

Hipóteses sobre padrões de herbivoria podem se aplicar à fungivoria?

Simone B. Vosgueritchian

Introdução

Os fungos constituem o segundo maior componente de biodiversidade em florestas tropicais (Heywood 1995), sendo um dos principais responsáveis pela ciclagem de nutrientes no solo (Hawksworth & Colwell 1992). Calcula-se que menos de 5% das 1.500.000 espécies de fungos que se supõe existir tenham sido descritas (Maia *et al.* 2006). Considerando a alta diversidade desse reino, é possível imaginar a vasta gama de interações que existem entre fungos e outros organismos. Entretanto, a ecologia dos fungos ainda é pouco estudada na Amazônia Central e sua relação com outros organismos que os utilizam como alimento é praticamente desconhecida.

Vivendo como sapróbios, parasitas ou simbiontes e sendo primordialmente decompositores, os fungos apresentam grande versatilidade em relação às formas de vida (Maia *et al.* 2006). Sapróbios são encontrados onde quer que exista matéria orgânica a ser decomposta (Maia *et al.* 2006) e o recurso, neste caso, representa simultaneamente o substrato e a fonte de nutrientes orgânicos para esses fungos. Portanto, a durabilidade do substrato influencia diretamente a

longevidade do micélio (Rayner *et al.* 1985). Dentre os sapróbios encontram-se decompositores de madeira e serapilheira que estão principalmente associados a ambientes arbóreo-arbustivos (Braga-Neto 2006). Os grupos mais representativos dessa forma de vida compõem as classes Basidiomycetes e Ascomycetes (Joly 1977). Os basidiomicetos são os fungos mais estudados por serem macroscópicos já que formam esporos sexuados em estruturas especializadas denominadas corpos de frutificação ou basidiomas, que variam em tamanho, forma, consistência e coloração (Maia *et al.* 2006). Esses corpos de frutificação parecem ser uma importante fonte de alimento para a fauna, inclusive para vertebrados (C. Castilho com. pess.).

O consumo de qualquer estrutura fúngica, como micélio, corpos de frutificação ou esporos, denomina-se fungivoria. Existem poucos registros detalhados sobre fungivoria na literatura, porém existem muitas descrições de insetos que se alimentam de fungos (Hanski 1989; Komonen 2003; Jonsel & Nordlander 2004; Triplehorn & Johnson 2005). Por outro lado, a interação entre insetos fitófagos e plantas é bastante conhecida, sendo

reconhecidos diversos padrões de consumo e preferência dos herbívoros (Coley & Barone 1996). De fato, muitos estudos sobre herbivoria em florestas tropicais se ativeram em identificar propriedades da planta que influenciam tal preferência alimentar dos herbívoros, incluindo a morfologia da planta (Feeny 1976), a qualidade foliar e a presença de compostos secundários (Coley 1983). Conforme as folhas vão envelhecendo, vai havendo a deposição de celulose, hemicelulose, pectina e outros materiais na parede celular de suas células, que as protegem de possíveis insetos herbívoros (Coley & Barone 1996). Outro fator importante na defesa contra a herbivoria é a produção de compostos químicos que variam conforme a idade das folhas, sendo que folhas jovens apresentam níveis maiores de terpenóides do que folhas maduras (Coley & Barone 1996).

Este trabalho teve como objetivo geral verificar se algumas hipóteses utilizadas para entender os padrões de herbivoria em plantas podem ser aplicados à interação inseto-fungo. Considerando que nas plantas, folhas mais novas e mais moles são mais atacadas do que folhas maduras (Coley & Kursar 1996), espero testar se, de forma análoga, a consistência do fungo e seu estágio de desenvolvimento influenciam a fungivoria. Para isso, pretendo responder às seguintes perguntas: 1) fungos com diferentes consistências apresentam

diferentes freqüências de corpos de frutificação com marcas de ataque por fungívoros e com presença de insetos?; 2) a idade dos corpos de frutificação exerce influência sobre as freqüências de ataques por fungívoros?, e 3) fungos com diferentes consistências suportam diferentes riquezas de artrópodes frugívoros? Minha previsão é que o número de corpos de frutificação com marcas de fungivoria e com insetos seja maior em fungos de consistência carnosa, pois estes são mais tenros. Da mesma forma, espero que corpos de frutificação jovens apresentem um maior número de corpos de frutificação atacados em comparação com os outros estágios de desenvolvimento, por serem mais conspícuos e mais tenros. Quanto à riqueza, espero encontrar um maior número de espécies de artrópodes nos corpos de frutificação de fungos carnosos, já que não seria necessária estruturas especializadas nos fungívoros para o consumo do fungo.

