



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

Instituto de Ciências Biológicas

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução



Padrões de diversidade de insetos galhadores no Cerrado: a importância da comunidade de plantas

Walter Santos de Araújo

Goiânia, fevereiro de 2011

Walter Santos de Araújo

Padrões de diversidade de insetos galhadores no Cerrado: a importância da comunidade de plantas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Goiás, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Ecologia e Evolução.

Orientador: Frederico Augusto Guimarães Guilherme

Co-orientadora: Claudia Scareli-Santos

Goiânia, Fevereiro de 2011

**Para minha família,
namorada e
amigos.**

AGRADECIMENTOS

À Deus, por muitos incompreendido, por outros desprezado, mas para mim a razão de tudo.

Ao Fred não só pela orientação, mas pelo voto de confiança em aceitar meu projeto, pela excelente hospitalidade jataiense e por mesmo a distância ter estado sempre presente em todas as fases de desenvolvimento do trabalho.

À Claudia pela co-orientação e, sobretudo, sugestões e ajuda durante a elaboração do projeto.

À Universidade Federal de Goiás e Pós-Graduação em Ecologia e Evolução pelo apoio técnico e logístico concedido para o desenvolvimento dos trabalhos de campo.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos sem a qual esse trabalho não poderia ser realizado.

Aos coordenadores do programa Paulo de Marco e Adriano Sanches Melo, pela assessoria; aos professores pelos ensinamentos, críticas e sugestões ao trabalho; e aos colegas de curso pelo período que passamos juntos, discussões e troca de ideias e; à Gleizilene Braz, secretária do programa, que muito me aturou e auxiliou durante meu período acadêmico.

A todos os membros e amigos do Instituto de Pesquisas Ambientais e Ações Conservacionistas – IPAAC, pela ajuda em campo e apoio fora dele.

Ao professor Benedito Baptista dos Santos, meu grande amigo, por ter colocado à disposição o laboratório de entomologia, pela ajuda nos trabalhos de campo e, sobretudo, pelo apoio e encorajamento.

Aos membros da banca Edivani Franceschinelli e Divino Brandão pela participação na banca.

A todos do Laboratório de Entomologia e do Laboratório de Morfologia e Taxonomia Vegetal do ICB-UFG.

Ao professor Glein M. Araújo (UFU) pela recomendação de áreas de estudo e auxílio nos trabalhos em Uberlândia.

Aos senhores Geraldo (Fazenda Silvânia) e Júnior (Banana Menina) por disponibilizarem suas áreas particulares para os trabalhos de campo.

Aos meus amigos biólogos Augusto Gonzaga, Bárbara Ribeiro, Éder Porfírio, Kleber Espírito-Santo Leonardo Bergamini, Luciano Lopes, Paulo Zava e Thaísa Michelin pela ajuda nos trabalhos de campo, discussão de ideias e análises de dados.

Aos meus amigos não biólogos Bael, Melque, Natan e Tiago que tiveram seus dias de biólogos me ajudando nas viagens e trabalhos de campo.

Ao meu pai Miguel (*in memoriam*), que ficou pelo caminho durante o período do mestrado, mas que sempre me apoiou sendo um exemplo de alegria, honestidade e força.

À minha mãe Sebastiana por ter sempre acreditado em mim, me ajudado nos momentos difíceis e ser um exemplo de força e perseverança.

Aos meus irmãos pelo apoio e encorajamento, em especial minha irmã Vanessa por me emprestar o carro para os trabalhos de campo e por me ajudar nos momentos de dificuldade.

À minha namorada Priscila, pelo amor, carinho, compreensão e apoio em todas as áreas da minha vida.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	1
LISTA DE FIGURAS	2
RESUMO	3
ABSTRACT	4
INTRODUÇÃO GERAL	5
CAPÍTULO 1: Vegetational structure and gall-inducing insects diversity in the Brazilian Cerrado	10
Abstract	10
Resumo	11
Introduction	12
Material and Methods	13
Study area	13
Methodology	14
Data analysis	14
Results	14
Woody community structure	14
Resource concentration hypothesis	15
Vegetal cover hypothesis	15
Plant architecture hypothesis	15
Discussion	16
References	19
CAPÍTULO 2: Relações entre riqueza e composição da comunidade de plantas e a diversidade de insetos galhadores no cerrado do Brasil.	30
Resumo	30
Abstract	31
Introdução	32
Material e Métodos	33
Área de Estudo	33
Amostragem	34
Análise de Dados	34
Resultados	35
Diversidade de plantas hospedeiras e insetos galhadores	35
Hipótese da riqueza de plantas	35
Hipótese da composição florística	36
Similaridade florística e faunística	36
Discussão	37
Referências	39

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Table 1	Location and characterization of the areas studied in the Brazilian Cerrado.	24
----------------	--	----

CAPÍTULO 2

Tabela 1	Diversidade de plantas e insetos galhadores em diferentes localidades do Cerrado brasileiro.	44
Tabela 2	Taxa de plantas super-hospedeiros de insetos galhadores e morfotipos de galhas em diferentes localidades do Cerrado brasileiro.	45
Tabela 3	Diferenças nas médias ($\pm$ DP) de riqueza de insetos galhadores e plantas galhadas entre áreas com diferentes taxa de plantas presentes no Cerrado brasileiro.	47

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

- Figura 1** Imagem de satélite mostrando as áreas onde foram realizados os inventários de insetos galhadores e plantas hospedeiras nos estados do Distrito Federal Goiás, Minas Gerais e Tocantins. 9

CAPÍTULO 1

- Figure 1** Relationship between galling insects richness and host plant density ($r^2 = 0.31$; $p < 0.05$; $y = 3.8043 + 0.1105 \cdot x$). 26
- Figure 2** Relationship between galling insects richness and basal area of vegetation (m^2/ha) ($r^2 = 0.45$; $p < 0.01$; $y = 4.7553 + 12.247 \cdot x$). 27
- Figure 3** Relationship between galling insects richness and average height (m) of vegetation ($r^2 = 0.30$; $p < 0.05$; $y = 3.3993 + 4.3945 \cdot x$). 28
- Figure 4** Richness of galling insects between the different height class (ANOVA: $F_{(2, 42)} = 6.68$; $p < 0.01$). 29

CAPÍTULO 2

- Figura 1** Relação entre a riqueza de insetos galhadores e a riqueza de plantas ($r^2 = 0,46$; $p < 0,01$; $y = -3,3654 + 0,6284 \cdot x$). 48
- Figura 2** Relação entre a riqueza de insetos galhadores sem os taxa super-hospedeiros e a riqueza de plantas ($r^2 = 0,33$; $p < 0,05$; $y = -2,7394 + 0,3926 \cdot x$). 49
- Figura 3** Diagrama de agrupamento (UPGMA) para A) similaridade de composição de espécies de plantas hospedeiras e B) similaridade de composição de espécies de insetos galhadores entre diferentes áreas do Cerrado brasileiro (para detalhes sobre as áreas ver o texto). 50

RESUMO

A ideia de que plantas hospedeiras influenciam na riqueza de insetos galhadores é bastante difundida e tem diversas abordagens na literatura. Algumas dessas abordagens levam em conta a riqueza de hospedeiras, a densidade da vegetação, a composição de espécies vegetais e a arquitetura das plantas, como fatores que influenciam nos padrões de diversidade dos galhadores. Nesse trabalho investigamos a importância da estrutura, riqueza e composição da comunidade de plantas para a distribuição de insetos galhadores. Inventários sobre a diversidade de morfotipos de galhas e plantas hospedeiras foram realizados em várias áreas do Cerrado brasileiro, nos estados do Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Tocantins. Ao todo foram amostradas 1882 plantas pertencentes a 131 espécies e 43 famílias vegetais, sendo que 64 espécies (48,8%) e 31 famílias (72,1%) hospedaram insetos galhadores. Registramos 112 espécies de insetos galhadores que ocorreram principalmente em Vochysiaceae (com 19 espécies), seguida de Fabaceae e Malpighiaceae (com 13 e 12 espécies, respectivamente). Foram registrados cinco gêneros e 13 espécies de plantas, consideradas como super-hospedeiras de insetos galhadores. Essas taxa abrigaram juntos 45 morfotipos de galhas, o que representa 40% da diversidade total amostrada. O gênero *Qualea* (Vochysiaceae) abrigou sozinho 18 morfotipos de galhas. No nível específico *Qualea parviflora* foi a espécie com maior riqueza de galhas (oito tipos). Ao nível estrutural, a hipótese da cobertura vegetal foi o melhor preditor da riqueza de galhadores, explicando 45%. Também encontramos resultados que mostram que fatores como a densidade e a arquitetura das plantas influenciam positivamente a diversidade de insetos galhadores. A riqueza de espécies de plantas e a composição da comunidade vegetal também foram importantes para a distribuição dos insetos galhadores. Por exemplo, locais onde os taxa super-hospedeiros estavam presentes tiveram duas vezes mais galhas do que onde estavam ausentes. Nossos resultados apontam que tanto a estrutura quanto a riqueza e composição da flora podem ter influências na diversidade de insetos galhadores. Desse modo, os resultados obtidos proporcionam uma ampliação dos conhecimentos da diversidade de insetos galhadores, sob o ponto de vista botânico.

ABSTRACT

The idea that host plants influence the richness of galling is widespread and has several approaches in literature. Many of these approaches take into account the hosts richness, the density of vegetation, plant species composition and architecture of plants, as factors that influence the diversity patterns of gall-inducing insects. In this study we investigated the importance of structure, richness and community composition of plants to the distribution of galling. Inventories on the diversity of gall morphotypes and host plants were conducted in various areas of the Brazilian Cerrado, in the states of Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais and Tocantins. Altogether we sampled 1882 plants belonging to 131 species and 43 plant families, among which 64 species (48.8%) and 31 families (72.1%) had galling. We recorded 112 species of galling that occurred mainly in Vochysiaceae (with 19 species), followed by Fabaceae and Malpighiaceae (with 13 and 12 species respectively). Were recorded five genera and 13 species of plants, considered as a super-host of galling. These taxa housed together 45 morphotypes of gall, which represents 40% of the total diversity sampled. The genus *Qualea* (Vochysiaceae) alone sheltered 18 morphotypes of gall. No specific level *Qualea parviflora* was the species with the greatest richness of gall (eight types). At the structural level, the vegetal cover hypothesis was the best predictor of the richness of galling, explaining 45%. We also find results which show that factors such as the density and architecture of plants positively influenced the diversity of galling. The richness of plant species and plant community composition were also important for the distribution of galling. For example, where the super-host taxa were present occurred two times more galls than where they were absent. Our results indicate that both the structure and the richness and composition of the flora influenced the diversity of galling. Thus, the results provide an expanding knowledge of the diversity of gall-inducing insects, under the botanical point of view.

INTRODUÇÃO GERAL

Apesar dos vegetais representarem fontes fixas e abundantes de alimentos, os herbívoros encontraram diversas dificuldades para seu sucesso evolutivo, tais como a localização das plantas adequadas, disponibilidade de populações viáveis, barreiras físicas e nutricionais dos próprios tecidos vegetais, entre outras (Ribeiro & Fernandes 2000; Stone & Schönrogge 2003). Desse modo, o desenvolvimento de galhas entomógenas tem sido uma estratégia adaptativa de muitos insetos conseguirem alimentos e ainda proteção contra predadores (Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001; Mendonça 2001).

As galhas são transformações atípicas dos tecidos vegetais (hipertrofia e/ou hiperplasia) provocadas pelo desenvolvimento de inúmeros organismos, principalmente insetos (Price 2005). Morfologicamente a galha é o fenótipo estendido do inseto galhador (Stone & Schönrogge 2003). Por esse motivo o uso de morfotipos de galhas, para estimar a diversidade de insetos, é um parâmetro fiel e bastante difundido, assumindo que cada morfotipo de galha é único do inseto galhador e que cada espécie galhadora é específica quanto à sua planta hospedeira (Fernandes & Price 1988; Abrahamson et al. 1998; Espírito-Santo & Fernandes 2007).

Os insetos galhadores geralmente são mais diversos em ambientes xéricos (Fernandes & Price 1988). Estudos sobre o efeito de diferentes habitats na riqueza e abundância de galhas, demonstram um gradiente de diversidade no sentido cerrado>mata, evidenciando uma maior preferência dos galhadores por ambientes xéricos, em oposição aos méxicos (Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001). Essa preferência dos insetos galhadores por ambientes xéricos pode ser explicada pela hipótese do estresse nutricional, conforme descrito por Fernandes & Price (1988). De acordo com esses autores, a riqueza de galhadores está diretamente relacionada com o estresse nutricional do ambiente (deficiência de água e nutrientes no solo). Isso se deve ao grande investimento das plantas de ambientes estressados nutricionalmente, no armazenamento de lipídios, carboidratos e na baixa produção de proteínas. Nessas condições as plantas são mais esclerófilas, com folhas e caules coriáceos, alta pilosidade, o que reduz a probabilidade de abscisão (Fernandes et al. 1996; Gonçalves-Alvim & Fernandes, 2001).

As interações entre galhadores e plantas, são bastante específicas, estando quase sempre nos mesmos grupos taxonômicos (Fernandes et al. 1996). A maioria dos gêneros e espécies de insetos galhadores ocorre sempre nos mesmos gêneros e espécies de plantas (Carneiro et al. 2009). Dessa maneira, a distribuição e abundância das plantas hospedeiras podem influenciar na comunidade de insetos galhadores (Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001). Muitos estudos e hipóteses têm sido propostas nesse sentido para explicar as relações entre os padrões de diversidade de plantas e padrões de diversidade de insetos galhadores (Wright e Samways 1988; Vedtman & McGeoch 2003; Cuevas-Reyes et al. 2004; Mendonça 2007).

