptera (S)/Lepidoptera (S)/ Eulophidae (P)	AL	3-q

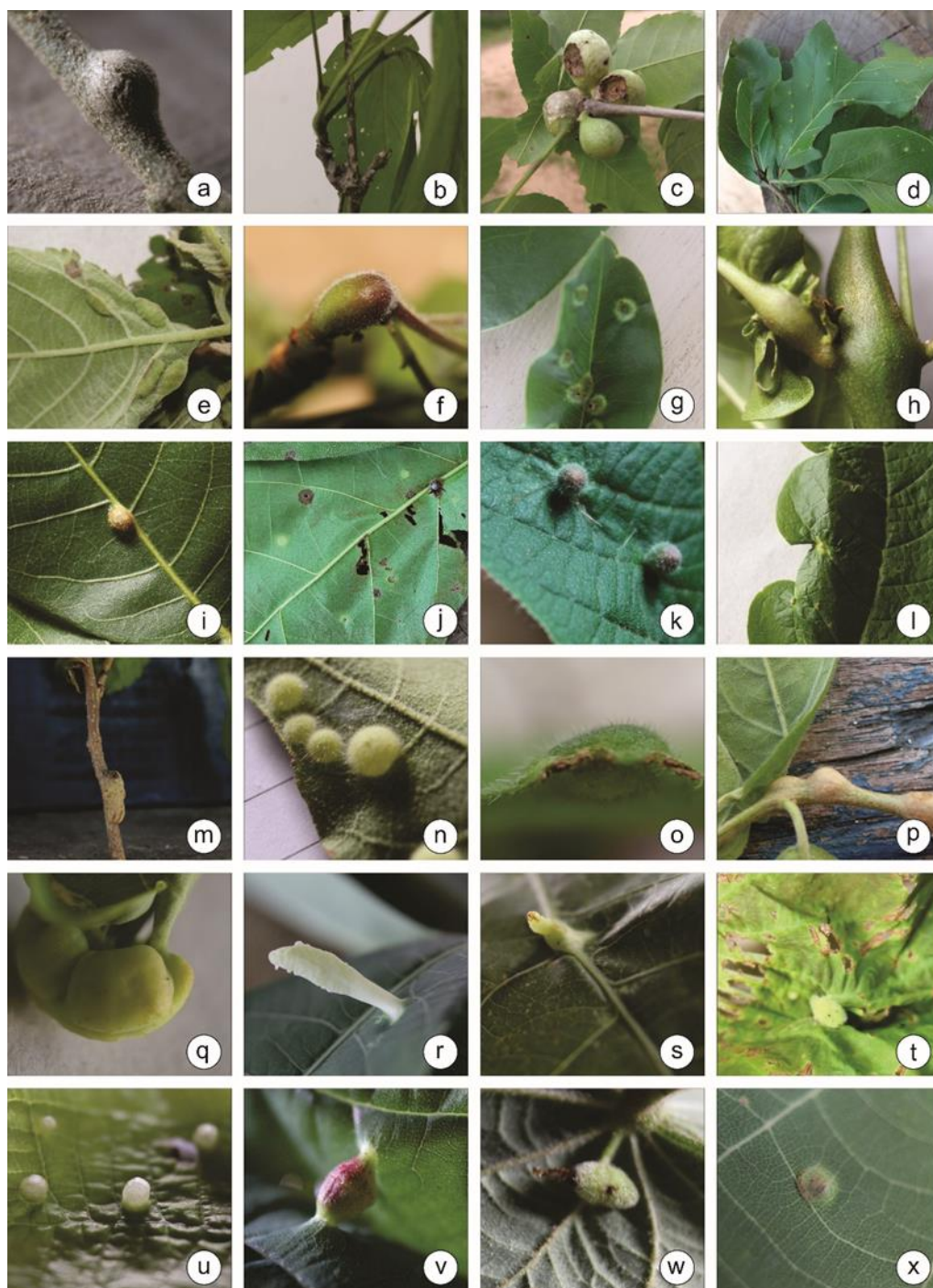


Figure 2 - Galls found in six areas of caatinga in the states of Ceará, Paraíba and Rio Grande do Norte, Brazil. a. In *Spondias tuberosa* - fusiforme caulinar; b. In *Handroanthus impetiginosus* – fusiforme; c. In *Handroanthus serratifolius* - globoide; d. In *Cordia glazioviana* - lenticular; e. In *Varronia leucocephala* - fusiforme; f. In *Commiphora leptophloeos* - fusiforme; g. In *Cynophala flexuosa* - lenticular; h-j. In *Combretum leprosum*: h. Fusiforme, i. Globoide; j. Lenticular; k-l. In *Croton blanchetianus*: k. Globoide l. Globoide; m. In *Croton adenocalyx* – fusiforme; n-p. In *Croton echioides*: n. Globoide, o. Lenticular, p. Fusiforme; q-r. In *Manihot catingae*: q. Globoide, r. Clavada; s. In *M. dichotoma* - clavada; t-x. In *Bauhinia cheilantha*: t. Globoide, u. Globoide, v. Fusiforme, w. Globoide, x. Lenticular. Sources: From the author (2019-2021)

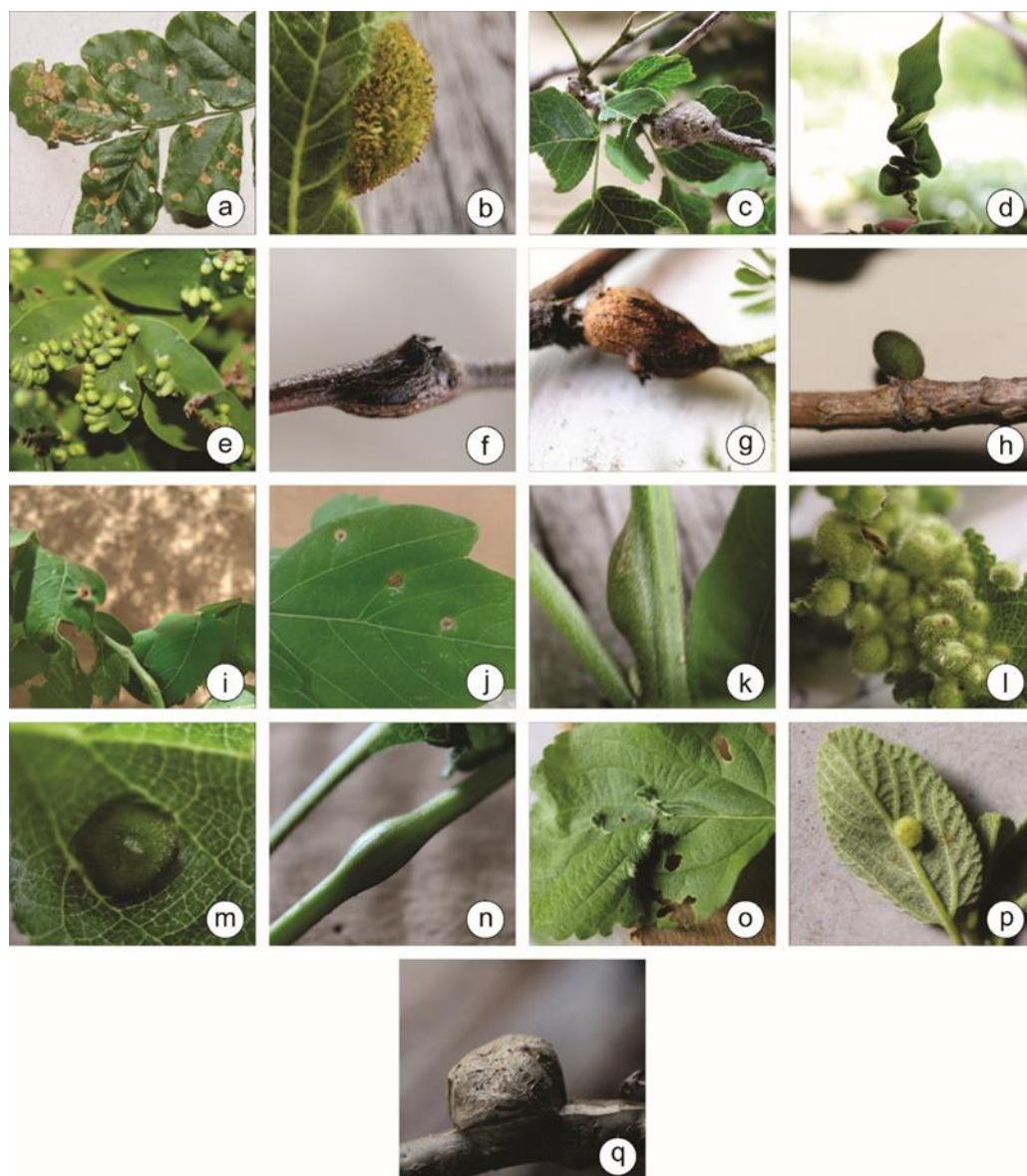


Figure 3. Galls found in six areas of caatinga in the states of Ceará, Paraíba and Rio Grande do Norte, Brazil. a-c. In *Cenostigma pyramidale*: a. Lenticular, b. Globoide, c. Lenticular; d. In *Desmodium tortuosum* – marginal roll; e. In *Geoffroea spinosa* - globoide; f-g. In *Mimosa tenuiflora*; f. Fusiform, g. Fusiform; h. In *Allophylus quercifolius* - fusiform. i-j. In *Serjania glabrata*: i. Fusiform, j. Lenticular; k. In *Capsicum parvifolium* - fusiform; l-o. In *Lantana camara*: l. Globoid, m. Lenticular, n. Fusiform, o. Conical; p. In *Lippia organoides* – globoide; q. In *Cissus decidua* – globoide. Sources: From the author (2019-2021).