Material & métodos

Área de estudo

Realizei este estudo na reserva florestal do Km 41 (02°26'S; 59°46'O), parte da área de estudo do Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais (PDBFF-INPA), localizada a 800 km ao norte de Manaus, AM. A média anual de temperatura no local é de 27

°C e a época mais seca ocorre entre julho e setembro, quando as médias de pluviosidade mensal não ultrapassam 100 mm (Lovejoy & Bierregaard 1990). A reserva é coberta por floresta de terra firme firme cujo relevo é caracterizado por áreas de platô, vertentes e baixios, a quais possuem flora diferenciada (Oliveira 1997). A área possui um sistema com trilhas a cada 100 m no sentido norte-sul e leste-oeste.

Coleta de dados

Coletei os fungos durante dois dias do mês de agosto de 2006 ao percorrer um total de 3 km nas trilhas 4, S e 23. Quase a totalidade de fungos avistados em troncos caídos, árvores mortas em pé, serapilheira e solo, foram coletados com as mãos e, quando necessário, com auxílio de canivete. A maioria dos fungos encontrados estavam localizados em madeira morta no chão. Acondicionei cada coleta em sacos ou frascos plásticos e os mantive em isopor durante os dias de triagem.

Seguindo critérios de forma, coloração e consistência, classifiquei os fungos em morfotipos. Agrupei os representantes de morfotipos semelhantes para não superestimar o número de espécies de fungos. Considerei cada agrupamento de corpos de frutificação como um indivíduo para a morfotipagem e categorizei cada morfotipo quanto à sua consistência. Entretanto, para

determinar a idade, considerei cada corpo de frutificação individualmente. Portanto, um mesmo indivíduo poderia ter mais de uma classe de idade. Em relação à riqueza de artrópodes associados, considerei cada corpo de frutificação separadamente, agrupando-os nas classes de consistência.

Para a classificação por consistência, categorizei cada morfotipo em três grupos: 1) carnosos: fungos que apresentaram seus corpos de frutificação moles ou gelatinosos, como os cogumelos e chapéus-de-judeu (Figura 1a); 2) coriáceos: fungos cujos corpos de frutificação eram duros e/ou coriáceos, porém ainda carnosos quando perfurados (Figura 1b); e 3) lenhosos: fungos que, quando já desenvolvidos parecem com madeira e, quando perfurados, são quebradiços (Figura 1c). Separei cada corpo de frutificação por classes de idade através dos seguintes critérios: 1) jovens: corpos de frutificação tenros e com coloração brilhante; 2) adultos: corpos de frutificação sem marcas de decomposição e sem as características dos jovens; e 3) velhos: corpos de frutificação em decomposição.

Em laboratório, inspecionei cada fungo coletado para a procura de artrópodes com o auxílio de uma lupa. Preservei os artrópodes encontrados em álcool 70% e individualizei o conjunto de espécimes encontrados em cada fungo para posterior identificação. Os

organismos foram identificados até ordem, registrando se estavam em fase imaturas ou adulta. Adicionalmente, registrei se havia a

presença de marcas de ataques por fungívoros como, por exemplo, mordidas ou furos nos corpos de frutificação (Figura 2).



Figura 1. Ilustração das três categorias de consistência dos corpos de frutificação dos fungos, coletados na Reserva Florestal do Km 41: (A) carnosos; (B) coriáceo e (C) lenhoso.