O Cerrado, devido às suas características escleromórficas, é um bioma que apresenta uma alta diversidade de galhas (Fernandes & Price 1988; Price et al. 1998; Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001). Esse bioma apresenta uma alta diversidade florística (Mendonça et al. 1998) e uma grande variedade de habitats e fitofisionomias (Ribeiro & Walter 1998), sendo um ambiente de estudo muito propício para o estudo das relações entre insetos galhadores e plantas hospedeiras. Inventários sobre a diversidade de insetos galhadores e plantas hospedeiras foram realizados em 15 sítios distribuídos nos estados de Goiás, Minas Gerais e Tocantins, além do Distrito Federal (Figura 1).

Nesse contexto, o objetivo geral desse estudo foi investigar a importância da estrutura, riqueza e composição da comunidade de plantas para a distribuição de insetos galhadores no Cerrado brasileiro. Para isso várias hipóteses foram testadas, sendo elas: 1) hipótese da concentração de recursos; 2) hipótese da cobertura vegetal; 3) hipótese da arquitetura de plantas; 4) hipótese da riqueza de plantas; 5) hipótese da composição florística e 6) hipótese da similaridade florística e faunística.

REFERÊNCIAS CITADAS

Abrahamson, W.G.; Melika, G. Scrafford, R. & Csóka, G. 1998. Gall-inducing insects provide insights into plant systematic relationships. *American Journal of Botany* 85: 1159–1165.

- Carneiro, M.A.A.; Branco, C.S.A.; Braga, C.E.D.; Almada, E.D.; Costa, M.B.M.; Maia, V.C. & Fernandes, G.W. 2009. Are gall midge species (Diptera, Cecidomyiidae) host-plant specialists? *Revista Brasileira de Entomologia* 53: 365-378.
- Cuevas-Reyes, P.; Quesada, M.; Hanson, P. Dirzo, R. & Oyama, K. 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.
- Espírito-Santo, M.M. & Fernandes, G.W. 2007. How many species of galling insects are there on earth and where they are? *Annals of the Entomological Society of America* 100: 95-99.
- Fernandes, G.W. & Price, P.W. 1988. Biogeographical gradients in galling species richness: tests of hypotheses. *Oecologia* 76: 161-167.
- Fernandes, G.W.; Carneiro, M.A.A.; Lara, A.C.F.; Allain, L.A.; Andrade, G.I.; Julião, G.; Reis, T.C. & Silva, I.M. 1996. Galling insects on neotropical species of *Baccharis* (Asteraceae). *Tropical Zoology* 9: 315-332.
- 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.
- Mendonça, M.S. 2001. Galling insect diversity patterns: the resource synchronisation hypothesis. *Oikos* 95: 171-176.
- Mendonça, M.S. 2007. Plant diversity and galling arthropod diversity - searching for taxonomic patterns in an animal-plant interaction in the Neotropics. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 42: 347-357.
- Mendonça, R.C.; Felfili, J.M.; Walter, B.M.T.; Silva-Júnior, M.C.; Rezende, A.V.; Filgueiras, T.S. & Nogueira, P.E.. 1998. Flora vascular do Cerrado. *In*: S.M. Sano; S.P. Almeida (eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Embrapa/CPAC. p. 289-556.

- Price, P.W. 2005. Adaptative radiation of gall-inducing insects. *Basic and Applied Ecology* 6: 413-421.
- Price, P.W.; Fernandes, G.W.; Lara, A.C.F.; Brawn, J.; Gerling, D.; Barrios, H.; Wright, M.; Ribeiro, S.P. & Rothcliff, N. 1998. Global patterns in local number of insect galling species. *Journal of Biogeography* 25: 581-592.
- Ribeiro, J.F. & Walter, B.M.T. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. *In*: S.M. Sano; S.P. Almeida (eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Embrapa/CPAC, p. 89-168.
- Ribeiro, S.P. & Fernandes, G.W. 2000. Interações entre insetos e plantas no cerrado: teoria e hipóteses de trabalho. *In*: Martins, R.P.; Lewinsohn, T.M. & Barbeitos, M.S. (eds). *Ecologia e Comportamento de Insetos. Série Oecologia Brasiliensis*, vol. VIII. PPGE-UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, p. 299-320.
- Stone, G.N. & Schönrogge, K. 2003. The adaptive significance of insect gall morphology. *Trends in Ecology & Evolution* 18: 512- 522.
- Vedtman, R. & Mcgeoch, M.A. 2003. Gall-forming insect species richness along a non-scleromorphic vegetation rainfall gradient in South Africa: the importance of plant community composition. *Austral Ecology* 28: 1-13.
- 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.

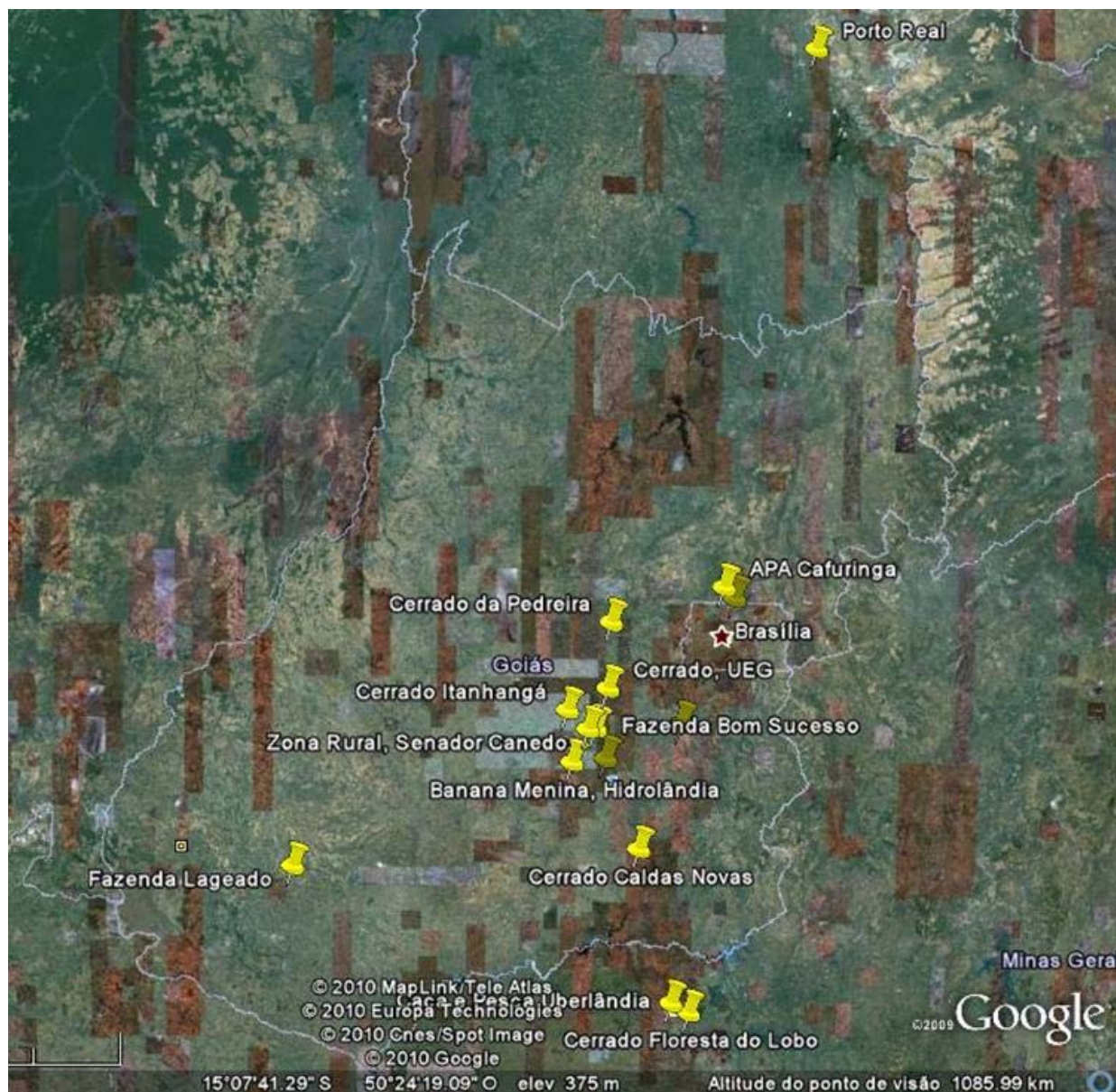


Figura 1. Imagem de satélite mostrando as áreas onde foram realizados os inventários de insetos galhadores e plantas hospedeiras nos estados do Distrito Federal Goiás, Minas Gerais e Tocantins.

CAPÍTULO 1

Vegetational structure and gall-inducing insects diversity in the Brazilian Cerrado*

Walter Santos de Araújo^{1,3} & Frederico Augusto Guimarães Guilherme^{1,2}

1. Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, Departamento de Ecologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás, Campus II, Caixa Postal 131, 74001-970, Goiânia, GO, Brazil

2. Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí - Unidade Jatobá, BR 364 / Km 192 - Parque Industrial, Jataí, GO, Brazil.

3. Autor para correspondência: walterbioaraujo@yahoo.com.br

* Manuscript written under the guidelines of the journal Biotropica

Abstract - Some structural aspects of vegetation, such as density, coverage and architecture can be determinant in the distribution of insect galls. In this study we tested the following hypotheses: 1) resource concentration hypothesis, which provides an increased of galling richness with increasing plant density; 2) vegetal cover hypothesis, which predicts an increase in diversity gall with increasing of plant basal area; 3) plant architecture hypothesis, which predicts that plants with higher structural complexity show a greatest galling richness. Inventories on the gall-inducing insects diversity and host plants were conducted in vegetations of neotropical savanna (cerrado sensu stricto) in 15 areas of the Brazilian Cerrado. The plant density was positively correlated with the richness of galling, explaining 31% of its variation, and the resource concentration hypothesis corroborated. We found higher richness of galling insects in areas with

higher average vegetation height, however, individuals of intermediate height classes accumulated more species of galling, this results partially support the hypothesis of plant architecture. The best predictor for the diversity of galling was the basal area (explaining 45% of the variation), as predicted by the vegetal cover hypothesis. This is because this parameter represents a good measure of the abundance and size of plants. Thus, the galling insect diversity was best explained by the vegetal cover hypothesis, because this hypothesis is intermediate between the resource concentration hypothesis and architectural complexity.

Key-words: architecture, galls, plant density, vegetal cover, woody structure

Resumo - Alguns aspectos estruturas da vegetação, como a densidade, cobertura e arquitetura podem ser determinantes na distribuição de galhas de insetos. Nesse estudo, testamos as seguintes hipóteses: 1) hipótese da concentração de recursos, que prevê um incremento da riqueza de insetos galhadores com o aumento da densidade de plantas; 2) hipótese da cobertura vegetal, que prediz um aumento da diversidade de galhas com o aumento da área basal das plantas; 3) hipótese da arquitetura de plantas, que prediz que plantas com maior complexidade estrutural apresentam uma maior riqueza de galhadores. Inventários sobre a diversidade de insetos galhadores e plantas hospedeiras foram realizados em vegetações de cerrado sentido restrito em 15 áreas do Cerrado Brasileiro. A densidade de plantas foi positivamente relacionada com a riqueza de galhadores, explicando 31% de sua variação, corroborando a hipótese da concentração de recursos. Foi encontrada uma maior riqueza de insetos galhadores em áreas com maior altura média da vegetação, entretanto, indivíduos de classes de altura intermediárias acumularam mais espécies de galhadores, esses resultados suportam parcialmente a hipótese da arquitetura de plantas. O melhor preditor da diversidade de galhadores foi a área basal (explicando 45% da variação), como prediz a hipótese da cobertura vegetal. Esse foi um bom parâmetro por que representa uma boa medida de abundância e tamanho das plantas. Assim, a diversidade de insetos galhadores foi explicada pela hipótese da cobertura vegetal, pois essa hipótese é intermediária entre a hipótese da concentração de recursos e complexidade arquitetônica.

Palavras-chave: arquitetura, galhas, densidade de plantas, cobertura vegetal, estrutura vegetal

Introduction

In ecology the concentration of resources is a major factor for the distribution of species (MacArthur 1984). Resource availability or limitation may influence the dynamics and the occurrence of species according to their need (Tilman 1982). In the case of gall-inducing insects, the vegetation structure is directly related to the way resources are distributed in the environment (Lawton & Schroder 1977; Lawton 1983). Thus, some structural aspects of vegetation, such as density, coverage and architecture can be determinant in the distribution of insect galls.

The density of host plants seems to influence positively the richness of herbivorous insects in different guilds (Wilson & Janzen 1972; Ralph 1977; Raupp & Denno 1979; Begon et al. 1996), including gall-inducing insects (Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001; Cuevas-Reyes et al. 2004). For these herbivores, the increase in density of vegetation can be an indicator of abundance or nutritional quality of host plants (Salomon 1981). Therefore, the density of plants has been considered a surrogate for concentration of resources (see Cuevas-Reyes et al. 2004), being called the resource concentration hypothesis (Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001; Fleck & Fonseca 2007).

Other structural parameters may be important for the distribution of gall-inducing insects. The basal area, for example, is considered an important factor in structuring the vegetation, besides being highly variable between different sites (Felfili et al. 2004). This parameter is a measure of vegetation cover (usually calculated per hectare) represented by the occupation area of each species and of the wider community (Durigan 2003), may well be an indicator of resource concentration for the galling. Plant communities with higher basal area are not necessarily those with the highest density (Felfili et al. 2004). Thereby the vegetal cover can be important in explaining the galling richness.