CAPITULO 2 - A ser submetido na Insect Conservation and Diversity

Efeito da pegada humana na riqueza de plantas hospedeiras e no parasitismo de insetos galhadores na Depressão Sertaneja Setentrional, Brasil.

Marinho, R.A¹; Riul, P.; Barbosa, M.R.V.

Gall-Inducing Insect Species Richness as Indicators of Forest Age and Health
Environ. Entomol. 39(4): 1134-1140 (2010); DOI: 10.1603/EN09199

Importante citar este que é o único estudo de galhas em estagios sucessionais

1 Introdução

As florestas tropicais sofrem intensa e permanente pressão da escalada da expansão de uso da terra para cultivo, pastoreio, e construções urbanas, causando fragmentação e perda da biodiversidade desses ambientes (Doughty, 2013, Malhi et al. 2014, Haddad et al. 2015). A pressão humana sobre a comunidade de plantas, por exemplo, pode acarretar a extinção de espécies (Fahrig 2013, Newbold et al. 2015), e alterar relações ecológicas complexas, como a herbivoria, através de efeitos multitróficos de cima para baixo e de baixo para cima (Morante-Filho et al. 2015).

No caso dos insetos galhadores, considerando que as galhas estabelecem uma relação espécie-específica com suas plantas hospedeiras, as pressões antrópicas sobre as comunidades vegetais podem alterar esta relação, influenciando a riqueza e a abundância desses insetos (Araújo 2013, Araújo et al. 2015, 2019). Estudos anteriores evidenciaram que a riqueza de galhas entomógenas em fragmentos florestais responde negativamente a distúrbios antrópicos, reduzindo-se a riqueza e a abundância da guilda de galhadores à medida que se acentua a mortalidade das plantas (Urso-Guimarães et al. 2003; Araújo 2017).

Southwood (1960; 1961) mostrou que comunidades com maior riqueza de plantas apresentam uma maior riqueza de insetos herbívoros. Da mesma forma, verificou-se, com base na preferência específica de insetos galhadores por certas espécies de plantas, que a riqueza daqueles aumenta à medida que mais espécies potenciais de plantas hospedeiras estão disponíveis (Fernandes & Price 1988, Wright & Samways 1998, Gonçalves-Alvim & Fernand 2001, Cuevas-Reyes et al. 2004, Carneiro et al. 2009, 2014, Araujo et al. 2017). Assim, passou-se a enfatizar o

potencial que as espécies galhadoras poderiam ter como indicadores de qualidade ambiental, devido à sua alta sensibilidade à interferências em suas plantas hospedeiras, ou em seu ambiente (Bagatto e Shorthouse 1991; Julião et al. 2005, Toma et al. 2014). Entretanto, alguns estudos (Blanche, 2000; Cuevas-Reyes et al., 2003; Oyama et al., 2003) não encontraram esta mesma relação positiva entre a riqueza de plantas e a comunidade de galhadores. Contudo, vale salientar que esses resultados distintos podem ser atribuídos a fatores como biomas ou esforço amostral diferentes, bem como a diferenças na seleção e classificação das áreas. Dois exemplos, a seguir, ilustram bem esses últimos pontos nos estudos de riqueza de galhas. Carvalho Fernandes et al (2012) selecionaram áreas com base em uma escala de sucessão ecológica que as definia como: a) preservada (sem exploração há 30 anos), b) intermediária (sem exploração há 15 anos) e c) antropizada (sofrendo pressão recente com cultivos, pasto e torres de energia elétrica).

Já Araújo et al (2021) classificaram as áreas em antropizadas ou preservadas com base na ausência ou presença de indícios observáveis de intervenção humana, como depósitos de lixo, presença de edificações construídas ou estradas pavimentadas. Tais critérios de classificação de áreas são questionáveis, visto que uma área considerada conservada sem exploração há muitos anos pode estar sofrendo pressão através de outras vias não identificadas pelos autores. Por outro lado, a presença de lixo recente pode não ser suficiente para mudanças na estrutura das comunidades vegetais a médio prazo.

Uma das possíveis formas para mitigar problemas relativos à classificação de áreas naturais quanto ao grau de pressão humana, é a utilização do índice da pegada humana (HFI) como parâmetro. O HFI, segundo Venter et al (2016), é uma ferramenta métrica adimensional capaz de aglomerar em um único índice as diversas influências humanas praticadas em um determinado local. Sua aplicação, com objetivo de conservação da biodiversidade (Ruckelshaus et al 2020), permitiria a detecção de áreas prioritárias para conservação, e áreas mais impactadas para monitoramento. Nas últimas duas décadas, esforços significativos foram feitos para monitorar os impactos humanos no meio ambiente, registrando-se os impactos humanos em espécies e habitats em diferentes escalas espaciais e medindo sua intensidade (Sanderson et al. 2002; Venter et al. 2016).

As galhas, por serem geralmente sésseis, quantificáveis e tridimensionais (Formiga et al., 2011, Isaías et al. 2013), se tornam pequenos sistemas ecológicos

excelentes para a obtenção de informações à cerca do efeito de pressões humanas em florestas sazonais secas, permitindo a identificação de padrões e/ou a construção de modelos ecológicos voltados à caracterização dos morfotipos (Shorthouse et al., 2005; Saito e Urso-Guimarães, 2012, Cornelissen et al., 2013; Fagundes et al., 2018). A Caatinga, inserida no semiárido brasileiro, caracteriza-se por apresentar uma vegetação sazonal seca, com alta densidade de plantas lenhosas decíduas (Andrade-Lima 1981; Prado 2003). É reconhecido que a Caatinga apresenta uma fauna de galhadores de grande importância ecológica (Cintra et al., 2020). No presente estudo, investigamos a diversidade de plantas hospedeiras e insetos indutores de galhas em remanescentes de caatinga s.s. (savana estépica, censo IBGE 2012) presentes na Depressão Sertaneja Setentrional. Foi nosso objetivo testar a variação, de acordo com o grau de impacto antrópico, na riqueza e abundância de plantas, e na riqueza e abundância de galhas. Partindo da premissa que todos os remanescentes de caatinga sofrem algum grau de pressão humana, procuramos responder as seguintes questões: (1) A pressão humana influencia a riqueza e a abundância de plantas nos remanescentes de caatinga na Depressão Sertaneja Setentrional? (2) A comunidade de plantas direciona a riqueza de insetos galhadores?

2 Material e Métodos

2.1 Área de estudo e seleção de áreas amostradas

A área de estudo está inserida na Ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional, no Nordeste do Brasil. De acordo com Veloso et al (2002), esta ecorregião da Caatinga ocupa a maior parte do norte do bioma com uma área aproximada de 206.700 km², desde a fronteira norte do estado de Pernambuco, estendendo-se pela maior parte dos estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, prolongando-se até uma pequena faixa ao norte do estado do Piauí. Apresenta predominantemente clima seco e semiárido (Bhs, segundo Köppen), com temperatura variando de 25 a 35° C, solos rasos e pedregosos, de origem cristalina, com fertilidade média a alta, mas, muito suscetíveis à erosão, em grande parte por pressão humana (Veloso et al 2002).

A Depressão Sertaneja Setentrional caracteriza-se como uma extensa planície

baixa, com altitude variando de 20 a 500 m, de relevo predominante suave-ondulado, com elevações residuais de 500 a 800 m disseminadas na paisagem (Veloso et al 2002). Ainda segundo Veloso et al (2002), a vegetação é predominantemente de porte arbustivo-arbóreo, bastante degradada, exceto nas poucas Unidades de Conservação. Grande parte da Depressão Setentrional (40-50%) ainda tem vegetação nativa, mas boa parte é resultado de regeneração de áreas de agricultura itinerante. A pecuária extensiva é onipresente na ecorregião.

Para selecionar áreas com diferentes graus de impacto antrópico, quantificamos a pressão humana na paisagem usando o “Human Footprint Index” (HFI). O HFI é um índice global da pressão humana na superfície da Terra (Sanderson et al 2002, Venter et al 2016a) baseado em oito variáveis que expressam pressões humanas distintas. São eles, 1) ambientes construídos, 2) densidade populacional, 3) infraestrutura elétrica, 4) terras agrícolas, 5) pastagens, 6) estradas, 7) ferrovias e 8) hidrovias navegáveis. Os valores do HFI foram obtidos a partir de rasters com resolução de 1 km², para a superfície terrestre não-antártica da Terra (Venter et al. 2016).

Neste estudo consideramos áreas menos impactadas ou com menor pressão aquelas com $HFI < 5$, e mais impactadas ou com alta pressão as que apresentaram $HFI > 19$ (Oscar et al 2016b). Os valores de HFI foram obtidos com o pacote Raster (Robert J. Hijmans & Jacob van Etten, 2012) no ambiente R versão 4.2.1 (R Development Core Team 2022). Com base nessa classificação, foram selecionadas seis áreas, três consideradas com baixa pressão humana ou menos impactadas - Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Almas (RPPN Almas, $HFI = 4$), RPPN Olho d’água do Urucu (RPPN Olho, $HFI = 2$) e RPPN Não Me Deixes (RPPNNMD, $HFI = 3$), e três com alta pressão humana ou mais impactadas - Estação Experimental de São João do Cariri (EESJCariri, $HFI = 21$), RPPN Stoessel de Brito (RPPN Stoessel, $HFI = 19$) e Flona de Açu (Flona, $HFI = 24$).