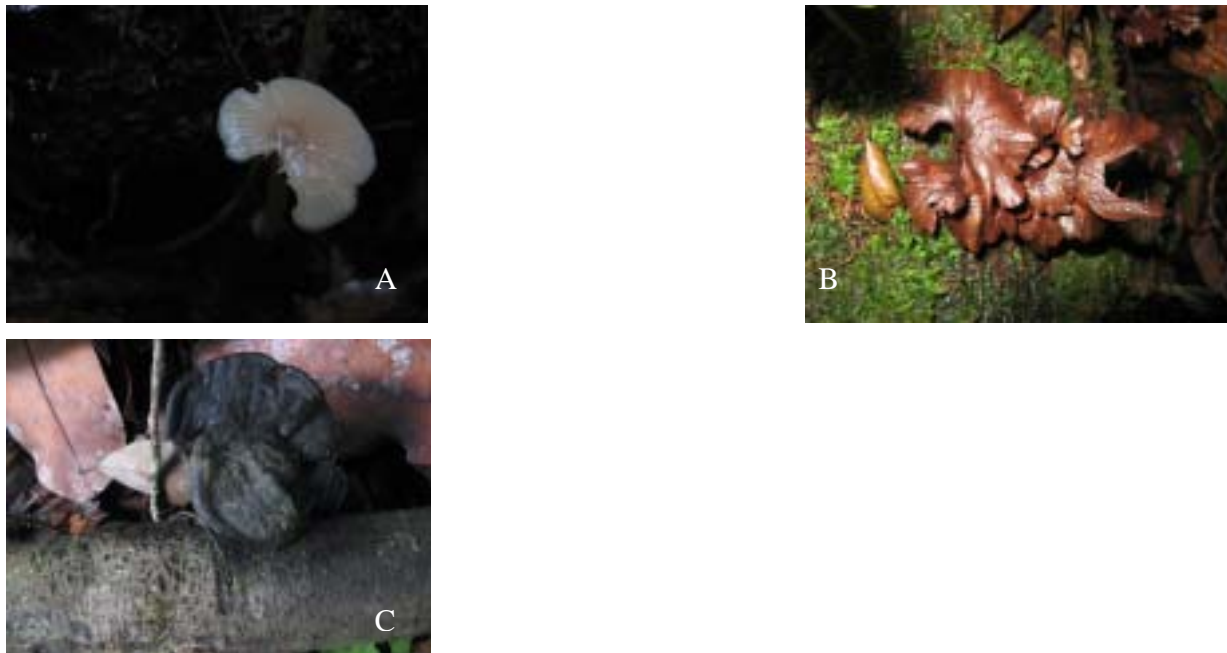


Figura 2. Ilustração das marcas de fungivoria em corpos de frutificação (A) carnosos; (B) coriáceos e (C) lenhosos. Note que em (A) e (B) as marcas são mordidas e em (C), furos.

Análise de dados

Para as comparações das frequências de fungos com e sem marcas de ataques de fungívoros e presença e ausência de artrópodes em relação às diferentes consistências realizei testes de qui-quadrado

de contingência. Da mesma forma, utilizei um qui-quadrado de contingência para testar se as frequências de fungos de idades diferentes variam quanto à presença de marcas de ataques. Para a análise de riqueza entre as categorias de consistência dos corpos de

frutificação, considerei cada indivíduo separadamente, utilizando o teste de Kruskal-Wallis, já que os dados não apresentaram distribuição normal.

Resultados

Coletei 90 indivíduos de fungos pertencentes a 45 morfotipos de Basidiomycetes e Ascomycetes. Apenas 10 morfotipos possuíam mais que dois representantes (variação: 3 a 8). Dentre as categorias de consistência dos fungos, 41% dos indivíduos coletados tinham consistência carnosa, 32% eram coriáceos e 27% lenhosos. Quanto aos morfotipos, as proporções entre as

categorias de consistência foram muito semelhantes das encontradas para os indivíduos.

No total, analisei 115 corpos de frutificação para registrar marcas de ataque por fungívoros, presença de artrópodes e riqueza de artrópodes por categoria de consistência. A grande maioria (68,7%) dos corpos de frutificação apresentavam marcas de fungivoria. Porém, nem a consistência do fungo ($\chi^2 = 0,382$; g.l. = 2; $p = 0,83$; Figura 3) nem as idades dos corpos de frutificação ($\chi^2 = 1,73$; g.l. = 2; $p = 0,42$; Figura 4) explicaram a alta frequência de fungos atacados.