Another factor that may increase the diversity of galling is the architecture of host plants (Lawton 1983). Gall-inducing insects usually have a preference for species (Price 2005), individuals (Lara et al. 2008) and parts of the host plant (Santos et al. 2008), in order to optimize performance and offspring survival. The plant architecture hypothesis predicts that the physical structure of the aerial parts of host plants influences the diversity of herbivorous insects (Strong et al. 1984). According to Lawton (1983) architecture is related to plant size, growth form, variety and persistence of plant parts. Several studies have found a positive relationship between plant architecture and galling richness and/or abundance, assessing issues such as growth form, height and number of leaves per branch (*sensu* Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001; Espírito-Santo & Fernandes 2002; Lara et al. 2008; Santos et al. 2008; Araújo & Santos 2009a).

The neotropical savannas present vegetation types with different structure where these floristics parameters may vary considerably (Ribeiro & Fernandes 1998) where these structural aspects presented here may, together or separately, influence the richness and abundance of gall-inducing insects. In the present work, our objective was assess the richness and diversity of galls in neotropical savannas with different structures, testing the following hypotheses: 1) resource concentration hypothesis, which provides an increased of galling richness with increasing plant density; 2) vegetal cover hypothesis, which predicts an increase in diversity gall with increasing of plant basal area; 3) plant architecture hypothesis, which predicts that plants with higher structural complexity harbor a greatest galling richness.

Material and Methods

Study areas – Diversity of morphotypes of gall and host plants surveys were conducted in 15 sites under the control of Cerrado biome in the states of Federal District, Goiás, Minas Gerais and Tocantins. Table 1 shows the location and description of each of the areas studied. These regions are characterized by the occurrence of periods of dry winters and rainy summers, a climate classified as Aw of Köppen (tropical rain). Has an average annual rainfall of about 1500 mm, ranging from 750 to 2000 mm (Ribeiro &

Walter 1998). The studied vegetation was neotropical savanna (*cerrado sensu stricto*) which may have different forms and subtypes, such as sparse cerrado, typical cerrado, dense cerrado and cerrado with rock outcrops (Ribeiro & Walter 1998).

Methodology – In each area were established 10 plots of 10 x 10 m, totaling 0.1 ha sampled for each site. Gallling insects were sampled in field through the morphotypes of gall (Cuevas-Reyes et al. 2003; Urso-Guimarães & Scareli-Santos 2006). The use of gall morphotypes is a parameter loyal and very used, assuming that each gall morphotype is unique of the gall-inducing insect (Stone & Schönrogge 2003) and each galling species is specific as to its host plant (Abrahamson et al. 1998; Espírito-Santo & Fernandes 2007; Fernandes & Price 1988). In the sampling included all woody plants with a circumference greater or equal to 15 cm (to 30 cm of soil). In each plot, was recorded for all species of plants found and also of host species that had galls.

Data analysis – The parameters of galling insect diversity (richness, frequency of plant species with galls and frequency of plant individuals with galls) were related to the density, basal area and plant height by stepwise multiple linear regression analysis (Zar 1996). To test the hypothesis of plant architecture at the individual level, the plants were grouped into height classes: Class I (< 2.0 m), Class II (2.0 - 3.9 m) e Class III (> 4.0 m). Usually this type of analysis is done by categorizing the habit of individuals (tree, shrub or small tree, shrub or shrublet) (see Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001). However, we chose to adopt the criterion of height classes, instead of habit, because all individuals sampled had woody structure and any sort of classification habit would be purely subjective (Oliveira-Filho 2006). All analysis were done by the program Statistica 7.0.

Results

Woody community structure

Of the 15 sites studied, most can be classified as typical cerrado (8), followed by dense cerrado (3), sparse cerrado (2) and cerrado with rock outcrops (2) (Table 1). Altogether we sampled 1882 woody individuals and density of area ranged 810 and 2070 plants.ha⁻¹ (1254.0 ± 33.8), being that 73% of sites had more than 1000 plants.ha⁻¹. The basal area also varied greatly between sites (Table 1), where the minimum was 0.66 and the maximum of 1.95 m².ha⁻¹ (mean 1.05 ± 0.37). The average height of vegetation varied between 1.90 and 5.20 m (3.24 ± 0.84). Plants richness ($F_{(2, 42)} = 12.50$; $p < 0.001$) and plant abundance ($F_{(2, 42)} = 11.78$; $p < 0.001$) were higher in Class II of height (2.0 to 3.9 m).

Resource concentration hypothesis

The plant density was positively correlated with the richness of galling, explaining 31% of its variation ($r^2 = 0.31$; $p < 0.05$; Figure 1). In general, to each 10 individuals of plants per hectare is increased a galling specie. The plant density also positively influenced the frequency of plant species and individuals with galls ($r^2 = 0.49$; $p < 0.01$ e $r^2 = 0.58$; $p < 0.001$, respectively). Therefore, the resource concentration hypothesis was corroborated in this study.

Vegetal cover hypothesis

The basal area was the main predictor of the gall-inducing insects diversity, explaining 45% of the variation ($r^2 = 0.45$; $p < 0.01$; Figure 2). Despite the frequency of species and individuals with galls are not influenced by basal area ($r^2 = 0.10$; $p = 0.24$ e $r^2 = 0.15$; $p = 0.14$, respectively), the vegetal cover hypothesis was corroborated.

Plant architecture hypothesis

The average height influenced 30% of the gall richness ($r^2 = 0.30$; $p < 0.05$; Figure 3), but not the frequency of species ($r^2 = 0.04$; $p = 0.45$) and of individuals ($r^2 = 0.10$; $p = 0.23$) with galls. To each meter increased in the average height of vegetation were

increased 4.39 galls. There was a predominance of the gall richness in the individuals of intermediate class (ANOVA: $F_{(2, 42)} = 6.68$; $p < 0.01$; Figure 4). Individuals of Class II showed an average 11.1 (± 3.7) galls, against 5.0 (± 4.1) and 7.1 (± 5.3) of Class I and III individuals, respectively. The results partially confirm the hypothesis of plant architecture.

Discussion

Gall-inducing insects are highly specialized herbivores able of choosing and manipulating the resources from plants (Mani 1964; Stone & Schönrogge 2003; Shorthouse et al. 2005; Joy & Crespi 2007). The amount of resources available and their nutritional quality are important factors for determining distribution patterns of herbivorous insects (Lewinsohn et al. 2005). The patterns of galling richness observed in this study corroborate other studies that show a positive relationship between the diversity of insects and vegetation structure (Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001; Lara et al. 2002; Cuevas-Reyes et al. 2004).

The resource concentration hypothesis proposes an increase in the richness of galling with increasing plant density (Cuevas-Reyes et al. 2004). In neotropical savanna areas in southeastern Brazil, were found positive relationships between galling richness and density of herbs and shrubs (Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001). Cuevas-Reyes et al. (2004) indicate that the density of plants was responsible for the increase in richness and frequency of 50% of galling species in deciduous forests in Mexico. In the present study this parameter explained 31% of the variation in the galling richness, and also influenced the frequency of plant species and individuals with galls.

A high plant density can be an indicator of abundance and nutritional quality of host plants, but dilute the predation pressure on plants (Solomon 1981; Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001). Another important issue is the plant density and proximity of host plants may regulate the diversity of galling through density dependent mechanisms (Cuevas-Reyes et al. 2004). Insects that live on plants such as gall-inducing insects, generally require a large area (Strong et al. 1984; Lewinsohn et al. 2005). Thus, these insects increase their chances of finding area for oviposition and offspring development in areas with high abundance of plants (Ralph 1977). It is worth noting that most galling species are specialist (Stone & Schönrogge 2003; Carneiro et al. 2009), thereby, the success of these insects depends not only of the simple increasing the density of plants, but also that this increase represents the increase in the abundance of its hosts.

This is the first study relating the richness of galling with the basal area of vegetation at the community level in natural areas, as we suggested by the hypothesis of

vegetation cover. Among the parameters evaluated, the basal area was the best predictor of the richness of galling (45% of explanatory power). Julião et al. (2005) used the percentage of vegetation cover to characterize the level of urbanization in areas of the metropolitan region of Belo Horizonte in southeastern Brazil. These authors correlated this parameter with the abundance of galls on two species of invasive plants and found a positive relationship, but without discussing this result. The vegetation cover can be a good indicator of abundance of plants (Felfili et al. 2004) and represent an increase in the area for the herbivores (Lewinsohn et al. 2005).

The reason why the basal area explained the richness of galling insects better than the density of plants can be because this parameter, besides being a good measure of abundance, indicates the degree of development of vegetation, with regard to age, succession and plant size (Felfili et al. 2004). It is known that the diversity of insect galls may vary on plants with different ages (Loyola & Fernandes 1993; Fernandes et al. 2007) and ontogenetics stages (Fonseca et al. 2006). Thus, a higher basal area and vegetal cover provide higher availability of niche occupancy of galling and indicates that the host plant, when present, has a higher age and structural complexity.

The structural complexity of host plants is indicated by the plant architecture hypothesis, as a factor that increases the diversity of herbivorous insects (Lawton 1983). According to Lewinsohn et al. (2005), architecture is difficult to define or measure, it can mean life form (habit), growth form, size or number of structures, or some combination thereof. In this study, this hypothesis was tested under two approaches, one per site (through the average height of vegetation) and other per individuals (by height classes). Both the average height as size classes showed patterns that corroborated what galling insects are more diverse in environments more complex.

Many studies indicate that the size of host plants is one factor that may influence the diversity of galling (Lara & Fernandes 1994; Lara et al. 2008; Araújo & Santos 2009a). For example, Araújo et al. (2003) found a positive relationship between the richness and abundance of gall-inducing insects and the size of the plant *Baccharis pseudomyriocephala* Teodoro (Asteraceae). Larger plants are more branched (Araújo et al. 2003), have more oviposition sites (Collevatti & Sperber 1997) and reduce the risk of attack by natural enemies (Vrcibradic et al. 2000).

In the approach by individuals, there was a higher predominance of the galling richness in plants of intermediate size class (Class II). This height class also had the richness and abundance of woody plants. Most plant species occurring in Cerrado presents heights ranging between 2 m and 4 m, because this is the area of overlapping between sizes of trees and shrubs (Oliveira-Filho & Martins 1991). Therefore, in Class II exist both arboreal species and shrub species in great number.

Most studies that treat of galling diversity use the habit of plants how plant architecture parameter, comparing herbs, shrubs and trees (Fernandes & Price 1988; Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001; Lara et al. 2002). According to this approach is expected to find a galling insects richness gradient in the sense tree>shrub>herb, that also is the gradient expected to plant biomass (Cuevas-Reyes et al. 2004). However, different patterns have been found, showing, for example, greater richness in shrubs (Fernandes & Price 1988) or in trees (Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001; Cuevas-Reyes et al. 2004). Lara et al. (2002), found no differences between the diversity of galls among trees and shrubs in southeastern Brazil, but noted that both are more diverse than herbs.

In some cases, galling may are more diverse in resources of intermediate sizes (Santos et al. 2010), because there is an optimization between the ease of inducing galls on small modules and increasing the availability of resources in large plants (Flaherty & Quiring 2008). The same idea can be applied to the sizes of individuals. This is because galling can respond to the dynamics of meristems, physiology of growth and defense mechanisms of the host plants (Coley & Barone 1996; Cuevas-Reyes et al. 2004). According to Araújo & Santos (2009b) physiological aspects can vary throughout host plant ontogeny in a manner not directly reflected in its structure.

Several hypotheses may explain the diversity of gall-inducing insects considering levels intra-specific, interspecific, and community (Fleck & Fonseca 2007). All hypotheses tested here were related to the galling richness in the Brazilian Cerrado. However, wich best explained the diversity of gall-forming insects was the vegetal cover hypothesis, because this hypothesis can be considered intermediate between the resource concentration hypothesis and architectural complexity hypothesis. Therefore, further studies are needed to verify if these patterns are repeated in other vegetation

types and regions. Either way, the vegetation structure directly influences the distribution of galling insects that seem to prefer environments with structural features that enhance the quality and quantity of resources.

References

- Abrahamson, W.G.; Melika, G.; Scrafford, R. & Csóka, G. 1998. Gall-inducing insects provide insights into plant systematic relationships. *American Journal of Botany* 85: 1159-1165.
- Araújo, W.S. & Santos, B.B. 2009a. Efeitos da sazonalidade e do tamanho da planta hospedeira na abundância de galhas de Cecidomyiidae (Diptera) em *Piper arboreum* (Piperaceae). *Revista Brasileira de Entomologia* 53: 300-303.
- Araújo, W.S. & Santos, B.B. 2009b. Complexidade estrutural e diversidade de insetos galhadores em *Styrax pohlii* Fritsch (Styracaceae). *Bioscience Journal* 25: 181-184.
- Araújo, A.P.A.; Fernandes, G.W.; Carneiro, M.A.A. 2003 Efeitos do Sexo, do Vigor e do Tamanho da Planta Hospedeira sobre a Distribuição de Insetos Indutores de Galhas em *Baccharis camporum* DC (Asteraceae). *Revista Brasileira de Entomologia* 47: 483-490.
- Begon, M.; Harper, J.L. & Towsendy, C.R. 1996. Ecology: individuals, populations and communities. 3^a ed., Malden, Blackwell Science Ind., 1068p.
- Carneiro, M.A.A., Branco, C.S.A., Braga, C.E.D., Almada, E.D., Costa, M.B.M., Maia, V.C. & Fernandes, G.W. 2009. Are gall midge species (Diptera, Cecidomyiidae) host-plant specialists? *Revista Brasileira de Entomologia* 53: 365-378.
- Coley, P.D. & Barone, J.A. 1996. Herbivory and plant defenses in tropical forests. *Annual Review of Ecology and Systematics* 27: 305–335.
- Collevatti, R. G. & Sperber, C.F. 1997. The gall maker *Neopelma baccharidis* Burck. (Homoptera: Psyllidae) on *Baccharis dracunculifolia* DC. (Asteraceae):

individual, local and regional patterns. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil* 26: 45-53.