As áreas selecionadas estão inseridas em três Estados brasileiros distintos, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. A Estação Experimental da Universidade Federal da Paraíba (EESJCariri), no município de São João do Cariri, encontra-se à 78 km da RPPN Fazenda Almas (RPPN Almas), localizada no município de São José dos Cordeiros, ambas na Paraíba. A RPPN Stoessel de Brito (RPPN Stoessel), no município de Jucurutu, e a Flona de Açu (Flona), no município de Açu, distam entre si 137 km, no Rio Grande do Norte. A RPPN Olho d’água do Urucu, no município de

Parambu, e a RPPN Não me deixes, no município de Quixadá, estão a 345 km de distância no Ceará.

2.2 Amostragem

A amostragem das galhas e de suas plantas hospedeiras foi conduzida durante os períodos chuvosos de fevereiro a junho de 2019, e de fevereiro a maio de 2021. Em cada área, foram demarcados 10 transectos de 200 m² (4 x 50 m), distantes entre si 100 metros. Nestes, para melhor orientação e varredura, a cada 10 metros foram inseridas, em linha reta no solo, estacas de madeira de 1,20m de altura, com auxílio de uma bússola. Em cada transecto, todas as plantas arbóreas, arbustivas e subarbustivas, entre 1 e 4m de altura, foram quantificadas e marcadas. Padronizou-se o tempo mínimo de 1h de permanência dentro de cada transecto para visualização e coleta de galhas, perfazendo um total de 10 horas de esforço amostral mínimo por área.

As plantas que apresentaram galhas em folhas, ou em outros órgãos visualmente identificáveis, tiveram suas folhas e/ou estruturas coletadas e armazenadas em sacolas plásticas individuais, com identificação de campo. Para a determinação da abundância relativa de galhas, foram retirados, ao acaso, 3 ramos de cada hospedeira galhada, e os distintos morfotipos quantificados. Estes ramos, para melhor aproveitamento, foram utilizados também para a posterior criação dos insetos indutores. Foram preparadas exsicatas de todas as plantas coletadas, visando a sua identificação. Também em laboratório, as galhas foram separadas por morfotipo, e dissecadas sob estereomicroscópio para verificação do número de câmaras internas e obtenção de imaturos, quando presentes. Os imaturos foram preservados em etanol 70% e acondicionados em microtubos etiquetados.

Os distintos morfotipos de galha foram alocados em potes plásticos etiquetados e forrados com papel umedecido (para espécies cuja pupa ocorre na galha), ou contendo terra da própria área (para espécies cuja pupa ocorre no solo). Os potes foram vistoriados diariamente e cada adulto que emergiu foi capturado utilizando-se disparos de álcool com pipeta de plástico. Todo o material obtido a partir da criação em laboratório foi também preservado em etanol 70%.

Para classificação das formas das galhas, adotou-se a terminologia de Isaias et al. (2013). Foi considerada a especificidade máxima na separação dos morfotipos, de modo que, galhas similares em espécies vegetais diferentes foram classificadas como morfotipos também diferentes (Carneiro et al., 2009). A identificação das plantas hospedeiras foi realizada no Laboratório de Taxonomia Vegetal, consultando a coleção do Herbário JPB, ambos no Departamento de Sistemática e Ecologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

2.3 Análise de dados

Para garantir que as comunidades de plantas foram suficientemente amostradas, utilizamos a proposta de Chao & Jost (2012), que recomendam 60% como valor mínimo de cobertura amostral para assegurar a confiabilidade da extrapolação da cobertura e das estimativas da riqueza de espécies.

Nossas curvas de “sampling coverage” indicaram uma cobertura variando entre 85 e 100% nas áreas de estudo. (Figura 2). Esta análise foi realizada usando o pacote iNEXT (Chao et al., 2016) implementado no ambiente R versão 4.2.1 (R Development Core Team 2022).

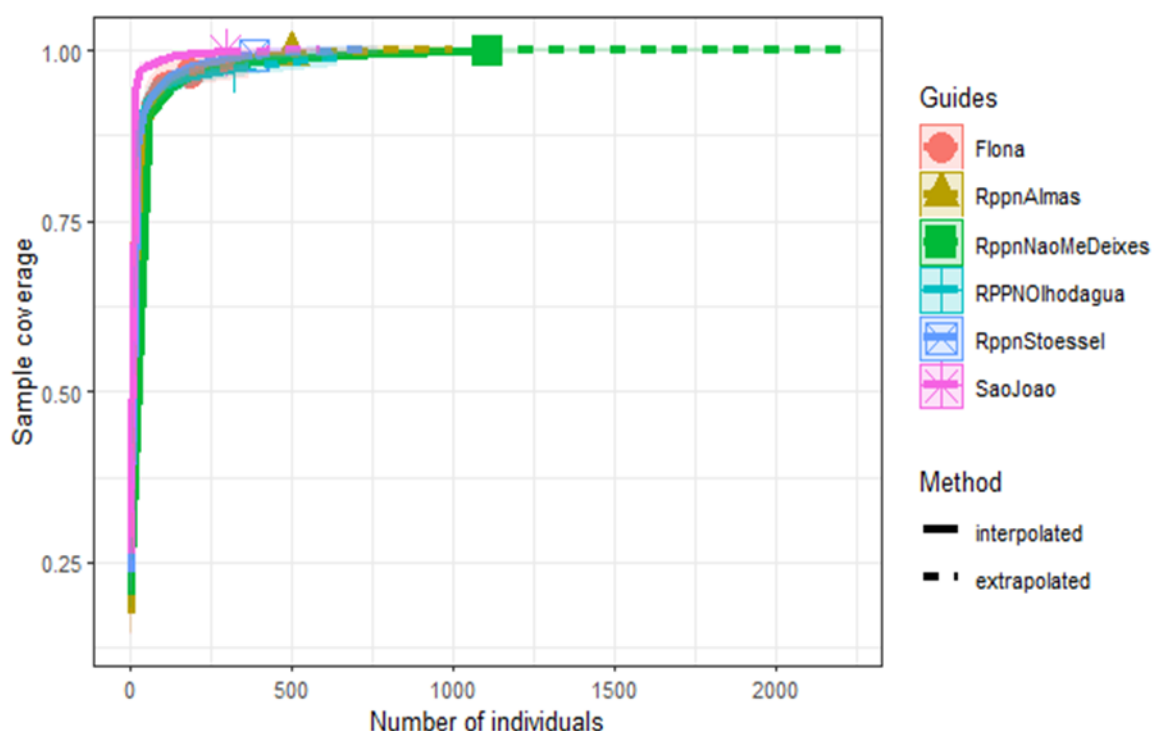


Figura 2 - Curvas de cobertura da amostra com (linhas contínuas) e extrapolação (linhas tracejadas) representando o número de espécies de plantas hospedeiras de seis áreas pertencentes à Ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional

Para investigar o efeito da pressão antrópica nas comunidades de plantas e galhadores foram utilizados modelos lineares generalizados mistos (generalized linear mixed model GLMMs) (Bolker et al. 2009), comparando-se a riqueza (número de espécies) e abundância de plantas e galhadores entre os ambientes (fator fixo) e entre as áreas (fator aleatório aninhado em ambientes).

Os modelos para riqueza de planta e galhadores foram construídos utilizando a distribuição de erro de Poisson, enquanto os modelos de abundância de plantas e galhadores utilizaram a distribuição binomial negativa (Alexander et al. 2000). Os modelos foram ajustados com a função 'glmer' do pacote 'lme4' (Bates et al. 2011) no ambiente R 4.3.1 (R Development Core Team 2022). Os valores dos resíduos das riquezas e abundâncias de plantas e galhas foram verificados com o pacote DHARMA (Hartig, 2022).

Para visualizar as similaridades entre as amostras de ambientes menos e mais impactados, e testar a hipótese de que a pressão humana causa alterações na comunidade de plantas e galhas, foi utilizado um escalonamento multidimensional não métrico (NMDS), com base nos índices de similaridade de Bray-Curtis, juntamente com uma Permanova com 999 permutações. O NMDS foi construído com a função (isoMDS) do pacote vegan (Oksanen et al. 2010), enquanto que a permanova com o pacote adonis (McArdle & Anderson (2001), ambos no ambiente R versão 4.2.1 (R Development Core Team 2022). Para verificar se a dissimilaridade da composição de galhas é afetada pela dissimilaridade da composição da flora nas áreas, foi realizado o teste de Mantel com 999 permutações do pacote Vegan, também no ambiente R.

3 Resultados

Foram amostradas 2.796 plantas, correspondendo a 66 espécies botânicas, nas seis áreas selecionadas. Dentre estas, 24 espécies tiveram pelo menos um de seus órgãos colonizadas por insetos galhadores, tornando-se, portanto, hospedeiras de galhas. A espécie mais abundante foi *Croton blanchetianus*, com 629 indivíduos (22,5%) nas áreas menos impactadas e 294 (10,5%) nas áreas mais impactadas. Outras espécies também comuns à todas as áreas foram *Jatropha mollissima*, com 55 (1,92%) e 60 (2,14%) indivíduos, *Aspidosperma pirilifolium*, com 23 (%) e 105 (%), e *Cenostigma pyramidale*, com 61 (%) e 72(%) indivíduos nas áreas mais conservadas e menos conservadas, respectivamente.