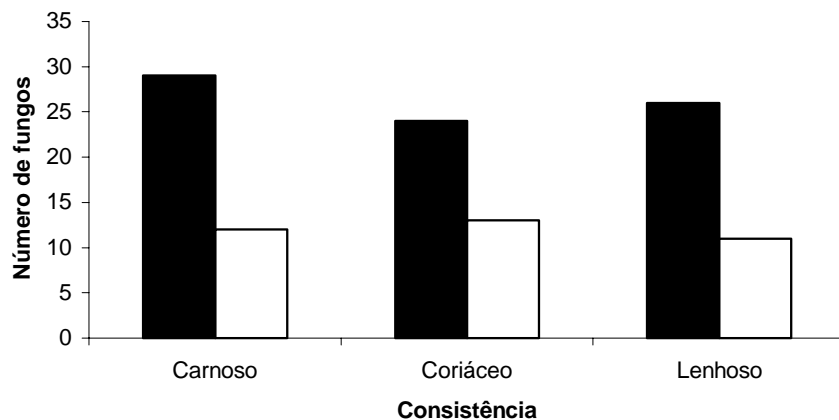


Figura 3. Relação entre número de fungos atacados (barras pretas) e não-atacados (barras brancas) e consistência dos corpos de frutificação de fungos encontrados na Reserva Florestal do Km 41, Amazônia Central.

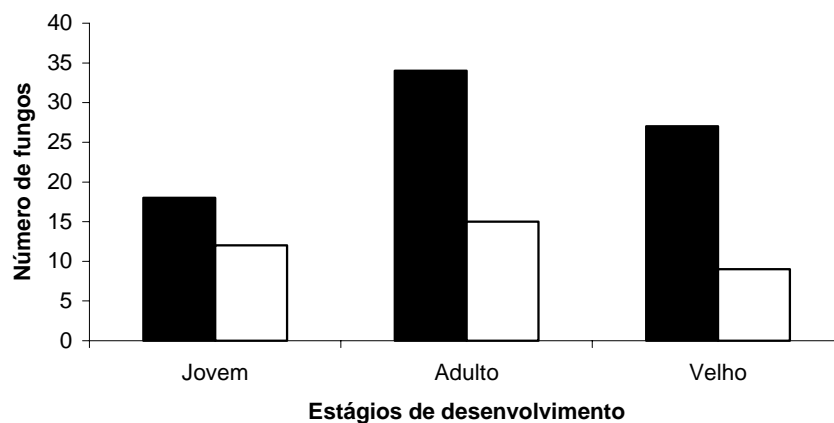


Figura 4. Relação entre número de fungos atacados (barras pretas) e não-atacados (barras brancas) e os estágios de desenvolvimento dos corpos de frutificação de fungos encontrados na Reserva Florestal do Km 41, Amazônia Central.

Quanto à presença de artrópodes associados aos fungos, pode reconhecer que há uma maior frequência de fungos com artrópodes do que sem, principalmente nos fungos com consistências carnosa e lenhosa ($\chi^2 = 6,97$; g.l. = 2; $p < 0,05$; Figura 5). Entretanto, a riqueza de insetos fungívoros encontrados em cada corpo de frutificação não diferiu entre as categorias carnosa, coriácea e lenhosa (Kruskal-Wallis = 4,848; $p = 0,089$; Figura 6). A composição de artrópodes encontrada nos fungos carnosos, coriáceos e lenhosos está

apresentada na Tabela 1. As ordens que mais ocorreram associadas aos corpos de frutificação foram Coleoptera e Diptera, tanto em fases adultas como larvais. A quase totalidade dos artrópodes estavam consumindo o himênio, ou “chapéu”, dos corpos de frutificação (Figuras 7a,b). Em observações em campo pode observar também muitos dípteros ovipositando nos corpos de frutificação, principalmente em fungos carnosos (Figura 7c).