Cuevas-Reyes, P.; Siebe, C.; Martínez-Ramos, M. & Oyama, K. 2003. Species richness of gall-forming insects in a tropical rain forest: correlations with plant diversity and soil fertility. *Biodiversity and Conservation* 12: 411-422.

Cuevas-Reyes, P.; Quesada, M.; Hanson, P.; Dirzo, R. & Oyama, K.. 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.

Durigan, G. 2003. Métodos em análise de vegetação arbórea. In: Cullen, L. Rudran, R. Valladares-Paudua, C. (orgs.). *Métodos de Estudo em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre*. IPÊ/ Fundação Boticário/UFPR. Curitiba.

Espírito-Santo, M.M. & Fernandes, G.W. 2002. Host plant effects on the development and survivorship of the galling insect *Neopelma bacharidis* (Homoptera: Psyllidae). *Austral Ecology* 27: 249-257.

Espírito-Santo, M.M. & Fernandes, G.W. 2007. How many species of gall-inducing insects are there on Earth and where are they? *Annals of the Entomological Society of America* 100: 95-99.

Felfili, J.M.; Silva-Junior, M.C.; Sevilha, A.C.; Fagg, C.W. Walter, B.M.T.; Nogueira, P.E.; Rezende, A.V. 2004. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. *Plant Ecology* 175: 37-46.

Fernandes, G.W. & Price, P.W. 1988. Biogeographical gradients in galling species richness: tests of hypotheses. *Oecologia* 76: 161-167.

Fernandes, G.W.; Santos, J.C.; Castro, F.M.C.; Castilho, A. 2007. Impact of a gall midge *Parkiamyia paraensis* (Diptera, Cecidomyiidae) on the Amazonian plant *Parkia pendula* (Fabaceae). *Revista Brasileira de Entomologia* 51: 471-475.

Flaherty, L. & Quiring, D. 2008. Plant module size and dose of gall induction stimulus influence gall induction and galler performance. *Oikos* 117: 1601–1608.

- Fleck, T. & Fonseca, C.R. 2007. Hipóteses sobre a riqueza de insetos galhadores: uma revisão considerando os níveis intra-específico, interespecífico e de comunidade. *Neotropical Biology and Conservation* 2: 36-45.
- Fonseca, C.R.; Fleck, T. & Fernandes, G.W. 2006. Processes driving ontogenetic succession of galls in a canopy tree. *Biotropica* 38: 514-521.
- 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.
- Joy, J.B. & Crespi, B.J. 2007. Adaptative radiation of gall-inducing insects within a single host-plant species. *Evolution* 61: 784-795.
- Julião, G. R.; G. W. Fernandes; D. Negreiros; L. Bedê & R. C Araújo. 2005. Insetos galhadores associados a duas espécies de plantas invasoras de áreas urbanas e peri-urbanas. *Revista Brasileira de Entomologia* 49: 97–106.
- Lara, A.C.F. & Fernandes, G.W. 1994. Distribuição de Galhas de *Neopelma baccharidis* (Homoptera: Psyllidae) em *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae). *Revista Brasileira de Biologia* 54: 661-668.
- Lara, A. C. F.; G. W. Fernandes & S. J. Gonçalves-Alvim. 2002. Tests of hypotheses on patterns of gall distribution along an altitudinal gradient. *Tropical Zoology* 15: 219–232.
- Lara, D.P.; Oliveira, L.A.; Azevedo, I.F.P.; Xavier, M.F.; Silveira, F.A.O.; Carneiro, M.A.A. & Fernandes, G.W. 2008. Relationship between host plant architecture and gall abundance and survival. *Revista Brasileira de Entomologia* 52: 78-81.
- Lawton, J. H. 1983. Plant architecture and the diversity of phytophagous insects. *Annual Review of Entomology* 28: 23- 39.
- Lawton, J. H. & D. Schroder. 1977. Effects of plant type, size of geographical range and taxonomic isolation on number of insects associated with British plants. *Nature* 265: 137-140.

- Lewinsohn, T.M.; Novotny, V. & Basset, Y. 2005. Insects on plants: diversity of herbivores assemblages revisited. *Annual Review of Ecology and Evolution Systematic* 36: 597-620.
- Loyola, R. & Fernandes, G.W. 1993. Herbivoria em *Kielmeyera coriacea* (Guttiferae): efeitos da idade da planta, desenvolvimento e aspectos qualitativos de folhas. *Revista Brasileira de Biologia* 53: 294-304.
- MacArthur, R.H. 1984. *Geographical ecology: Patterns in the Distribution of Species*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 269p.
- Mani, M.S. 1964. *The ecology of plant galls*. Junk, The Hague, The Netherlands.
- Oliveira-Filho, A.T. & Martins, F.R. 1991. A comparative study of five cerrado areas in southern Mato Grosso, Brazil. *Edinburg Journal of Botany* 48: 307-332.
- Oliveira-Filho, A.T. 2006. *Catálogo das Árvores Nativas de Minas Gerais – Mapeamento e Inventário da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais*. Editora UFLA, Lavras, 423 p.
- Price, P.W. 2005. Adaptive radiation of gall-inducing insects. *Basic and Applied Ecology* 6: 413-421.
- Ralph, C.P. 1977. Effect of host plant density on population of a specialized seed sucking bug, *Oncopeltus fasciatus*. *Ecology* 58: 799–809.
- Raupp, M.J. & Denno, R.F. 1979. The influence of patch size on a guild of sap-feeding insects that inhabit the salt marsh grass *Spartina patens*. *Environmental Entomology* 8: 412–417.
- Ribeiro, J.F. & Walter, B.M.T. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: S.M. Sano; S.P. Almeida (eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Embrapa/CPAC, p. 89-168.
- Santos, J.C.; Silveira, F.A.O. & Fernandes, G.W. 2008. Long-term oviposition preference and larval performance of *Schizomyia macrocapillata* (Diptera: Cecidomyiidae) on larger shoots of its host plant *Bauhinia brevipes* (Fabaceae). *Evolutionary Ecology* 22: 123-137.

- Santos, J.C.; Silveira, F.A.O.; Pereira, E.C. & Fernandes, G.W. 2010. Pattern of attack of a galling insect reveals an unexpected preference-performance linkage on medium-sized resources. *Revista Brasileira de Entomologia* 54: 96-103.
- Shorthouse, J. D.; Wool, D. & Raman, A. 2005. Gall-inducing insect - Nature's most sophisticated herbivores. *Basic and Applied Ecology* 6: 407-411.
- Solomon, B.P. 1981. Response of a host-specific herbivore to resource density, relative abundance and phenology. *Ecology* 62: 1205-1214.
- Stone, G.N. & Schönrogge, K. 2003. The adaptive significance of insect gall morphology. *Trends Ecology and Evolution* 18: 512-522.
- Strong, D.R.; Lawton, J.H. & Southwood, T.R.E. 1984. *Insect on plants: community patterns and mechanisms*. London Backwell, Science, vi + 313 p.
- Tilman, D. 1982. *Resource competition and community structure*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 296p.
- Urso-Guimarães, M.V. & Scareli-Santos, C. 2006. Gall and gall makers in plants from Pé-de-Gigante Cerrado Reserve, Santa Rita do Passa Quatro, SP. *Brazilian Journal of Biology* 67: 357-369.
- Vrcibradic, D.; Rocha, C.F.D. & Monteiro, R.F. 2000. Patterns of gall-forming in *Ossaea confertiflora* (Melastomataceae) by *Lopesia brasiliensis* (Diptera: Cecidomyiidae) in an area of Atlantic Rainforest in Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Biologia* 60: 159-166.
- Wilson, D.E. & Janzen, D.H. 1972. Predation on *Scheelea palm* seeds by bruchid beetles: seed density and distance from the parent palm. *Ecology* 53: 954-959.
- Zar, J.H. 1996. *Biostatistical analysis*. Third editions Prentice-Hall International Editions, New Jersey.

Table 1. Location and characterization of the areas studied in the Brazilian Cerrado.

Sites	City	Coordinates	Altitude (m)	Density	Basal area (m ²)	Average height (m)	Characterization
APA Cafuringa	Brasília, DF	15°31'56.57"S, 47°57'57.00"W	873	1160	0.74	2.7	Typical cerrado
REBio Contagem	Brasília, DF	15°37'15.05"S, 47°52'21.29"W	994	950	0.59	2.5	Sparse cerrado
Banana Menina	Hidrolândia, GO	16°59'43.75"S, 49°14'22.55"W	893	1620	1.29	3.3	Typical cerrado
Cerrado de Bela Vista	Bela Vista, GO	16°57'39.19"S, 48°56'58.43"W	809	1230	1.01	3.0	Typical cerrado
Cerrado de Caldas	Caldas Novas, GO	17°42'40.17"S, 48°38'26.29"W	702	1050	1.10	2.9	Typical cerrado
Fazenda Bom Sucesso	Senador Canedo, GO	16°42'39.16"S, 49°23'3.87"W	749	810	0.88	3.9	Typical cerrado
Fazenda do Geraldo	Silvânia, GO	16°40'9.90"S, 48°18'31.04"W	837	1320	0.84	2.6	Typical cerrado
Fazenda Lajeado	Jataí, GO	17°53'7.18"S, 51°38'11.40"W	756	1250	1.95	4.7	Dense cerrado
Pedreira da Prefeitura	Pirenópolis, GO	15°50'14.77"S, 48°55'32.70"W	840	1270	0.90	3.5	Cerrado with rock outcrops
Reserva da UEG	Anápolis, GO	16°22'54.77"S, 48°56'42.20"W	1097	1120	0.66	1.9	Cerrado with rock

outcrops					
Residencial Itanhangá	Goiania, GO	16°23'56.47"S, 49°17'11.60"W	762	950	0.66
Zona Rural, Canedo	Senador Canedo, GO	16°43'15.76"S, 49° 6'23.77"W	774		
				880	1.10
Caça e Pesca	Uberlândia, MG	19° 03'2.26"S, 48°18'48.84"W	864	2070	1.72
Floresta do Lobo	Uberlândia, MG	19° 52'8.41"S, 48° 9'11.84"W	948	1820	1.23
Porto Real	Ponte Alta, TO	11° 01'3.20"S, 47°13'56.83"W	380	1320	1.09
					2.6

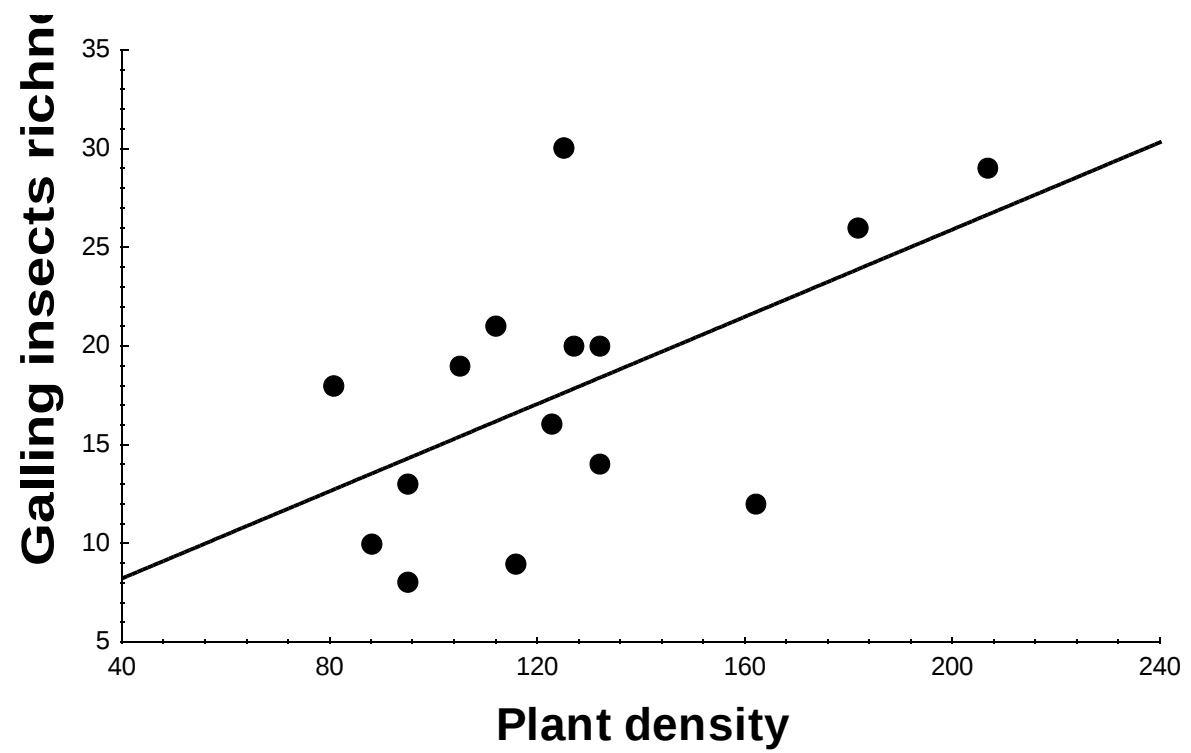


Figure 1. Relationship between galling insects richness and host plant density ($r^2 = 0.31$; $p < 0.05$; $y = 3.8043 + 0.1105 \cdot x$).