A RPPN Almas registrou a maior riqueza de plantas hospedeiras, com 14 espécies. Na RPPN Olho do Urucu foram identificadas 7 espécies hospedeiras, e na EESJ do Cariri apenas duas. Fabaceae, Euphorbiaceae e Verbenaceae foram as famílias de plantas hospedeiras mais abundantes, com Fabaceae respondendo por 29,2% do número total de morfotipos de galhas encontrados (n=12). *Bauhinia cheilantha* (Fabaceae) foi a espécie com maior ocorrência de galhas, com cinco morfotipos associados, seguida de *Lantana camara* (Verbenaceae) com quatro morfotipos. Portanto, essas duas espécies são consideradas superhospedeiras (Tabela 3). *Cenostigma pyramidale* e *Croton blanchetianus* foram as únicas espécies hospedeiras presentes nas seis áreas pesquisadas e ambas exibiram dois morfotipos de galhas. As folhas (61%) e caules (25%) foram os órgãos mais atacados em todas as plantas hospedeiras.

Um total de 41 morfotipos de galhas de insetos foram identificados através da análise de 10.959 galhas presentes nas amostras de ramos coletadas de cada planta. As três áreas menos impactadas registraram cerca de 9.134 (83,3%) galhas, enquanto as áreas mais impactadas apenas 1.825 (16,7%) (Tabela 2). Os morfotipos de galhas mais abundantes foram lenticulares_1, com 1208 unidades, Globoide_3, com 665 unidades, Fusiforme_3, com 324, presentes apenas nas áreas menos impactadas. As áreas mais impactadas registraram baixa presença de galhas e ausência de alguns morfotipos. A EE São João do Cariri foi a área que apresentou o menor número de galhas, 396 (3,61%) (tabela 2).

Indutores adultos foram obtidos em três morfotipos, todos pertencentes à família Cecidomyiidae (Diptera), e identificados como *Contarinia* sp. em *Desmodium tortuosum* (Sw.) DC. (Fig. 3d); *Clinodiplosis* sp. em *Capsicum parvifolium*; e *Schismatodiplosis lantanae* em *Lantana camara* (Fig. 3i). Indutores de 21 morfotipos foram identificados ao nível de família. Nenhum dos outros indutores foram encontrados, seja porque as galhas estavam vazias, ou havia vespas parasitóides. Em quatro morfotipos (Fig. 2h, 2k, 3m, 3n), apenas larvas de *Clinodiplosini* foram obtidas. Além disso, adultos de *Stomatosema* emergiram de galhas de *Croton echinoides* (Fig. 2n), mas o gênero não inclui espécies galhadoras.

Tabela 1 – Abundância total, mediana e intervalo interquartil da comunidade de plantas em seis áreas na Depressão Sertaneja Setentrional, Brasil. ALM =Amas, NMD=RPPN Não Me Deixes, ODG= RPPN Olho d'água, SJC=São João do Cariri, STO=RPPN Stoessel de Brito, FLO= Flona de Açu; N=Indivíduos, M=Mediana, I=Intervalo Interquartil

[illegible]

[illegible]

<i>Myrcia_sp</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	-	-	-	44	5,5	6	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W.Jobson	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudobombax marginatum</i> (A.St.-Hil.) A.Robyns	1	-	-	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ruellia asperula</i> (Mart. & Nees) Lindau	-	-	-	36	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S.Irwin & Barneby	-	-	-	7	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Serjania glabrata</i> Kunth	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sida galheirensis</i> Ulbr.	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spondia tuberosa</i> Arruda	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Varronia leucocephala</i> (Moric.) J.S.Mill.	34	3,5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Vellozia_sp</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Vitex_schauriana</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ximenia_americana</i>	-	-	-	8	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Ziziphus_joazeiro</i>	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	501			1108			323			296			384			184		

Tabela 2 – Abundância total, mediana e intervalo interquartil da ocorrência de morfotipos de galhas em seis áreas na Depressão Sertaneja Setentrional, Brazil. ALM =Amas, NMD=RPPN Não Me Deixes, ODG= RPPN Olho d'água, SJC=São João do Cariri, STO=RPPN Stoessel de Brito, FLO= Flona de Açú

Morfotipos de galhas	Áreas																	
	ALM			NMD			ODG			SJC			STO			FLO		
	N	Mediana	IQR	N	Mediana	IQR	N	Mediana	IQR	N	Mediana	IQR	N	Mediana	IQR	N	Mediana	IQR
Fusifforme_1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fusifforme_2	-	-	-	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fusifforme_3	324	18,5	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fusifforme_4	21	1,5	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fusifforme_5	21	-	6	760	80,5	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fusifforme_6	-	-	-	31	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fusifforme_7	158	5,5	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fusifforme_8	17	0,5	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	1	-	-	-
Fusifforme_9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	1	-	-	-
Fusifforme_10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	1	3	-	-	-
Fusifforme_11	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fusifforme_12	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fusifforme_13	19	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fusifforme_14	85	8	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Globoide_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	-	8
Globoide_2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Globoide_3	665	45	110	1576	142	98	1008	79,5	98	348	19	64	639	70	41	422	35,5	61
Globoide_4	15	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Globoide_5	504	49,5	65	-	-	-	504	50,5	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Globoide_6	10	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Globoide_7	30	2,5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Globoide_8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	122	4	15	-	-	-

Globoide_9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	0,5	2	-	-	-
Globoide_10	16	1	3	35	3	2	10	-,5	2	48	5	3	5	-	-	19	-,5	4
Globoide_11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	91	-	-	-	-	-
Globoide_12	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Globoide_13	658	54	57	176	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Globoide_14	121	4,5	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lenticular_1	-	-	-	1208	87,5	248	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lenticular_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	-	-	-	-	-
Lenticular_3	-	-	-	670	73,5	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lenticular_4	87	7,5	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lenticular_5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	1	-	-	-
Lenticular_6	-	-	-	140	-	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lenticular_7	32	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lenticular_8	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lenticular_9	29	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clava_1	64	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clava_2	-	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Conical_1	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marginal_roll	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Total	2899			4655			1580			396			945			484		

Tabela 3 – Espécies hospedeiras, morfotipos e insetos indutores em seis áreas na Depressão Sertaneja Setentrional. AL=Almas, ND=Não Me Deixes, OL=Olho d'água, FL=Flona, SB=Stoessel de Brito, SJ=São João

Família/Espécies	Morfotipo	Inseto indutor	Area	Figura
ANACARDIACEAE				
<i>Spondia tuberosa</i> Arruda	Fusiforme 1	Undetermined	AL	2-a
BIGNONIACEAE				
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC) Mattos	Fusiforme 2	Undetermined	ND	2-b
<i>Handroanthus serratifolius</i> Vahl	Globoide 1	Cecidomyiidae	FL	2-c
BORAGINACEAE				
<i>Cordia glazioviana</i> Taub.	Lenticular 1	Cecidomyiidae	OL	2-d
<i>Varronia leucocephala</i> (Moric.) J.S.Mill.	Fusiforme 3	Cecidomyiidae	AL	2-e
BURSERACEAE				
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	Fusiforme 4	Undetermined	AL	2-f
CAPPARACEAE				
<i>Cynophalla flexuosa</i> L.	Lenticular 2	Undetermined	SB	2-g
COMBRETACEAE				
<i>Combretum leprosum</i> Mart.	Fusiforme 5	Cecidomyiidae	AL, ND	2-h
	Globoide 2	Cecidomyiidae	AL	2-i
	Lenticular 3	Cecidomyiidae	ND	2-j
EUPHORBIACEAE				
<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	Globoide 3	Cecidomyiidae	AL, SJ, SB, FL, ND, OL	2-k
	Globoide 4	Cecidomyiidae	AL	2-l
<i>Croton adenocalyx</i> Baill.	Fusiforme 6	Undetermined	ND	2-m
<i>Croton echioides</i> Baill.	Globoide 5	Cecidomyiidae	AL, OL	2-n
	Lenticular 4	Cecidomyiidae	AL	2-o
	Fusiforme 7	Cecidomyiidae	AL	2-p
<i>Manihot catingae</i> Ule	Globoide 6	Cecidomyiidae	AL	2-q
	Clava 1	Cecidomyiidae	AL	2-r
<i>Manihot dichotoma</i> Ule	Clava 2	Cecidomyiidae	SB, ND	2-s
FABACEAE				
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	Globoide 7	Undetermined	AL	2-t
	Globoide 8	Undetermined	SB	2-u
	Fusiforme 8	Cecidomyiidae	AL, SB	2-v
	Globoide 9	Undetermined	SB	2-w
	Lenticular 5	Undetermined	SB	2-x
<i>Cenostigma pyramidale</i> (Tul.) E.Gagnon & G.P.Lewis	Lenticular 6	Undetermined	ND	3-a
	Globoide 10	Undetermined	AL, SJ, ND, OL, FL, SB	3-b
	Lenticular 7	Undetermined	AL	3-c

<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC.	Marginal roll 1	Contarinia sp (Cecidomyiidae)	SB	3-d
<i>Geoffroea spinosa</i> Jacq.	Globoide 11	Undetermined	SB	3-e
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Fusiforme 9	Undetermined	SB	3-f
	Fusiforme 10	Undetermined	SB	3-g
SAPINDACEAE				
<i>Allophylus quercifolius</i> (Mart.) Radlk.	Fusiforme 11	Undetermined	AL	3-h
<i>Serjania glabrata</i> Kunth	Fusiforme 12	Undetermined	OL	3-i
	Lenticular 8	Undetermined	OL	3-j
SOLANACEAE				
<i>Capsicum parvifolium</i> Sendtn.	Fusiforme 13	Clinodiplosis sp (Cecidomyiidae)	AL	3-k
VERBENACEAE				
<i>Lantana camara</i> L.	Globoide 12	Schismatodiplosis lantanæ (Cecidomyiidae)	AL, ND	3-l
	Lenticular 9	(Clinodiplosini) Cecidomyiidae	AL	3-m
	Fusiforme 14	Clinodiplosini (Cecidomyiidae)_	AL	3-n
	Conical 1	Undetermined	AL	3-o
<i>Lippia origanoides</i> Kunth	Globoide 13	Cecidomyiidae	AL	3-p
VITACEAE				
<i>Cissus decidua</i> Lombardi	Globoide 14	Undetermined	AL	3-q

Quanto aos quatro modelos, encontramos forte correlação entre os ambientes e áreas (Tabela 3). A riqueza e a abundância de espécies de plantas variaram nos ambientes menos impactados e mais impactados, sendo maior nas áreas com índice da pegada humana baixo. Com o aumento do índice de pressão humana, a comunidade de plantas reduziu sua riqueza e abundância. Da mesma forma, a riqueza e abundância de morfotipos de galhas diferiram significativamente entre as áreas e ambientes.