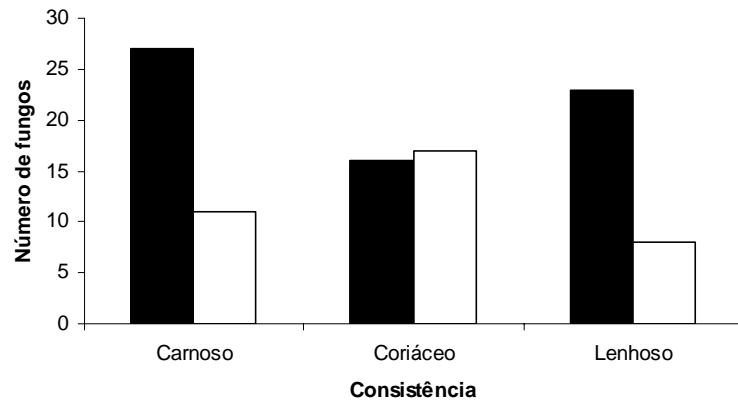


Figura 5. Relação entre o número de fungos com artrópodes (barras pretas) e sem artrópodes (barras brancas) e consistência dos corpos de frutificação encontrados na Reserva Florestal do Km 41, Amazônia Central.

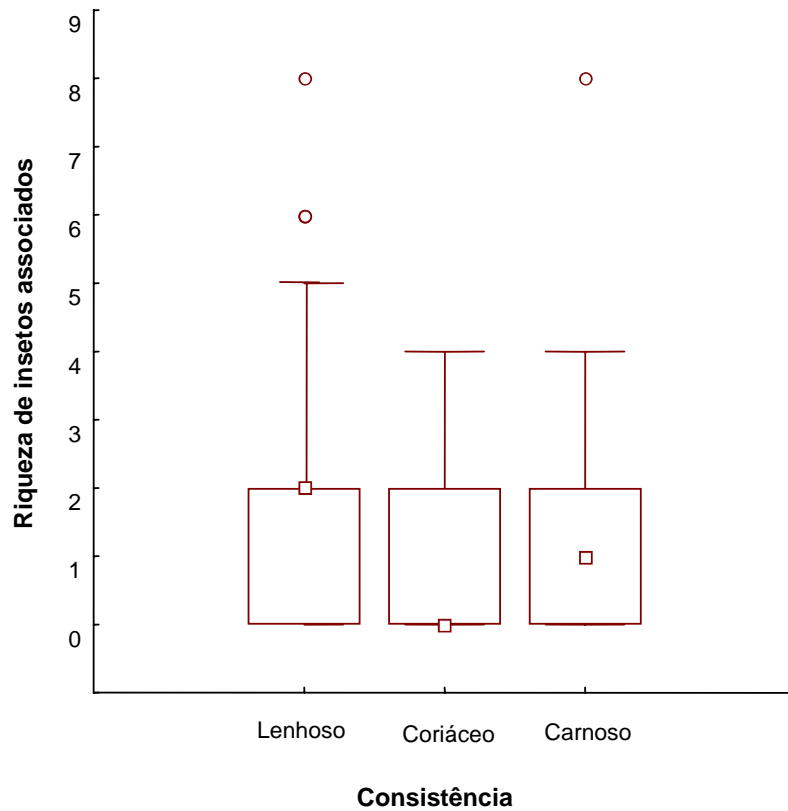


Figura 6. Riqueza de artrópodes associados a fungos de diferentes consistências encontrados na Reserva Florestal do Km 41, Amazônia Central. Os pequenos quadrados representam as medianas, as caixas representam os limites entre o 1º e o 3º quartil, as barras verticais representam os desvios padrões e os círculos os pontos discrepantes.