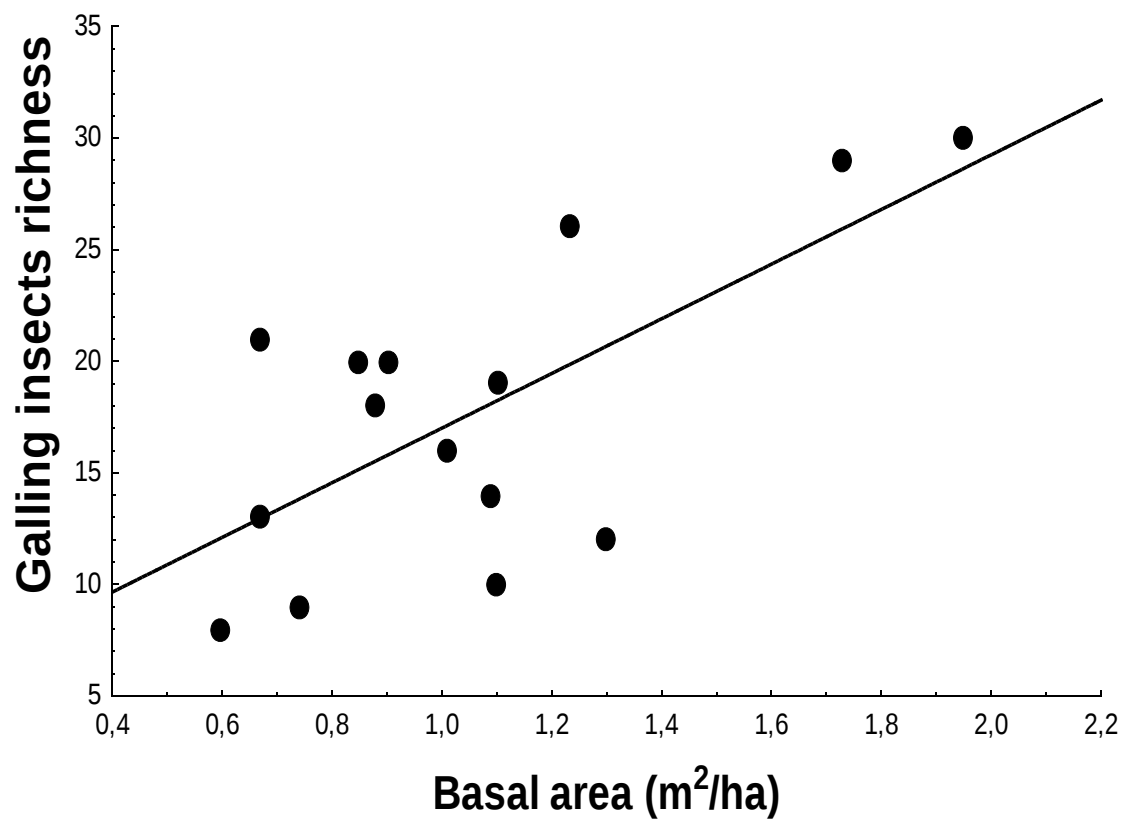


Figure 2. Relationship between galling insects richness and basal area of vegetation (m²/ha) ($r^2 = 0.45$; $p < 0.01$; $y = 4.7553 + 12.247 \cdot x$).

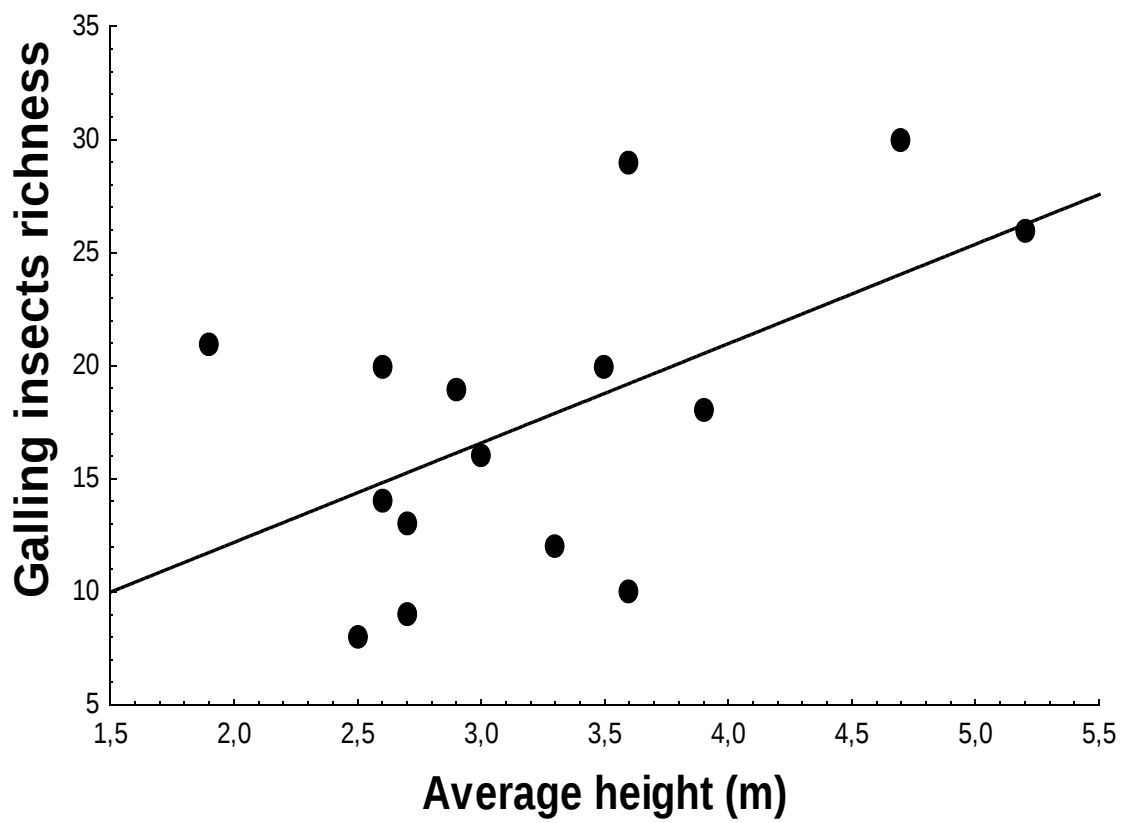


Figure 3. Relationship between galling insects richness and average height (m) of vegetation ($r^2 = 0.30$; $p < 0.05$; $y = 3.3993 + 4.3945 \cdot x$).

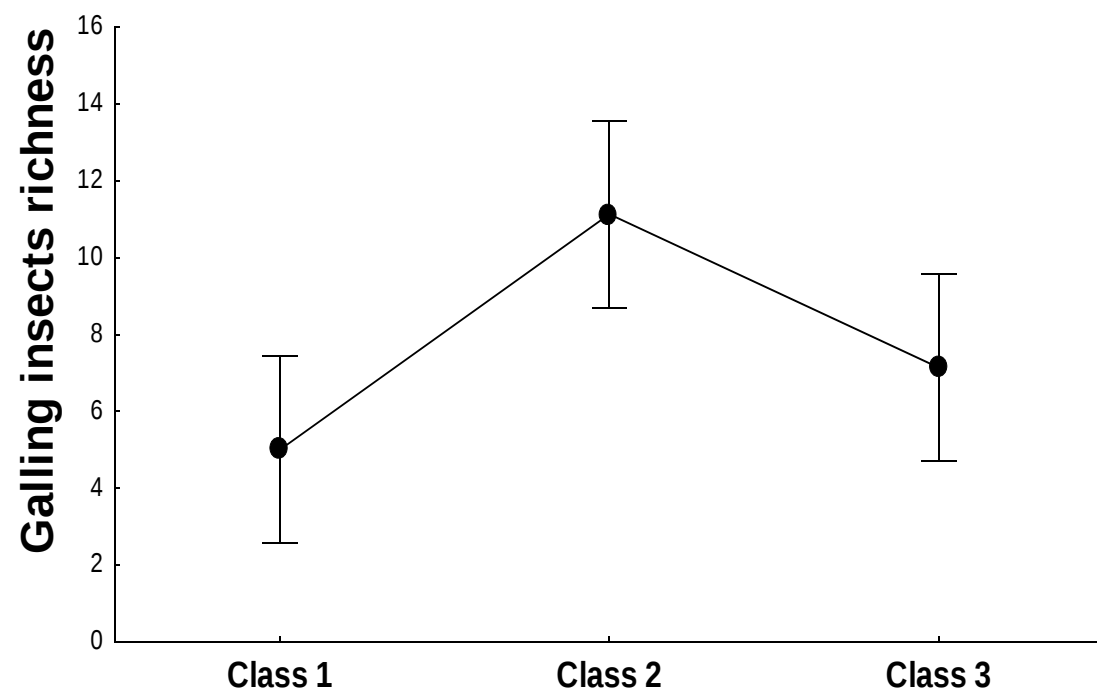


Figure 4. Richness of galling insects between the different height class (ANOVA: $F_{(2, 42)} = 6.68$; $p < 0.01$).

CAPÍTULO 2

Relações entre riqueza e composição da comunidade de plantas e a diversidade de insetos galhadores no Cerrado do Brasil

Walter Santos de Araújo ^{1,4}, Frederico Augusto Guimarães Guilherme ^{1,2} & Claudia Scareli-Santos³

1. Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, Departamento de Ecologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás, Campus II, Caixa Postal 131, 74001-970, Goiânia, GO, Brasil

2. Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí - Unidade Jatobá, BR 364 / Km 192 - Parque Industrial, Jataí, GO, Brasil.

3. Colegiado das Ciências Naturais, Campus Araguaína, Universidade Federal do Tocantins, Av. Paraguai, esq. c/Rua Uxiramas, s/nº Setor CIMBA - CEP: 77.824-838, Araguaína, TO, Brasil.

4. Autor para correspondência: walterbioaraujo@yahoo.com.br

Resumo - Para estudar as relações entre riqueza e composição da comunidade de plantas e a riqueza de insetos galhadores testamos as seguintes hipóteses: 1) hipótese da riqueza de plantas, que prediz um incremento da diversidade de galhadores com o aumento do número de espécies de plantas hospedeiras em um determinado local, 2) hipótese da composição florística, que sugere que a presença de taxa super-hospedeiros aumenta significativamente a diversidade de insetos galhadores, 3) hipótese da similaridade, que argumenta que quanto maior a similaridade florística maior será a similaridade faunística entre determinadas áreas. Inventários sobre a diversidade de morfotipos de galhas e plantas hospedeiras foram realizados em 15 áreas do bioma

Cerrado nos estados do Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Tocantins. Foram amostradas 1882 plantas pertencentes a 131 espécies e 43 famílias vegetais, sendo que 64 espécies (48,8%) e 31 famílias (72,1%) hospedaram insetos galhadores. A riqueza de plantas explicou 46% da riqueza de galhadores, sendo que as áreas com maior riqueza de plantas também apresentaram maior riqueza de insetos galhadores. Taxa super-hospedeiros abrigaram 40% da diversidade total amostrada, sendo o gênero *Qualea* (Vochysiaceae) e a espécie *Qualea parviflora*, os taxa mais diversos (18 e oito morfotipos, respectivamente). Áreas onde esses dois taxa faziam parte da composição da comunidade vegetal mostraram o dobro de espécies de galhadores, quando comparados às áreas sem os mesmos. A proximidade das áreas influenciou a similaridade florística, havendo uma correlação significativa entre as matrizes de similaridade florística e faunística. Os resultados mostram que tanto a riqueza de espécies de plantas quanto a composição da comunidade vegetal podem ser importantes para explicar os padrões de diversidade de insetos galhadores.

Palavras-chave: diversidade de plantas, composição florística, super-hospedeiras, insetos galhadores, similaridade faunística

Abstract - To study the relationships between richness and plant community composition and of galling richness we tested following hypotheses: 1) plant richness hypothesis, which predicts an increase in the diversity of galling with the increasing number of plant species; 2) floristic composition hypothesis, which suggests that the presence of super-hosts taxa increases significantly the galling diversity; 3) similarity hypothesis, which argues that the greater the floristic similarity greater the faunal similarity between certain areas. Inventories on the galling diversity and host plants were conducted in 15 areas of Cerrado biome, in the states of Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais and Tocantins. We sampled 1882 plants belonging to 131 species and 43 plant families, among which 64 species (48.8%) and 31 families (72.1%) presented gall-inducing insects. The plant species richness explained 46% of the richness of galling, being that areas with higher plant species richness also showed a higher richness of galling. Super-hosts taxa harbored 40% of the total sampled diversity, being the gender *Qualea* (Vochysiaceae) and species *Qualea parviflora*, the most diverse taxa (18 and

eight morphotypes, respectively). Areas where these two taxa were part of the composition showed twice as many species of galling when compared to areas without them. The proximity of the areas influenced the floristic similarity, presenting a significant correlation between the similarity matrices flora and fauna. The results show that species richness of plants and plant community composition may be important to explain the diversity patterns of gall-inducing insects.

Key-words: plant diversity, floristic composition, super-hosts, galling insects, faunistic similarity

Introdução

A ideia de que plantas hospedeiras influenciam na riqueza de insetos galhadores é bastante difundida e apresenta diversas abordagens na literatura (Mendonça 2007). Algumas dessas abordagens levam em conta a riqueza de hospedeiras (Dalbem & Mendonça 2006; Oyama et al. 2003), a densidade da vegetação (Cuevas-Reyes et al. 2004; Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001), a composição de espécies vegetais (Vedtmann & McGeoch 2003) e a arquitetura das plantas (Lawton 1983), como fatores que influenciam nos padrões de diversidade dos galhadores. Muitos desses fatores podem estar correlacionados entre si, atuando conjuntamente na diversidade de galhadores. Por exemplo, o número de espécies de galhadores pode ser incrementado pela riqueza florística, que aumenta com a densidade de plantas, ambos relacionados à oferta de potenciais hospedeiros (Fleck & Fonseca 2007).