Encontramos uma maior riqueza e abundância nas áreas menos impactadas, com $HFP < 4$. Em geral, os modelos preditivos evidenciaram que quanto maior a degradação do ambiente (maior impacto) menor a comunidade de espécies vegetais e de insetos galhadores. As espécies de plantas hospedeiras e de insetos galhadores diferiram significativamente tanto nos ambientes com maior pressão humana como também naqueles com menor pressão, apresentando alguma similaridade apenas dentro de cada respectivo grupo. No pirate plot, 95% dos dados são mostrados como bandas sólidas ao redor da média da amostra (Figura 3). Contudo, a variabilidade nos dados mostra um padrão mais consistente (altura do jarro) de modo que não há formações de condições distintas para os modelos preditivos nos ambientes conservados.

Há a formação de dois subgrupos para cada ambiente conforme observamos a expansão ou afunilamento das áreas após as medias (Figura 4) dos dados de riqueza e abundância de plantas, onde pontos distantes da média refletem espécies menos abundantes. Nas áreas com alto impacto humano, detectamos padrões distintos dos dados para a riqueza e abundância de morfotipos de galhas, o que reflete a ausência de determinados morfotipos.

A composição da comunidade de galhas também foi diferente de acordo com o ambiente, sendo 69% das espécies explicadas pela diferença entre pressões ($\text{stress} = 0.1505$; Permanova $p = 0.007992$, $R^2 = 0.05477$, Figura 4b). O teste de Mantel revelou que houve diferença significativa no efeito da composição da comunidade de plantas hospedeiras sobre a composição da comunidade de insetos galhadores entre os ambientes, com 65% das espécies de insetos influenciadas pelas espécies de plantas ($P < 0,001$, $R^2 = 0,6539$). No gráfico do NMDS é possível observar núcleos de espécies de plantas similares nas áreas mais impactadas (figura 4), demonstrando que estas responderam ao impacto antropogênico alterando significativamente sua

composição (stress = 0.1652; Permanova $p = 0.02398$, $R^2 = 0.03811$).

Tabela 3 Resultados dos modelos lineares generalizados de efeitos mistos (GLMMs) para riqueza de espécies de plantas, abundância de plantas, riqueza de espécies de galhas e abundância de galhas, comparando a caatinga mais impactada e menos impactada.

Response variable	Random effects			Fixed effects				
	Groups	Variance	Std.dev	Groups	Estimate	Std.Error	z	P
Plant species richness	Area	0.07774	0.2788	Intercept	1.6178	0.1802	8.979	<0.01
				Environment (Lower vs. Higher footprint)	0.5385	0.1003	5.369	<0.01
Plant abundance	Area	0.1174	0.3426	Intercept	3.3316	0.2129	15.647	<0.01
				Environment (Lower vs. Higher footprint)	0.7319	0.1093	6.696	<0.01
Gall species richness	Area	0.2453	0.4952	Intercept	0.7527	0.3111	2.419	<0.01
				Environment (Lower vs. Higher footprint)	1.0205	0.1381	7.391	<0.01
Gall abundance	Area	0.1287	0.3587	Intercept	4.0392	0.2519	16.036	<0.01
				Environment (Lower vs. Higher footprint)	1.5949	0.2017	7.906	<0.01

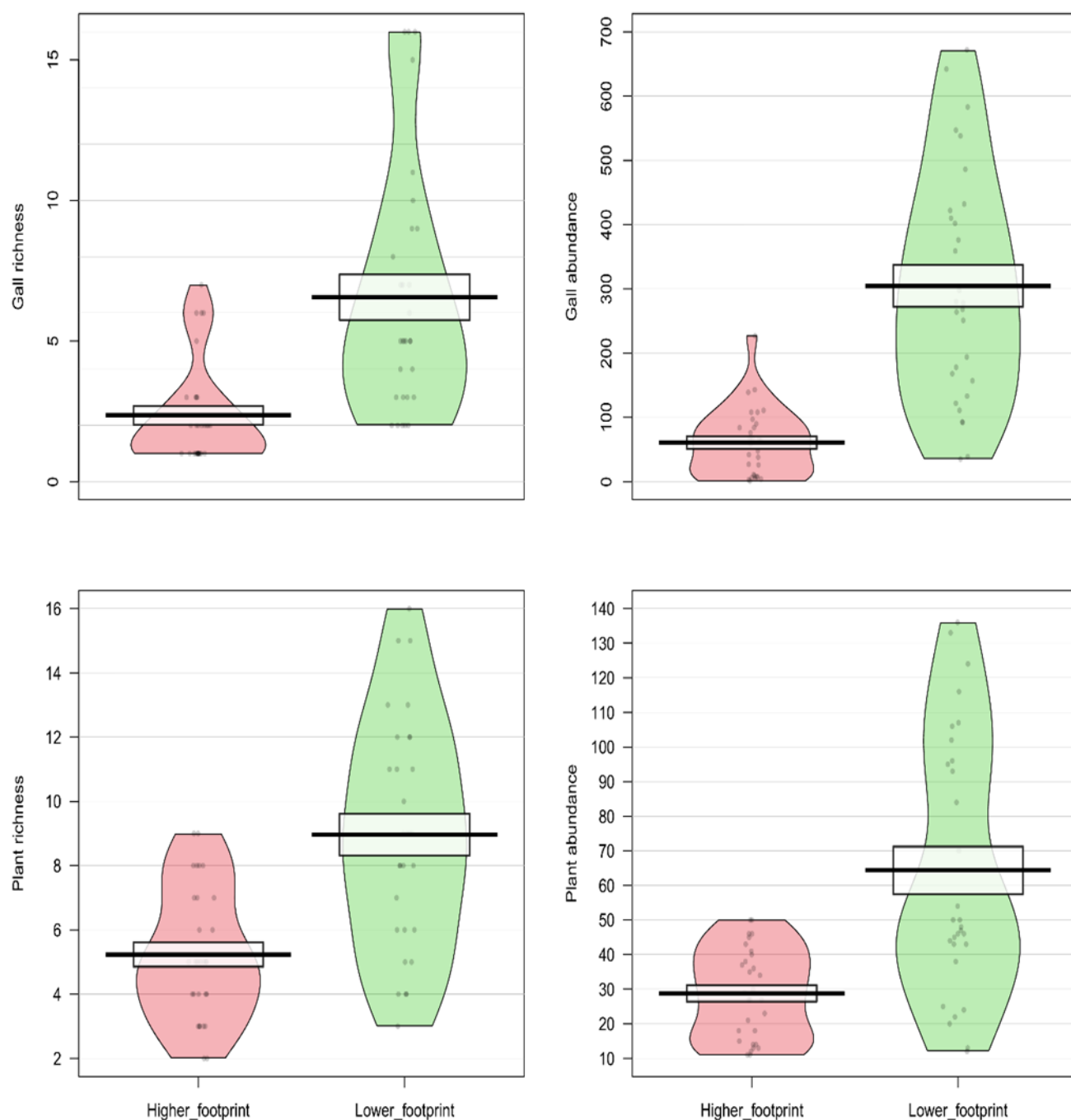


Figura 3 - "Pirate plot" dos quatro modelos preditivos com base na influência do Higher Footprint e Lower footprint, comparando a riqueza e abundâncias de galhas e plantas para os ambientes mais e menos impactados na depressão sertaneja setentrional.