A hipótese da riqueza de espécies vegetais prediz que quanto maior o número de espécies de plantas presente em uma dada vegetação, maior será o número de espécies de galhadores associado (Fernandes & Price 1988; Fleck & Fonseca 2007). Diversos estudos têm encontrado resultados que corroboram essa hipótese em escala regional (Wright & Samways 1998; Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001; Oyama et al. 2003) e local (Cuevas-Reyes et al. 2004). Contudo, também há estudos que contrariam essa hipótese (Blanche 2000; Lara et al. 2002; Cuevas-Reyes et al. 2003).

A composição de espécies de plantas hospedeiras tem sido uma questão pouco abordada nos estudos sobre diversidade de galhas. Muitos estudos têm testado o efeito de diferentes habitats na riqueza e abundância de galhas e demonstrado uma maior ocorrência dos galhadores por ambientes escleromórficos (Fernandes & Price 1988; Price et al. 1998; Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001). Esses fatores parecem ser importantes preditores dos padrões globais de riqueza de galhas (Price et al. 1998), enquanto que, a nível local e regional, a composição da comunidade de plantas parece ser mais importante (Vedtman & McGeoch 2003). Sendo os galhadores dependentes da estrutura e composição da comunidade vegetal (Mendonça 2007), é de se esperar que comunidades mais similares apresentem, também, uma maior similaridade de espécies de insetos galhadores.

A presença de alguns taxa super-hospedeiros, por exemplo, pode incrementar a diversidade de galhas independentemente do número de espécies vegetais (Mendonça 2007). O gênero *Baccharis* (Asteraceae) apresenta uma fauna de galhadores particularmente rica no neotrópico, especialmente no Brasil, com aproximadamente 121 espécies (Fernandes et al. 1996). Outros taxa super-hospedeiros são *Eucalyptus* (Myrtaceae) na Austrália (Blanche & Westoby 1995), *Quercus* (Fagaceae) no México (Oyama et al. 2006) e *Solidago* (Asteraceae) nos EUA (Weis & Abrahamson 1986). O efeito de taxa super-hospedeiros sobre a diversidade local e regional de insetos galhadores tem sido discutida apenas qualitativamente (Vedtman & McGeoch 2003; Mendonça 2007), havendo a necessidade de dados que quantifiquem sua importância. Nesse trabalho testamos as seguintes hipóteses: 1) hipótese da riqueza de plantas, que prediz um incremento da diversidade com o aumento do número de espécies de plantas hospedeiras em um determinado local, 2) hipótese da composição florística, que sugere que a presença de taxa super-hospedeiros aumenta significativamente a diversidade de insetos galhadores, 3) hipótese da similaridade, que argumenta que quanto maior a similaridade florística maior será a similaridade faunística entre determinadas áreas.

Material e métodos

Área de estudo

Inventários sobre a diversidade de morfotipos de galhas e plantas hospedeiras foram realizados em 15 áreas sob o domínio do bioma Cerrado nos estados do Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Tocantins (Tabela 1). A região é caracterizada pela ocorrência de períodos de invernos secos e verões chuvosos, um clima classificado como Aw de Köppen (tropical chuvoso). Possui média anual de precipitação da ordem de 1.500 mm, variando de 750 a 2.000 mm. O período das chuvas concentra-se de outubro a março (estação chuvosa), e a temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C (Ribeiro & Walter 1998).

Amostragem

Para cada uma das áreas foram estabelecidas 10 parcelas de 10 x 10m em fitofisionomias de cerrado *sensu stricto* (totalizando 0,1 ha para cada área). Insetos galhadores e plantas hospedeiras foram separados e morfotipados em campo quanto à morfologia da galha e a planta hospedeira (Cuevas-Reyes et al. 2004). O uso de morfotipos de galhas é um parâmetro fiel e bastante difundido, assumindo que cada morfotipo de galha é único do inseto galhador (Stone & Schönrogge 2003) e que cada espécie galhadora é específica quanto à sua planta hospedeira (Abrahamson et al. 1998; Espírito-Santo & Fernandes 2007; Fernandes & Price 1988).

As galhas foram separadas em morfoespécies, fotografadas e descritas quanto aos seguintes aspectos morfológicos: forma, cor, pubescência, disposição das galhas (isoladas ou agrupadas), órgão vegetal, espécie vegetal hospedeira e aderência (total ou parcial). Em cada parcela, foi feito o registro de todas as morfoespécies de plantas encontradas e, também, das espécies hospedeiras que apresentam galhas. Também registramos a arquitetura e altura das plantas.

Análise dos dados

Análises de regressão linear foram feitas para relacionar a riqueza de plantas hospedeiras e a riqueza de insetos galhadores. Diferenças entre riqueza de insetos galhadores com e sem a presença dos taxa super-hospedeiros foram testadas através de

teste de comparação de médias (teste t). Para as análises os taxa considerados como super-hospedeiros foram os gêneros e espécies de plantas que apresentaram mais de cinco morfotipos de galhas. Análises de variância one-way (Post-hoc Fisher LSD ANOVA) foram utilizadas para testar o efeito da presença de taxa super-hospedeiros sobre a riqueza local de galhadores e número de plantas galhadas. A riqueza de insetos galhadores sem os taxa hospedeiros foi relacionada com a riqueza de plantas através de regressão linear (Zar 1996). Esse mesmo teste estatístico foi utilizado para relacionar a riqueza de insetos galhadores exclusiva dos taxa super-hospedeiros e a riqueza de plantas. Todas essas análises foram feitas através do programa Statistica 7.0.

A composição florística e faunística (diversidade beta) foi comparada entre as diferentes localidades através de análises de agrupamento Bray-Curtis. As matrizes de similaridade geradas foram correlacionadas através de teste de Mantel (10.000 permutações). Esse teste utiliza como dados de entrada matrizes de similaridade ou distância e tem sido amplamente utilizada na literatura ecológica (Tuomisto & Ruokolainen 2006). Para a construção dos dendrogramas foi utilizado o método de ligação baseado no algoritmo UPGMA. Análises e gráficos foram feitos no programa R (R-Project 2011).

Resultados

Diversidade de plantas hospedeiras e insetos galhadores

Ao todo foram amostradas 1882 plantas pertencentes a 131 espécies e 43 famílias vegetais, sendo que 64 espécies (48,8%) e 31 famílias (72,1%) hospedaram insetos galhadores (Tabela 1). As famílias de plantas hospedeiras mais ricas foram Fabaceae (9), Malpighiaceae (5), Asteraceae (3), Erythroxylaceae (3), Myrtaceae (3), Nyctaginaceae (3), Rubiaceae (3) e Vochysiaceae (3). A área com maior riqueza florística foi a Floresta do Lobo, MG com 44 espécies e a menor na Porto Real, TO, com 21 (média de $33,4 \pm 7,2$) (Tabela 1). As espécies de insetos galhadores amostradas totalizaram 112, sendo muitas delas comuns a várias áreas. Vochysiaceae foi a família de plantas com maior riqueza de insetos galhadores (19 espécies), seguida de Fabaceae e Malpighiaceae, com 13 e 12 espécies, respectivamente. A área do Lajeado, GO foi a

que apresentou a maior riqueza de galhas com 30 morfotipos, já a REBio Contagem, DF foi a mais pobre com apenas oito morfotipos (média de $16,6 \pm 6,6$).

Hipótese da riqueza de plantas

A riqueza de plantas explicou 46% da riqueza de galhadores, sendo que áreas com maior riqueza de plantas também foram as áreas com maior riqueza de insetos galhadores ($r^2 = 0,46$; $p < 0,01$; Figura 1). A cada espécie de planta adicionada à vegetação, 0,6 galhas são incrementadas. A riqueza de plantas hospedeiras não explicou a frequência de espécies e de indivíduos com galhas ($r^2 = 0,002$; $p = 0,86$ e $r^2 = 0,13$; $p = 0,17$, respectivamente). Os resultados obtidos corroboram a hipótese da riqueza de plantas.

Hipótese da composição florística

Foram registrados cinco gêneros e 13 espécies de plantas consideradas super-hospedeiras de insetos galhadores (Tabela 2). Essas taxa abrigaram juntos 45 morfotipos de galhas, o que representa 40% da diversidade total amostrada. O gênero *Qualea* (Vochysiaceae) abrigou sozinho 18 morfotipos de galhas. No nível específico *Qualea parviflora* foi a espécie com maior riqueza de galhas (oito tipos). Áreas onde esses dois taxa faziam parte da composição da comunidade vegetal apresentaram em média 19,1 ($\pm 5,05$) espécies de galhadores, mais do dobro dos locais onde eram ausentes que tiveram apenas 8,5 ($\pm 0,5$) morfotipos de galhas ($F_{2,23} = 32,92$; $P < 0,05$; Tabela 3). O mesmo padrão não foi observado para o número de plantas com galhas. A riqueza total de galhas amostradas foi significativamente menor quando os taxa super-hospedeiros foram retirados da análise ($t = -3,26$; $p < 0,01$; GL = 28). A média de galhas por área quando com e sem os super-hospedeiros foi de 17,6 e 10,4 galhas, respectivamente. O poder de explicação da riqueza de plantas sobre a diversidade de galhas diminuiu para 33% quando os taxa super-hospedeiros foram retirados da análise ($r^2 = 0,33$; $p < 0,05$; Figura 2).

Hipótese da similaridade florística e faunística

A proximidade das áreas influenciou a similaridade florística (composição de plantas hospedeiras), sendo apresentados agrupamentos diferenciados para áreas situadas no DF, MG e GO (Figura 3a). A área mais afastada, Porto Real, TO, foi aquela com composição florística mais diferenciada em relação às demais, com apenas 29,1% de similaridade. As localidades com maior similaridade florística foram Senador Canedo, GO e Bela Vista, GO com 53,3%. A similaridade faunística não apresentou um agrupamento tão evidente de proximidade das localidades, variando mais em função da similaridade florística (Figura 3b). O local com composição de espécies de galhadores mais diferenciada foi Bom Sucesso, GO (20,9%) e os mais similares foram Senador Canedo, GO e Itanhangá, GO (45,5%). O teste de Mantel mostrou uma correlação positiva entre as matrizes de similaridade florística e faunística ($r = 0,67$; $p < 0,01$).

Discussão

Estudos sobre a diversidade de insetos galhadores tem sido comuns na região neotropical (Urso-Guimarães et al. 2003; Gonçalves-Alvim e Fernandes 2001; Maia 2001; Maia & Fernandes 2004; Maia et al. 2008; Santos et al. 2010). Um resultado de destaque que esses estudos têm observado é que Fabaceae é a família mais diversa do Neotrópico tanto em espécies de plantas (ver Mendonça et al. 1998) quanto em insetos galhadores (ver Gagné 1994). No presente estudo, Fabaceae foi a segunda família mais diversa em insetos, sendo Vochysiaceae a detentora da maior diversidade. Vochysiaceae é uma família com cerca de 200 espécies que geralmente não é listada entre as mais diversas hospedeiras de galhas (Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001; Maia & Fernandes 2004). A grande riqueza abrigada por essa família está diretamente relacionada ao gênero *Qualea* que hospedou 18 das 19 espécies da família. Esse fato evidencia como que determinados taxa de hospedeiras podem influenciar a diversidade de insetos galhadores (essa questão será discutida mais adiante no texto).

A frequência de ocorrência de galhas observada nesse estudo foi relativamente alta: quase metade das espécies de plantas amostradas tinha galhas (48,8%). Gonçalves-Alvim & Fernandes (2001), observou galhas em 29% das plantas das savanas

neotropicais do Sudeste brasileiro. Para as formações florestais dos Trópicos os insetos galhadores podem colonizar até 69,8% das espécies de plantas (Oyama et al. 2003).

Os resultados obtidos corroboram outros estudos que testaram a hipótese da riqueza de plantas (Wright e Samways 1998; Gonçalves-Alvim e Fernandes 2001; Oyama et al. 2003). No presente estudo encontramos uma correlação positiva entre o número de espécies de plantas e a riqueza de insetos galhadores, sugerindo que em uma escala regional, um incremento na riqueza de espécies de plantas em um determinado sítio também aumenta a presença de espécies de insetos galhadores. Padrões semelhantes aos obtidos aqui tem sido observado para diversos tipos vegetacionais e regiões do mundo, como as florestas tropicais do México (Oyama et al. 2003; Cuevas-Reyes et al. 2004), as florestas montanas nos EUA (Blanche & Ludwig 2001), a vegetação de fynbos na África do Sul (Wright & Samways 1998), as florestas subtropicais (Dalbem & Mendonça 2006) e as savanas neotropicais (Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001; Lara et al. 2002), ambas no Brasil.

Segundo Fleck & Fonseca (2007) como os insetos galhadores mantêm basicamente uma relação espécie-específica com o seu hospedeiro, a relação proposta pela hipótese da riqueza de plantas é muito adequada para este grupo. Essa hipótese leva em consideração que cada espécie de planta representa um nicho potencial para os galhadores (Mendonça 2007). O Cerrado é uma das savanas com a flora mais diversificada do mundo (Felfili et al. 2004). Fatores como a grande variedade de fitofisionomias, a heterogeneidade de solos e a presença periódica do fogo natural, podem ser responsáveis por essa grande diversidade florística (Walter 2006). A presença do fogo como sincronizador de desenvolvimento da vegetação pode ser também uma das causas da grande diversificação da fauna de insetos galhadores na região (Wright & Samways 1998; Mendonça 2001). Assim, a combinação da grande riqueza florística e das condições ambientais do Cerrado é que torna possível a alta riqueza de galhadores.