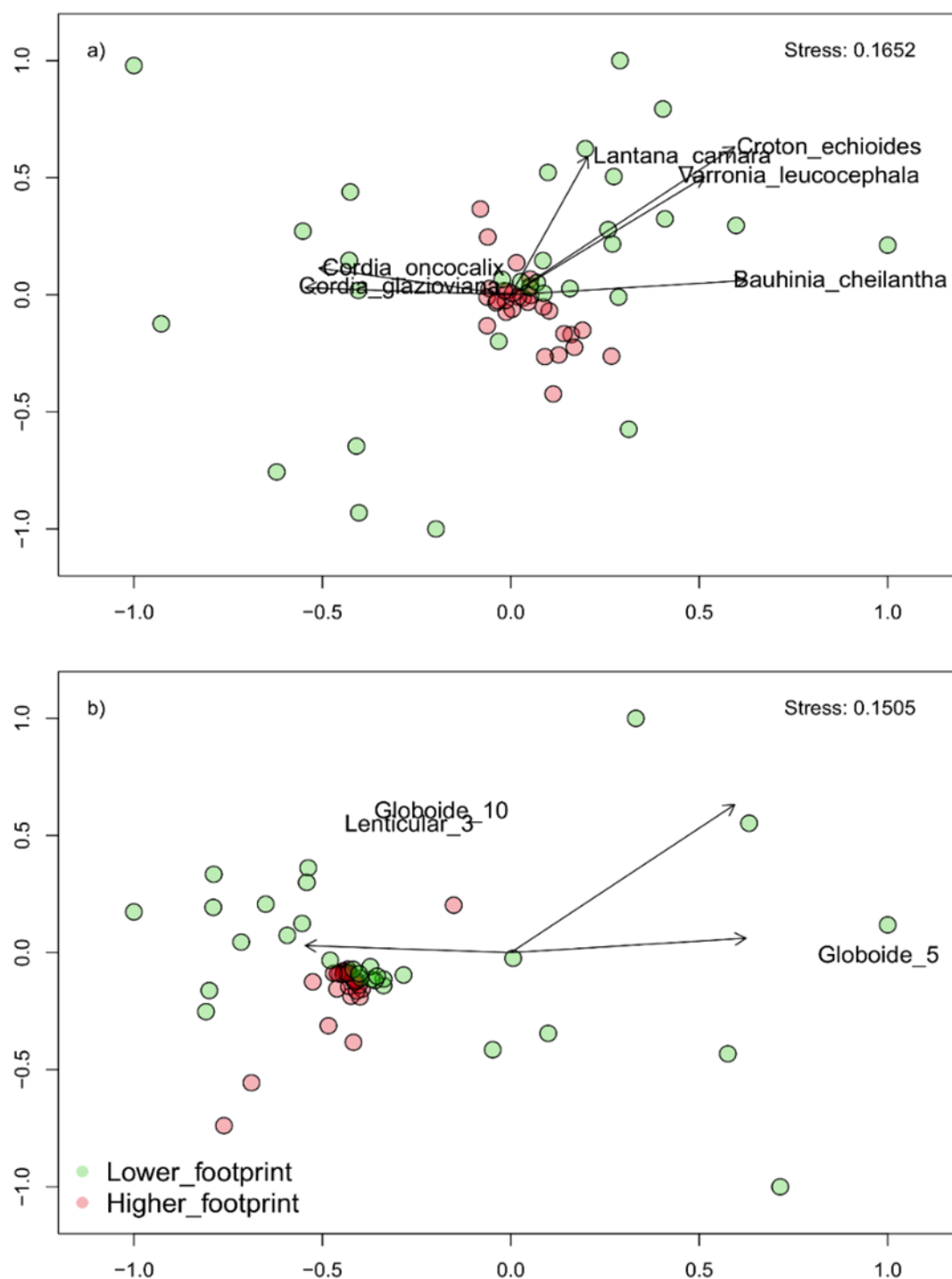


Figura 4 - Escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) mostrando a ordenação da composição da comunidade de a) plantas e b) morfotipos de galhas entre áreas mais impactadas (higher footprint) e menos impactadas (lower footprint) em seis áreas inseridas na Depressão Sertaneja Setentrional, Brazil.

DISCUSSÃO

Estudos de galhas com delineamento amostral por meio de parcelas ou transectos em vegetação de Caatinga no Brasil são reduzidos. Sendo que, até então, apenas Carvalho-Fernandes et al. (2012) e Brito et al. (2018) avaliaram a riqueza de galhas comparando áreas conservadas e degradadas da Caatinga. Ao comparar nossos resultados com ambos, os números de morfotipos, plantas hospedeiras e famílias botânicas foram substancialmente maiores em nosso estudo. Carvalho-Fernandes et al (2012), registraram 25 morfotipos de galhas, distribuídos em 18 espécies hospedeiras, pertencentes a oito famílias botânicas.

É válido salientar que o esforço amostral despendido naquele estudo foi reduzido, com apenas oito parcelas de 10 m² em cada área (24 no total). Já Brito et al (2018), registraram 20 morfotipos de galhas, distribuídos em nove espécies vegetais, pertencentes a oito famílias. Nesse estudo, registrou-se maior riqueza de galhas nas áreas intermediárias (n=8), seguida das áreas antropizadas (n=7) e preservadas (n=5), não corroborando a hipótese por eles testada de que haveria um maior número de galhas em ambientes antropizados. Nosso estudo considerou 60 transectos sistematicamente distribuídos dentro de uma mesma ecorregião da Caatinga. Fica evidente, portanto, que o esforço amostral pode ter influenciado o baixo número de morfotipos e plantas hospedeiras nos estudos anteriores.

Classificar áreas quanto ao grau de conservação da estrutura da comunidade não é um trabalho simples. A possibilidade de se cometer erros é maior à medida que se utilizem parâmetros baseados em observação visual ou em exploração do uso da terra apenas. Por exemplo, duas de nossas áreas, a RPPN fazenda Almas e a RPPN Stoessel de Brito, ambas eram fazendas com intenso uso do solo, criação de bovinos de corte e pastoreio (Plano de Manejo). A RPPN Almas tornou-se RPPN em 1990, 29 anos atrás (Sisbio - Portaria Nº 1.343, do IBAMA, 01 de agosto de 1990) e a RPPN Stoessel de Brito tornou-se RPNN em 1994 (Sisbio - Portaria 52-N - DOU 96 - 23/05/1994), 25 anos atrás, considerando o período de coleta em 2019. Com base na metodologia de Carvalho-Fernandes et al 2012, ambas seriam áreas preservadas pois não sofrem ações antrópicas a mais de 25 anos. Contudo, nossos índices calculados, apontam que a RPPN stoessel de Brito está sob pressão, o que refletiu numa menor quantidade de espécies vegetais e de galhas.

Quanto às famílias botânicas, nossos dados indicaram Fabaceae como a

família com mais espécies galhadas, o que permite dizer que está se constitui em um táxon super-hospedeiro para os insetos galhadores (Silva, & Araújo, 2020). Cintra et al. (2021) também indicaram Fabaceae como a família mais frequente em remanescentes de caatinga, com um total de 30 espécies de plantas hospedeiras e 61 espécies de insetos indutores de galhas.

Como Fabaceae é a família mais rica em espécies na Caatinga (Brazil Flora Group 2015) e também integra a lista de famílias que apresentam a maior riqueza de galhas de insetos (Araújo et al. 2019), podemos sustentar evidências que reforçam a hipótese do tamanho do Táxon, no qual prediz que táxons maiores abrigam mais galhas. Dentro desta família, há 3.026 espécies em 253 gêneros, dentre os quais 18 gêneros e 1.577 espécies são consideradas endêmicas (Flora e Funga do Brasil, 2022).

Quanto à indução de galhas, estas ocorreram preferencialmente nas folhas, bem como a prevalência de morfotipos fusiformes, globulares e lenticulares verificados em nosso estudo, evidencia um padrão ecológico globalmente reconhecido e recorrentemente encontrado na literatura (Felt 1940; Price et al., 1998; Maia, 2013; Nogueira et al., 2016; Alcântara et al., 2017, Araujo et al 2021). Entretanto, a indução de galhas com maior frequência nos ramos pode ocorrer em determinadas espécies de plantas como em *Baccharis pseudomyriocephala* Malag e *Baccharis dracunculifolia* D.C (Araújo et al., 2003).

Nossos resultados demonstram que a comunidade de plantas sofre influência da pressão humana, evidenciada pelo índice da pegada humana, e, consequentemente, isto impacta a ocorrência de insetos galhadores. É consolidado na literatura o efeito positivo que a riqueza de espécies de plantas exerce sobre a comunidade de insetos indutores de galhas (estudos resumidos por Araújo, 2013). No nosso estudo, detectamos que à medida que a pressão humana aumenta, observa-se uma menor riqueza e abundância de plantas hospedeiras e de insetos galhadores. O avanço da antropização em áreas naturais, com perda significativa de espécies de plantas, altera a possibilidade de colonização dessas pela comunidade de insetos galhadores, uma vez que a interação entre ambos é altamente específica e dependente.

Resultados similares aos nossos foram obtidos por Araújo et al (2021) no Cerrado, demonstrando que a riqueza de espécies de plantas hospedeiras foi menor nas parcelas consideradas antropizadas quando comparadas às parcelas ditas

conservadas. É válido salientar, que em nosso estudo utilizamos o índice da pegada humana para classificação das áreas em impactadas e menos impactadas, com base em parâmetros objetivos, o que não foi feito nesse estudo anterior.

A riqueza e a abundância de morfotipos de galhas também foi menor nas áreas mais impactadas, o que reforça a hipótese de sua relação com a riqueza da comunidade de plantas. A dependência entre as espécies de plantas e os insetos galhadores não foi considerada em alguns estudos que investigaram efeitos antrópicos em galhas de insetos em savanas neotropicais (Carvalho-Fernandes et al. 2012; Brito et al. 2018; Souza et al. 2019). Contudo, nossos resultados evidenciam que na caatinga s.s., a riqueza de plantas e de insetos galhadores é regulada pelo efeito da pegada humana. Este padrão está em concordância com estudos que indicam que a antropização leva a um declínio na diversidade de plantas nativas mais sensíveis (Concepción et al. 2015), prevalecendo no ambiente apenas as espécies mais tolerantes (Freitas et al., 2020).