Uma abordagem alternativa é que a relação entre a riqueza de plantas e a riqueza de galhadores pode ser localmente desfeita pela presença de taxa vegetais que hospedam várias espécies de insetos (Fleck & Fonseca 2007). A existência desses taxa com alta diversidade, ou super-hospedeiros, sugere que a composição da comunidade vegetal

pode ser tão importante quanto sua riqueza (Mendonça 2007). Veldtman & McGeoch (2003) encontraram que a riqueza de insetos galhadores foi dependente da composição local da comunidade de plantas em savanas da África do Sul, particularmente a presença de *Terminalia sericea* e outras espécies da família Combretaceae, e também da subfamília Mimosoidea (Fabaceae). Segundo os autores, os locais compostos por super-hospedeiros apresentavam até cinco vezes mais espécies de galhadores do que nos locais onde os mesmos eram ausentes.

No nosso estudo os taxa super-hospedeiros abrigaram 40% da riqueza total de insetos. Além disso, 13% do poder de explicação da riqueza local de plantas sobre a diversidade de galhadores pode ser atribuída aos taxa super-hospedeiros. O gênero *Qualea* (Vochysiaceae) e a espécie *Qualea parviflora*, foram os taxa com maior diversidade, e as áreas que apresentavam esses taxa tiveram aproximadamente o dobro de galhas do que aqueles onde não ocorriam. A importância desse único gênero evidencia que a composição da comunidade de plantas, especialmente a presença de taxa super-hospedeiros, não pode ser negligenciada em estudos que abordem os padrões florísticos de distribuição de insetos galhadores (Veldtman & McGeoch 2003).

A similaridade entre a composição de espécies de galhadores pode ser bastante baixa entre diferentes localidades (Medianero et al. 2010), uma vez que, fatores locais podem ser determinantes para a distribuição desses insetos (Dalbem & Mendonça 2006). Nós relacionamos a similaridade de insetos galhadores com a similaridade de plantas hospedeiras e encontramos uma correlação positiva. Isso indica que a composição de galhadores é dependente da composição de plantas hospedeiras. Insetos galhadores são na sua maioria espécie-específicos (Carneiro et al. 2009) e por isso a presença da espécie hospedeira é um fator limitante para sua ocorrência (Abrahamson et al. 1998). Comprovando isso, Mendonça et al. (2010) encontraram resultados que mostram uma distinta fauna de insetos galhadores para vegetações adjacentes com floras distintas no sul do Brasil.

Nossos resultados apontam que a riqueza de plantas hospedeiras pode ser um bom preditor da diversidade de insetos galhadores no Cerrado, como outros estudos têm evidenciado (Gonçalves-Alvim & Fernandes 2001; Lara et al. 2002). Apesar disso, fatores como a composição da comunidade de plantas e a identidade de determinadas

espécies hospedeiras também influenciaram a ocorrência dos galhadores (Mendonça et al. 2010). Desse modo, tanto aspectos florísticos quantitativos (riqueza de espécies) quanto qualitativos (composição de espécies) são importantes para a distribuição dos insetos galhadores. Esses aspectos podem variar com o tipo de habitat ou a escala latitudinal, por exemplo, sendo responsáveis direta ou indiretamente por muitos dos padrões de diversidade de galhadores que nós conhecemos.

Referências

- Abrahamson, W.G.; Melika, G.; Scrafford, R. & Csóka, G. 1998. Gall-inducing insects provide insights into plant systematic relationships. *American Journal of Botany* 85: 1159-1165.
- 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.
- Blanche, K.R. & Westoby, M. 1995. Gall-forming insect diversity is linked to soil fertility via host plant taxon. *Ecology* 76: 2334-2337.
- Blanche, K.R. & Ludwig, J.A. 2001. Species richness of gall-inducing insects and host plants along an altitudinal gradient in Big Bend National Park, Texas. *The American Midland Naturalist* 145: 219-232.
- Carneiro, M.A.A.; Branco, C.S.A.; Braga, C.E.D.; Almada, E.D.; Costa, M.B.M.; Maia, V.C. & Fernandes, G.W. 2009. Are gall midge species (Diptera, Cecidomyiidae) host-plant specialists? *Revista Brasileira de Entomologia* 53: 365-378.
- Cuevas-Reyes, P.; Siebe, C.; Martínez-Ramos, M. & Oyama, K. 2003. Species richness of gall-forming insects in a tropical rain forest: correlations with plant diversity and soil fertility. *Biodiversity and Conservation* 12: 411-422.
- Cuevas-Reyes, P.; Quesada, M.; Hanson, P.; Dirzo, R. & Oyama, K.. 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.

Dalbem, R.V.; Mendonça, M.S. 2006. Diversity of galling arthropods and host plants in a subtropical forest of Porto Alegre, Southern Brazil. *Neotropical Entomology* 35: 616-624.

Espírito-Santo, M.M. & Fernandes, G.W. 2007. How many species of gall-inducing insects are there on Earth and where are they? *Annals of the Entomological Society of America* 100: 95-99.

Felfili, J.M.; Silva-Júnior, M.C.; Sevilha, A.C.; Fagg, C.W.; Walter, B.M.T.; Nogueira, P.E. & Rezende, A.V. 2004. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. *Plant Ecology* 175: 37-46.

Fernandes, G.W. & Price, P.W. 1988. Biogeographical gradients in galling species richness. *Oecologia* 76: 161-167.

Fernandes, G.W.; Carneiro, M.A.A.; Lara, A.C.F.; Allain, L.A.; Andrade, G.I.; Julião, G.R.; Reis, T.C. & Silva, I.M. 1996. Galling insects on neotropical species of *Baccharis* (Asteraceae). *Tropical Zoology* 9: 315-332.

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

Gagné, R.J. 1994. The gall midges of the Neotropical region, Cornell University Press. 352p.

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.

Lara, A.C.F.; Fernandes, G.W. & Gonçalves-Alvim, S.J. 2002. Tests of hypotheses on patterns of gall distribution along an altitudinal gradient. *Tropical Zoology* 15: 219-232.

- Lawton, J.H. 1983. Plant architecture and the diversity of phytophagous insects. *Annual Review of Entomology* 28: 23-39.
- Maia, V.C. 2001. The gall midges (Diptera, Cecidomyiidae) from three restingas of Rio de Janeiro State, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia* 18: 583-629.
- Maia, V.C. & Fernandes, G.W. 2004. Insect galls from Serra de São José (Tiradentes, MG, Brazil). *Brazilian Journal of Biology* 6: 423-445.
- Maia, V.C.; Magenta, M.A.G. & Martins, S.E. 2008. Ocorrência e caracterização de galhas de insetos em áreas de restinga de Bertoga (São Paulo, Brasil). *Biota Neotropica* 8: 167-197.
- Medianero, E.; Ibáñez, A. & Nieves-Aldrey, J.L. 2010. The importance of beta diversity in local gall-inducing arthropod distribution. *Neotropical Entomology* 39: 365-370.
- Mendonça, M.S. 2001. Gallling insect diversity patterns: the resource synchronisation hypothesis. *Oikos* 95: 171-176.
- Mendonça, M.S. 2007. Plant diversity and galling arthropod diversity - searching for taxonomic patterns in an animal-plant interaction in the Neotropics. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 42: 347-357.
- Mendonça, M.S.; Piccardi, H.M.F.; Jahnke, S.M. & Dalbem, R. 2010. Gallling Arthropod Diversity in Adjacent Swamp Forests and Restinga Vegetation in Rio Grande do Sul, Brazil. *Neotropical Entomology* 39: 513-518.
- Mendonça, R.C.; Felfili, J.M.; Walter, B.M.T.; Silva-Júnior, M.C.; Rezende, A.V.; Filgueiras, T.S. & Nogueira, P.E. 1998. Flora vascular do Cerrado. *In*: S.M. Sano; S.P. Almeida (eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Embrapa/CPAC. p. 289-556.
- Oyama, K.; Pérez-Pérez, M.A.; Cuevas-Reyes, P. & Luna-Reyes, R.. 2003. Regional and local species richness of gall-inducing insects in two tropical rain forests in Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 19: 595-598.
- Oyama, K.; Scareli-Santos; M.L. Mondragón-Sánchez; E. Tovar-Sánchez & P. Cuevas-Reyes. 2006. Morphological variations of gall-forming insects on

- different species of oaks (*Quercus*) in Mexico. *In*: M. Kappelle (org.). Ecology and conservation of neotropical montane oak forests. Springer-Verlag, p. 259-269.
- Price, P.W.; Fernandes, G.W.; Lara, A.C.F.; Brawn, J.; Gerling, D.; Barrios, H.; Wright, M.G.; Ribeiro, S.P. & Rothcliff, N. 1998. Global patterns in local number of insect galling species. *Journal of Biogeography* 25: 581–591.
- R-Project. 2011. The R Project for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/>
- Ribeiro, J.F. & Walter, B.M.T. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. *In*: S.M. Sano; S.P. Almeida (eds.). Cerrado: ambiente e flora. Embrapa/CPAC, p. 89-168.
- Santos, B.B.; Ferreira, H.D. & Araújo, W.S. 2010. Ocorrência e caracterização de galhas entomógenas em uma área de floresta estacional semidecídua em Goiânia, Goiás, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 24: 243-249.
- Stone, G.N. & Schönrogge, K.. 2003. The adaptive significance of insect gall morphology. *Trends in Ecology and Evolution* 18: 512-522.
- Tuomisto, H. & Ruokolainen, K. 2006. Analyzing or explaining beta diversity? Understanding the targets of different methods of analysis. *Ecology* 87: 2697-2708.
- Urso-Guimarães, M.V., Scareli-Santos, C. & Bonifácio-Silva, A.C. 2003. Occurrence and characterization of entomogen galls in plants from natural vegetation areas in Delfinópolis, MG, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 63: 705-715.
- Veldtman, R. & McGeoch, M.A.. 2003. Gall-forming insect species richness along a non-scleromorphic vegetation rainfall gradient in South Africa: the importance of plant community composition. *Austral Ecology* 28: 11-13.
- Walter, B.M.T. 2006. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológicas e relações florísticas. Tese de Doutorado – Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, DF, Brasil.

Weis, A.E. & Abrahamson, W.G. 1986. Evolution of host-plant manipulation by gall makers: ecological and genetic factors in the *Solidago-Eurosta* system. *American Naturalist* 127: 681-695.

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.

Zar, J.H. 1996. Biostatistical analysis. 3rd ed. Prentice–Hall. 718p.

Tabela 1. Diversidade de plantas e insetos galhadores em diferentes localidades do Cerrado brasileiro.

Localidades	Coordenadas	A	B	C	D
Lajeado, GO	17°53'7.18"S, 51°38'11.40"W	43	22	51,16	30
Caça e Pesca, MG	19°0'32.26"S, 48°18'48.84"W	39	22	56,41	29
Floresta do Lobo, MG	19°5'28.41"S, 48° 9'11.84"W	44	23	52,27	26
UEG, GO	16°22'54.77"S, 48°56'42.20"W	27	14	51,85	21
Pedreira, GO	15°50'14.77"S, 48°55'32.70"W	40	13	32,50	20
Fazenda Geraldo, GO	16°40'9.90"S, 48°18'31.04"W	39	17	43,59	20
Caldas Novas, GO	17°42'40.17"S, 48°38'26.29"W	37	15	40,54	19
Bom Sucesso, GO	16°42'39.16"S, 49° 2'33.87"W	28	14	50,00	18
Bela Vista, GO	16°57'39.19"S, 48°56'58.43"W	34	11	32,35	16
Porto Real, TO	11° 0'13.20"S, 47°13'56.83"W	21	11	52,38	14
Itanhangá, GO	16°33'56.47"S, 49°17'11.60"W	35	12	34,29	13
Banana Menina, GO	16°59'43.75"S, 49°14'22.55"W	39	9	23,08	12
Senador Canedo, GO	16°43'15.76"S, 49° 6'23.77"W	29	7	24,14	10
APA Cafuringa, DF	15°31'56.57"S, 47°57'57.00"W	24	9	37,50	9
REBio Contagem, DF	15°37'15.05"S, 47°52'21.29"W	23	8	34,78	8
TOTAL	-	131	64	48,8	112

Legenda: A) Riqueza total de plantas; B) Riqueza de plantas hospedeiras; C) % de Espécies com Galhas e D) Riqueza de insetos galhadores.

Tabela 2. Taxa de plantas super-hospedeiros de insetos galhadores e morfotipos de galhas em diferentes localidades do Cerrado brasileiro.

Táxon de Planta	Órgão	Forma	Cor	Pubescência	Tamanho (cm)
Malpighiaceae					
<i>Byrsonima</i>					
<i>Byrsonima coccolobifolia</i>	Folha	Coniforme	Verde	Glabra	0,6
<i>Byrsonima pachyphylla</i>	Folha	Vírgula	Amarela	Glabra	0,3
	Caule	Elipsóide	Marrom	Glabra	2,0/1,0
	Folha	Discóide	Marrom	Glabra	0,2
	Folha	Elipsóide	Marrom	Glabra	0,3/0,4
	Folha	Coniforme	Amarela	Pilosa	0,5
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	Folha	Coniforme	Verde/amarela	Pilosa	0,5
	Folha	Discóide	Verde	Glabra	0,4
	Folha	Globóide	Vinosa	Pilosa	0,4
<i>Byrsonima</i> sp.	Folha	Coniforme	Verde/parda	Pilosa	0,4
Caryocaraceae					
<i>Caryocar</i>					
<i>Caryocar brasiliense</i>	Folha	Discóide	Marrom	Pilosa	0,4
	Folha	Globóide	Marrom	Pilosa	0,2
	Folha	Globóide	Amarela	Pilosa	0,2
	Folha	Discóide	Amarela	Glabra	0,3
	Pecíolo	Amorfa	Marrom	Glabra	1,5
<i>Caryocar glabrum</i>	Folha	Globóide	Verde	Pilosa	0,4
Fabaceae					
<i>Copaifera</i>					
<i>Copaifera langsdorffii</i>	Folha	Globóide	Marrom	Glabra	0,5
	Folha	Discóide	Amarela	Glabra	0,5
	Folha	Globóide	Marrom	Pilosa	0,3
	Folha	Discóide	Verde	Glabra	0,3
	Folha	Bilobada	Marrom	Glabra	0,3

Erythroxylaceae

Erythroxylum

<i>Erythroxylum deciduum</i>	Folha	Discóide	Verde	Glabra	0,4
	Gema terminal	Globóide	Marrom	Glabra	0,8
<i>Erythroxylum suberosum</i>	Folha	Enrolamento marginal			
	Folha	Amorfa	Vermelha	Pilosa	0,8
<i>Erythroxylum tortuosum</i>	Folha	Discóide	Verde	Glabra	0,3
	Folha	Globóide	Verde	Glabra	0,3

Vochysiaceae

Qualea

<i>Qualea grandiflora</i>	Folha	Amorfa	Marrom	Glabra	0,7
	Folha	Discóide	Marrom	Glabra	0,4
	Caule	Globóide	Marrom	Glabra	4
<i>Qualea multiflora</i>	Caule	Globóide	Marrom	Glabra	3
	Folha	Globóide	Marrom	Glabra	0,2
	Folha	Estrelada	Verde	Pilosa	0,5
	Folha	Laminar	Verde	Glabra	1/0,3
	Folha	Globóide	Marrom	Pilosa	0,6
	Folha	Discóide	Marrom	Pilosa	0,5
	Folha	Discóide	Verde	Glabra	0,5
<i>Qualea parviflora</i>	Folha	Globóide	Amarela	Pilosa	0,5
	Folha	Vulcão	Verde	Glabra	0,5/0,4
	Folha	Globóide	Estrelada	Pilosa	0,5
	Caule	Elipsóide	Marrom	Glabra	1/0,5
	Caule	Globóide	Marrom	Rugosa	3
	Folha	Discóide	Verde	Glabra	0,5
	Folha	Estrelada	Vermelha	Pilosa	0,5

Caule	Elipsóide	Marrom	Glabra	0,4/0,6
-------	-----------	--------	--------	---------

Tabela 3. Teste de comparação de médias ($\pm$ DP) na riqueza de insetos galhadores e plantas galhadas entre áreas com diferentes taxa de plantas presentes no Cerrado brasileiro.

Táxon presente	No. áreas	Riqueza de galhadores ($F_{2,23} = 32,92$; $P < 0,05$)	No. de plantas galhadas por área ($F_{2,23} = 440,27$; $P > 0,05$)
<i>Qualea</i>	13	19,1 ($\pm 5,05$) ^a	45 ($\pm 21,7$) ^a
Somente <i>Qualea parviflora</i>	11	17,4 ($\pm 6,05$) ^a	40,8 ($\pm 19,4$) ^a
Sem <i>Qualea</i>	2	8,5 ($\pm 0,5$) ^b	13,5 ($\pm 0,5$) ^a

Médias com diferentes letras refletem diferenças significativas com $P < 0.05$.

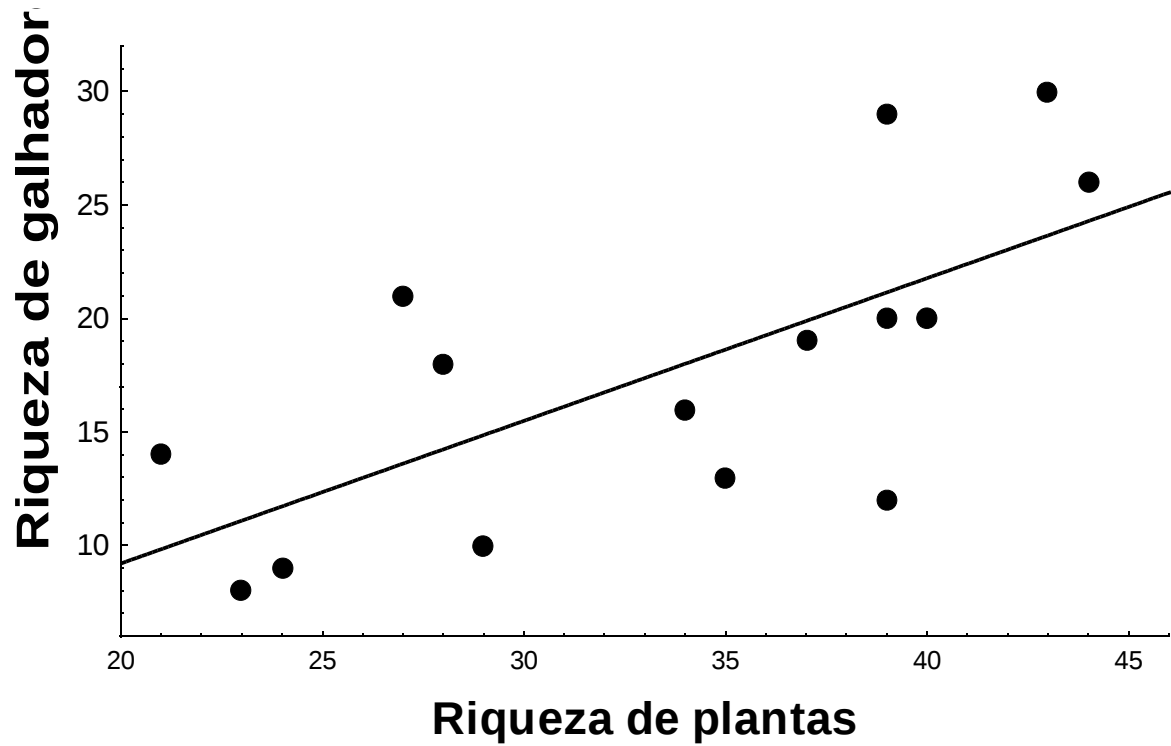


Figura 1. Relação entre a riqueza de insetos galhadores e a riqueza de plantas ($r^2 = 0,46$; $p < 0,01$; $y = -3,3654 + 0,6284 \cdot x$).

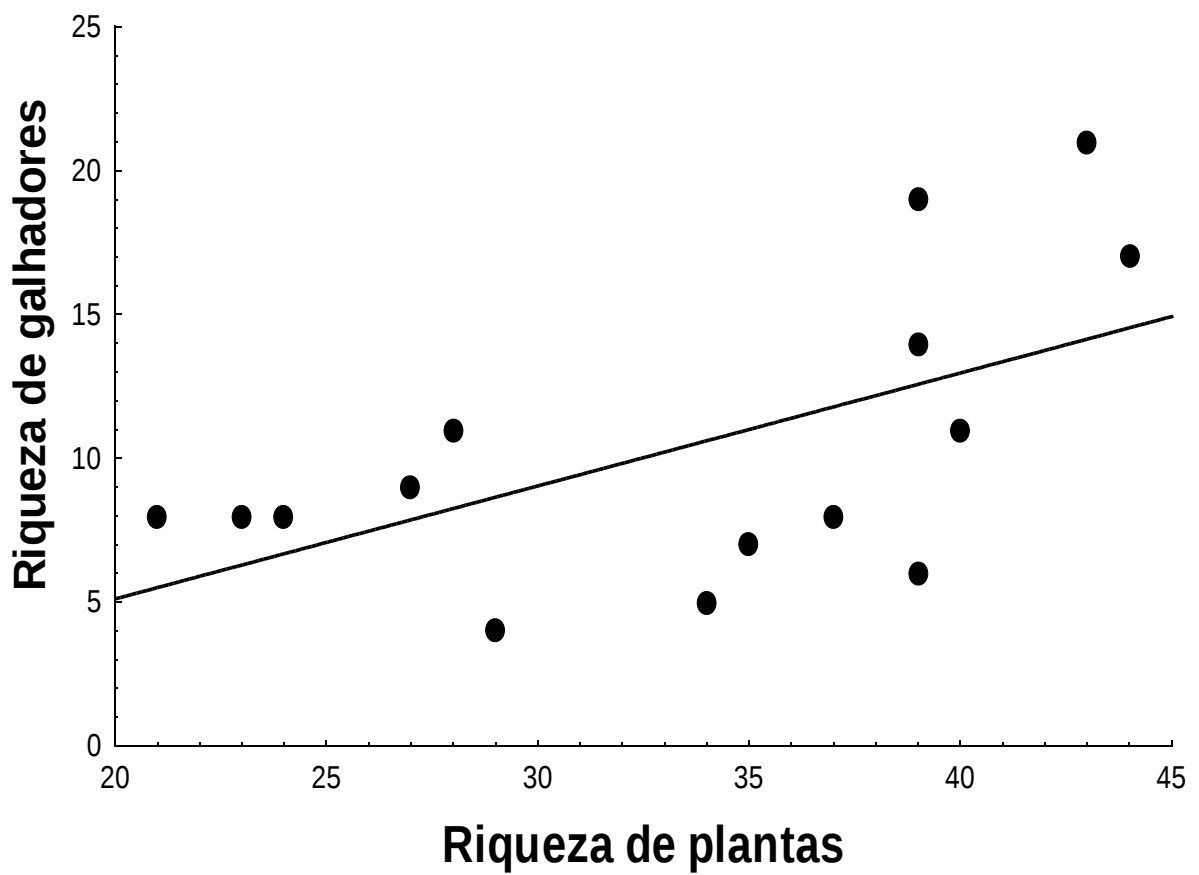


Figura 2. Relação entre a riqueza de insetos galhadores sem os taxa super-hospedeiros e a riqueza de plantas ($r^2 = 0,33$; $p < 0,05$; $y = -2,7394 + 0,3926 \cdot x$).

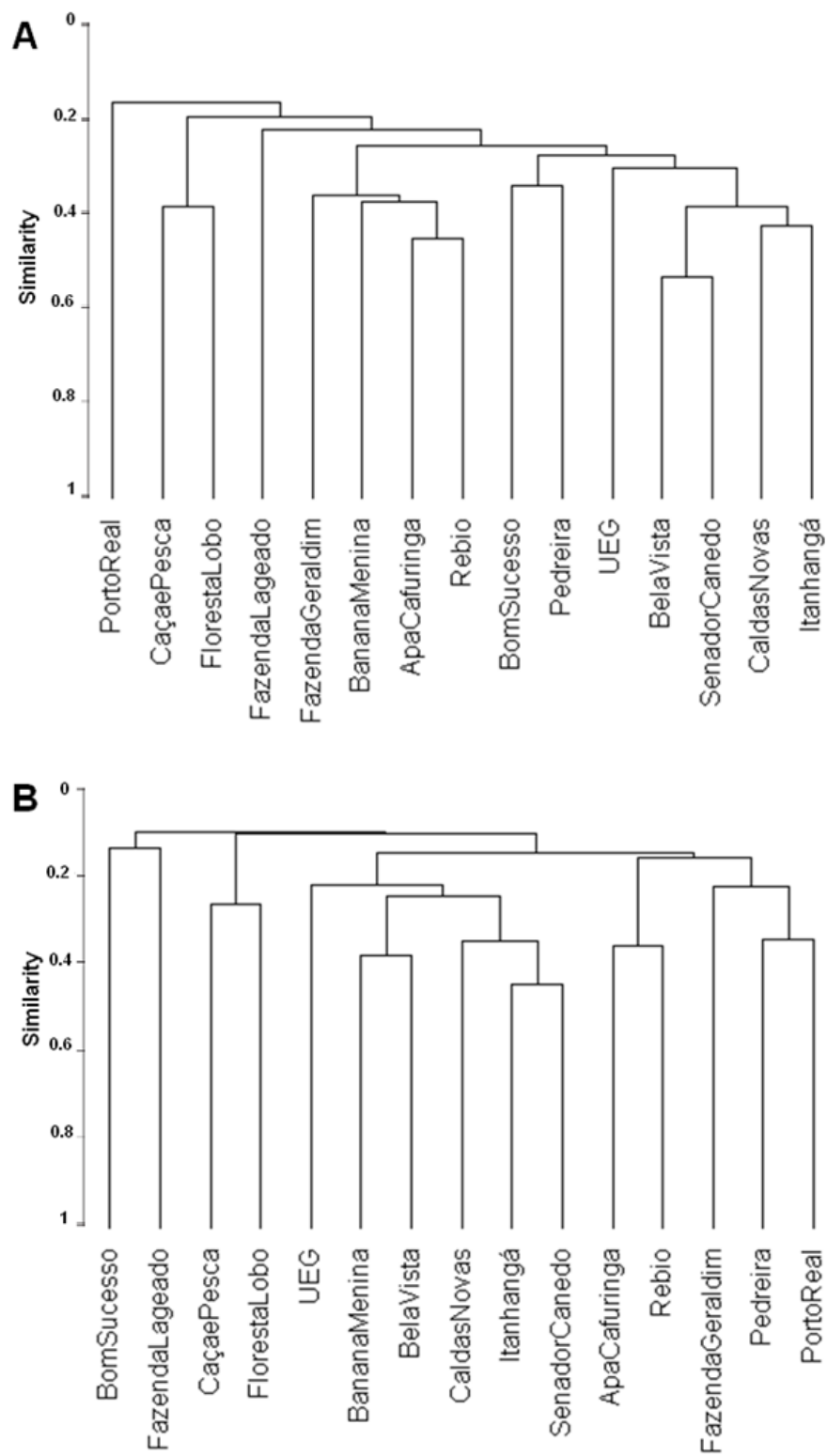


Figura 3. Diagrama de agrupamento (UPGMA) para A) similaridade de composição de espécies de plantas hospedeiras e B) similaridade de composição de espécies de insetos

galhadores entre diferentes áreas do Cerrado brasileiro (para detalhes sobre as áreas ver o texto).