Entretanto, a presença de espécies vegetais mais tolerantes nos ambientes mais antropizados pode forçar mudanças na escolha da planta-alvo por parte dos insetos galhadores, com consequente redução das taxas de parasitismo, principalmente se estas plantas persistentes apresentarem bons mecanismos de defesa contra herbivoria. Martini et al (2021) apontam que a abundância de galhas por hospedeiro está positivamente relacionada com a área basal do hospedeiro nas amostras analisadas em uma área de savana no Brasil. Não avaliamos a hipótese da concentração de recursos testada por esses autores, mas nossos resultados reforçam também essa hipótese, uma vez que encontramos maior abundância de galhas nas áreas mais conservadas, e com maior abundância de plantas.

Nossos resultados suportam também conclusões anteriores sobre a composição de espécies ser um indicador mais sensível para resposta da comunidade de plantas e galhas à perturbação do ambiente. Claramente, nosso NMDS apontou núcleos de plantas similares em cada tipo de ambiente, e que sua composição de espécies foi fortemente afetada. Knuff (2019), ao estudar insetos galhadores em florestas manejadas, não apontou a riqueza de plantas como um fator principal que influencia a comunidade de herbívoros, indicando apenas a composição de espécies. Segundo esse autor, há evidências de que a identidade vegetal e não a riqueza de espécies, estrutura a comunidades de herbívoros especialistas enquanto o ambiente abiótico desempenha apenas um papel menor. Entretanto, nosso estudo demonstra

que tanto a riqueza quanto a composição de plantas afetam a guilda de galhadores. Os resultados encontrados por knuff (2019) vão de encontro também à evidências solidificadas de que a riqueza de planta e ou a composição vegetal juntas definem a riqueza de galhadores (CARNEIRO et al 2014). A ocorrência e predomínio de *Croton blanchetianus* (Marmeleiro preto), por exemplo, encontrado em todas as seis áreas nos fornecem indícios de processo de regeneração na comunidade, principalmente nas áreas menos impactadas onde o número de indivíduos da espécie foi elevado. Esta é uma espécie considerada pioneira, comum em locais que estão se recuperando após alterações ambientais com grande capacidade de rebrota nos períodos de chuva mesmo após cortada pelo homem (Maia, 2004). Nas áreas mais impactadas como a Estação Experimental de São João do Cariri e a Flona de Açu, a presença do *Croton blanchetianus* foi menor. Uma provável explicação seria que os processos antrópicos na área são intensos, constantes e recentes, dificultando e desacelerando o processo de regeneração. A presença do *Jatropha mollissima* (pinhão-bravo) reforça estes dados, pois esta espécie vegetal ocorre em áreas com degradação ambiental em curso.

Drumond et al. (2002), Alcoforado-Filho et al. (2003) e Andrade et al. (2005), obtiveram resultados semelhantes aos nossos, indicando a maior abundância de alguns desses táxons, nas áreas mais antropizadas das caatingas, uma delas inserida no município de São João do Cariri (Sampaio et al. 1998, Pereira et al. 2001). Segundo Fabricante e Andrade (2007) *Cenostigma pyramidalis*, *Croton blanchethianus* e *Jatropha mollissima* quando em condições ideais, podem formar grandes populações agregadas com grande número de indivíduos, compondo uma massa regenerante com altura máxima entorno dos 3m. Há evidências de que os galhadores são abundantes em habitats modificados pela ação antrópica (Altamirano et al., 2016), porém alguns galhadores não toleram pequenas alterações ambientais, ocorrendo apenas em ambientes menos impactados, o que os torna potenciais indicadores da qualidade ambiental (Julião et al., 2005).

Assim, os insetos galhadores são modelos eficazes no monitoramento de impacto humano (Julião et al., 2005) por estabelecer uma interação espécie específica de fácil identificação através dos seus morfotipos e por serem sensíveis às mudanças em suas plantas hospedeiras ou em seu ambiente (Toma et al., 2014). Historicamente, todas as áreas levantadas neste estudo eram fazendas com intenso processos de pastoreio e uso do solo. As áreas transformadas em Reservas Particulares do

Patrimônio Natural após algum tempo, refletiram este esforço de conservação com o aumento da diversidade de espécies de plantas e, conseqüentemente, de espécies galhadoras.

CONCLUSÕES

Nosso estudo concluiu que o registro de indução da maioria das galhas nas folhas, a prevalência dos morfotipos globoides, fusiformes e lenticular com Fabaceae como principal família botânica, corroboram padrões ecológicos globalmente reconhecidos na literatura à cerca do comportamento de colonização dos insetos galhadores.

Com base em nossos achados, é possível concluir que os remanescentes de vegetação de Caatinga na Depressão Sertaneja estão sob pressão humana e isto influencia tanto a comunidade de plantas hospedeiras quanto a ocorrência de galhas de insetos. De acordo com o ambiente, a riqueza e a abundância de plantas e galhas são maiores nas áreas menos impactadas em relação às áreas mais impactadas. A composição de espécies de plantas influenciou a de indutores de galhas quanto à diferença entre os ambientes.

Nosso estudo se destaca como o primeiro a utilizar o Índice da pegada humana para seleção de áreas e avaliação do efeito da pegada humana sobre a diversidade de plantas e galhas em florestas sazonalmente secas no Brasil.

Assim, os nossos dados suportam a conclusão de que áreas mais conservadas dentro de uma mesma ecorregião da Caatinga apresentam maior colonização por parte da fauna de insetos galhadores, onde há abundância de recursos e a estrutura da vegetação encontra-se estável.

Estudos futuros em diversos ambientes devem ser encorajados para que mais áreas de conservação possam ser monitoradas quanto às pressões antrópicas em curso, observando-se se a ocorrência de galhas indica mudanças na estrutura da vegetação e se os padrões aqui encontrados se repetem.

REFERÊNCIAS

- Andrade-lima, d. 1981. The Caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica** 4: 149-163.
- ANDRADE, L.A et al. 2005. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, estado da Paraíba. **Cerne**, 11(3): 253- 262.
- Alcântara, J. A.; Souza, E. B. & Braga, P. E. T. 2017. Ocorrência e caracterização de galhas em duas áreas do noroeste do Ceará, Brasil. **Natureza on line** 15:33-40.
- ALCOFORADO-FILHO, F.G.; SAMPAIO, V.S.B. & RODAL, M.J.N. 2003. Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia espinhosa arbórea em Caruaru, Pernambuco. **Acta Botanica Brasílica**, 17(2): 287-303.
- Altamirano, A.; Valladares, G.; Kuzmanich, N. & Salvo, A. 2016. Gallling insect in a fragmented forest: incidence of habitat loss, edge effects and plant availability. **Journal of Insect Conservation** 20:119-127
- Araújo WS, Scareli-Santos C, Guilherme FAG, Cuevas-Reyes P. 2013. Comparing galling insect richness among Neotropical savannas: effects of plant richness, vegetation structure and super-host presence. **Biodivers Conserv** 22:1083–109
- Araújo WS, Tscharrntke T, Almeida-Neto M,. 2015. Global effects of land use intensity on the impoverishment of insect herbivore assemblages. **Biodivers Conserv** 24:271–285.
- Araújo WS. 2017. Plant species richness mediates the effects of vegetation structure, but not soil fertility, on insect gall richness in a savanna in Brazil. **J Trop Ecol** 33:197–204
- Araújo WS, Freitas ÉVD, Kollár J, Pessoa RO, Corgosinho PHC, Valério HM, Falcão LAD, Fagundes M, Pimenta MAS, Faria ML, Martins WP, Borges MAZ. 2019. Host specialization in plant galling interactions: contrasting mites and insects. **Diversity** 11:180

Fagundes, M; et al, 2020. Diversity of Gall-Inducing Insects Associated With a Widely Distributed Tropical Tree Species: Testing the Environmental Stress Hypothesis. **Environ entomol** , v. 49, p. 1-10..

ARAÚJO, Walter Santos et al., 2021. Plant diversity drives responses of gall-inducing insects to anthropization in Neotropical savannas. *Tropical Ecology* , v. 62, p. 1, 2021.

Bagatto G, Shorthouse JD, 1991. Accumulation of copper and nickel in plant tissues and an insect gall of lowbush blueberry, *Vaccinium angustifolium*, near an ore smelter at Sudbury, Ontario, Canada. **Can J Botany** 69:1483–1490.

Bates, Douglas & Mächler, Martin & Dai, Bin. 2011. lme4: Linear Mixed-Effects Models Using Eigen and S4 Classes.

BLANCHE, K.R. 2000. Diversity of insect-induced galls along a temperature-rainfall gradient in the tropical savannah region of the Northern Territory, Australia. **Austral Ecology** 25: 311-318

BFG - The Brazil Flora Group (2015) **Growing knowledge: an overview of seed plant diversity in Brazil**. *Rodriguésia* 66: 1085-1113.

Bolker, B. et al. 2009. Generalized Linear Mixed Models: A Practical Guide for Ecology and Evolution. **Trends in ecology & evolution** 24. 127-35.

M, Maia VC, Fernandes GW 2009. As espécies de galhas (Diptera, Cecidomyiidae) são especialistas em plantas hospedeiras? **Rev Bras Entomol** 53:365–378.

Concepción ED, Moretti M, Altermatt F, Nobis MP, Obrist MK. 2015. Impacts of urbanisation on biodiversity: the role of species mobility, degree of specialisation and spatial scale. **Oikos** 124:1571– 1582

Cornelissen, T. , de Carvalho Guimarães, C. D. , Rodrigues Viana, J. P. , & Silva, B. (2013). Interspecific competition influences the organization of a diverse sessile insect community. **Acta Oecologica**, 52, 15–18.

Chao, A. and Jost, L. (2012) Coverage-based rarefaction: standardizing samples by completeness rather than by sample size. **Ecology**, 93, 2533–2547

Chao, Anne & Ma, K & Hsieh, T. C. 2016. User's Guide for iNEXT Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity.

- Cuevas-reyes, P. et al. 2003. Species richness of gall-forming insects in tropical rain forest: correlations with plant diversity and soil fertility. **Biodiversity & Conservation** 12: 411-422.
- Cuevas-reyes, P. et al. 2004. Diversity of gall-inducing insects in a Mexican tropical dry forest: the importance of plant species richness, life-forms, host plant age and plant density. **Journal of Ecology** 92: 707-716.
- Doughty CE, Impactos humanos pré-industriais no meio ambiente global e regional. **Anu. Rev. Ambiente. Recurso.** 38, 503-527.2013.
- Dreger-Jauffret, F., and Shorthouse, J. D. 1992. “**Diversity of gall-inducing insects and their galls,**” in *Biology of Insect-Induced Galls*, eds J. D. Shorthouse and O. Rohfritsch (New York, NY: Oxford University Press), p. 8–33.
- Drumond, M.A et al. 2002. Inventário e sociabilidade de espécies arbóreas e arbustiva da Caatinga na Região de Petrolina, PE. *Brasil Florestal*, 74: 37-43
- Fagundes, M et al. 2018. Plant phenological asynchrony and community structure of gall-inducing insects in a super-host tropical tree species. **Ecology Evolution**, 8(22):10687–10697.
- Fabricante, J.R and Andrade, L.A. 2007. Análise estrutural de um remanescente de caatinga no seridó paraibano. **Oecol. Bras.**, 11 (3): 341-349
- Fahrig, L. et al. Rethinking patch size and isolation effects: The habitat amount hypothesis. **Journal of Biogeography** 40(9) 2013.
- Felt, E. P., 1940. *Plant galls and gall makers*. Ithaca, Comstock Publishing. 364p.
- Foley, J. A. et al. 2005. Global consequences of land use. *Science* 309, 570–574
- Fernandes, G. W. A. & Martins, R. P. 1985. Tumores de plantas: As galhas. **Ciência Hoje** 4:58-64
- Fernandes, G. W. & P. W. Price. 1988. Biogeographical gradients in galling species richness: tests of hypotheses. **Oecologia**. 76: 161-167.
- Formiga, A. T., Soares, G. L. G., and Isias, R. M. S. (2011). Responses of the host plant tissues to gall induction in *Aspidosperma spruceanum* Müell. Arg. (Apocynaceae). **Amer. J. Plant Sci.** 2, 823–834

Freitas, E. V. D et al. 2020. Urbanization alters the composition, but not the diversity and structure, of Neotropical savanna woody plant communities. **Folia Geobotanica** , p. 1-14,

FLORA E FUNGA DO BRASIL. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 12 outubro 2022.

Gonçalves-Alvim, S. J. & Fernandes, G. W. 2001. Biodiversity of galling insects: historical, community and habitat effects in four neotropical savannas. **Biodiversity and Conservation** 10:79-98.

Haddad, N.M et al,. 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Sci. Av.** 1, e1500052.

Harting, F. 2022. DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical Multi-Level Mixed Regression Models. R package version 0.4.6. <http://florianhartig.github.io/DHARMA/>

Isaias, R. M. S.; Carneiro, R. G. S.; Oliveira, D. C. & Santos, J. C. 2013. Illustrated and annotated checklist of Brazilian gall morphotypes. **Neotropical Entomology** 42(3):230-239.

Juliao gr, Fernandes GW, Negreiros D, Bede[^] L, Arau[^]jo RC. 2005. Insetos galhadores associados a duas espécies de plantas invasoras de áreas urbanas e periurbanas. **Rev Bras Entomol** 49:97–106

Karp, D. S. et al. Intensive agriculture erodes β -diversity at large scales. **Ecol. Lett.** 15, 963–970 (2012)

MAIA, G. N. **Caatinga: Árvores e arbustos e suas utilidades**. 1^a ed. São Paulo. Leitura e Arte editora, 2004. 413 p.

Maia, V. C. 2013. Insect galls from restingas of Southeastern Brazil, with new records. **Biota Neotropica** 13(1):184-209.

McArdle, Brian & Anderson, M. (2001). Fitting Multivariate Models to Community Data: A Comment on Distance-Based Redundancy Analysis. **Ecology**. 82. 290-297.

Malhi, Yadvinder et al. 2014. Tropical Forests in the Anthropocene. **Annual Review of Environment and Resources**. 39. 125-159.

Morante-Filho, J.C., Arroyo-Rodríguez, V. & Faria, D. (2015) Data from: Patterns and predictors of β -diversity in the fragmented Brazilian Atlantic forest: a multiscale analysis of forest specialist and generalist birds.

Newbold, T., L.N. Hudson, S.L. Hill, S. Contu, I. Lysenko, R.A. Senior, L. Börger, D.J. Bennett, et al. 2015. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. **Nature** 520: 45.

Nogueira, R. M.; Costa, E. C.; Carvalho-Fernandes, S. P. & Santos-Silva, J. 2016. Insect galls from Serra Geral, Caetité, BA, Brazil. **Biota Neotropica** 16(1):1-10.

Oksanen, Jari & Blanchet, F. Guillaume & Kindt, Roeland & Legendre, P & O'Hara, RB & Simpson, Gavin & Solymos, Peter & Stevens, MHH & Wagner, Helene. (2010). Package 'vegan': Community Ecology Package. Version 1.17--2.

Oyama, k. et al.,. 2003. Regional and local species richness of gall-inducing insects in two tropical rain forests in Mexico. **J. Trop. Ecol.** 19(5):595-598

Prado, D. E. **As Caatingas da América do Sul**. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds). Ecologia e conservação da Caatinga. Ed. Universitária da UFPE, Recife – PE. 2003. p. 03-74.

PEREIRA, et al. 2001. Regeneração Natural em um remanescente de caatinga sob diferentes níveis de perpetuação, no Agreste paraibano. **Acta Botanica Brasilica**,15(3): 413-426.

Martini, V. et al., 2021. Bottom-up and top-down forces in plant-gall relationships: Testing the hypotheses of resource concentration, associational resistance and host fitness reduction. **Ecological Entomology**. 46.

Ruckelshaus M H et al 2020 The IPBES global assessment: pathways to action **Trends Ecol. Evol.** 35 407–14

SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, E.L. DE.; SALCEDO, I. H. & TIESSEN, H. 1998. Regeneração da vegetação de Caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 33(5): 621-632.

Sanderson, E.W., M. Jaiteh, M.A. Levy, K.H. Redford, A.V. Wannebo, and G. Woolmer. 2002. The human footprint and the last of the wild: the human footprint is a global map

of human influence on the land surface, which suggests that human beings are stewards of nature, whether we like it or not. **AIBS Bulletin** 52: 891–904.

Santos, J. C.; Almeida-Cortez, J. S. & Fernandes, G. W. 2011. Richness of gall-inducing insects in the tropical dry forest (Caatinga) of Pernambuco. **Revista Brasileira de Entomologia** 55(1):45-54.

Saito, Victor & Urso-Guimarães, Maria. (2012). Characterization of galls, insect galls and associated fauna of Ecological Station of Jataí (Luiz Antônio, SP). **Biota Neotropica**. 12. 99-107.

Silva, Juliana & Araújo, Tainar. (2020). Are Fabaceae the principal super-hosts of galls in Brazil? **An Acad Bras de Cienc**. 92.

Shorthouse, J.D., Wool, d. & Raman, A. 2005. Gall-inducing insects - Nature's most sophisticated herbivores. **Basic Appl. Ecol**. 6(5):407-411.

Southwood, T. R. 1960. The abundance of Hawaiian trees and number of their associated insects and their host plants. Proceedings of the Hawaüan. **Entomological Society** 17: 299-303.

Southwood, T. R. 1961. The number of species of insects associated with various trees. **Journal of Animal Ecology** 30: 1-8

Souza DG, Sfair JC, Arroyo-Rodríguez V, Santos JC, Tabarelli M. 2019. Depauperation and divergence of plant-specialist herbivore assemblages in a fragmented tropical landscape. **Ecol Entomol** 44:172–181

Toma, T. S.; Fernandes, G. W.; de Souza, D. G.; Tabarelli, M. & Santos, J. C. 2014. **Galling insects as indicators of habitat quality**. In: Fernandes, G. W. & Santos, J. C. eds. Neotropical insect galls. Netherlands, Springer, p. 143-150

Urso-Guimarães, M. V., C. Scarelli-Santos & A. C. Bonifácio-Silva. 2003. Occurrence and characterization of entomogen galls in plants from natural vegetation areas in Delfinópolis, MG, Brazil. **Brazilian Journal of Biology** 63: 705-715.

Venter, O., E.W. Sanderson, A. Magrach, J.R. Allan, J. Beher, K.P. Jones, H.P. Possingham, W.F. Laurance, P. Wood, et al. 2016. Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. **Nature Communications** 7: 12558.

Velloso AL, Sampaio EV, Pareyn FG. c. **Ecorregiões propostas para o bioma caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental, The Nature Conservancy do Brasil, 2002. 76 p.

WRIGHT, M.G.; SAMWAYS, M.J. 1998. Insect species richness tracking plant species richness in a diverse flora: gall-insects in the Cape Floristic Region, South Africa. **Oecologia** 115: 427- 433.