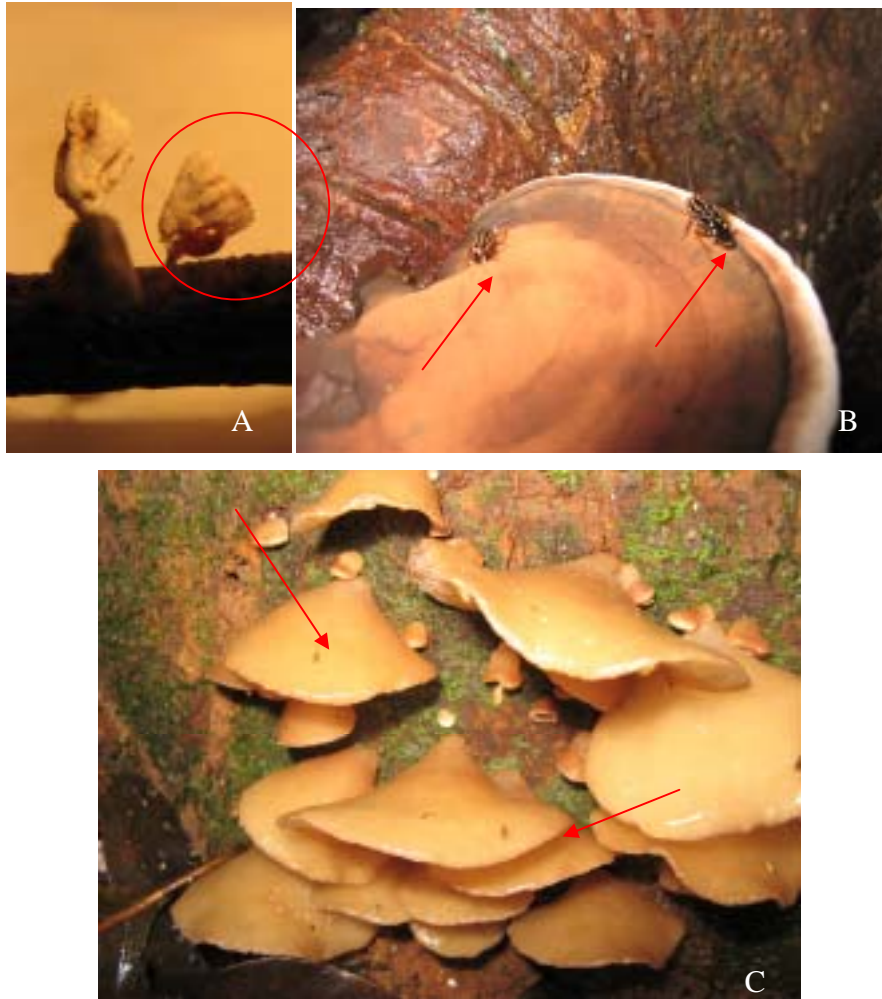


Figura 7. Ilustrações de insetos associados a fungos encontrados na Reserva Florestal do Km 41, Amazônia Central: (A) coleóptero (em destaque) em corpo de frutificação coriáceo; (B) baratas em corpo de frutificação lenhoso, apontadas pelas setas e (C) moscas ovipositando em corpos de frutificação carnosos, indicadas pelas setas.

Tabela 1: Frequência de ocorrência dos grupos de artrópodes encontrados nos fungos quanto à consistência do corpo de frutificação, na Reserva Florestal do Km 41, Amazônia Central.

Táxons	Frequência de ocorrência		
	Carnosos	Coriáceos	Lenhosos
ARACHNIDA			
Acari	3,8	3,2	13,8
Araneae	1,9	-	-
Pseudoscorpiones	1,9	-	1,7
CRUSTACEA			

Isopoda	-	-	3,5
HEXAPODA			
Blattodea	-	-	1,7
Coleoptera (adulto)	13,5	41,9	32,8
Coleoptera (larva)	-	12,9	13,8
Collembola	3,8	3,2	1,7
Diptera (adulto)	15,8	3,2	1,7
Diptera (larva)	46,2	12,9	1,7
Heteroptera	-	-	1,7
Hymenoptera (Formicidae)	9,6	3,2	13,8
Hymenoptera (Não Formicidae)	1,9	-	-
Isoptera	-	3,2	5,2
Orthoptera	1,9	-	-
Thysanoptera	-	3,2	1,7
Não identificado	-	6,5	1,7
MYRIAPODA			
Diplopoda	-	3,2	3,5
Symphyla	-	3,2	-

Discussão

A consistência e o estágio de desenvolvimento dos corpos de frutificação não explicam as altas frequências de fungivoria nos fungos encontrados na Reserva Florestal do Km 41, refutando a minha hipótese de que haveria maior frequência de ataques em fungos carnosos. Porém, é nítida a ocorrência de artrópodes associados aos fungos macroscópicos sapróbios, sendo mais alta nas categorias carnosa e lenhosa. A idade do corpo de frutificação parece não influenciar o número de fungos atacados, o que também

vai contra a previsão de que corpos de frutificação jovens apresentariam maior fungivoria.

Há uma fauna diversa de artrópodes associada aos fungos decompositores na Reserva Florestal do Km 41, sendo os principais representantes de fungívoros pertencentes às ordens Coleoptera e Diptera. Conforme as observações de campo, dípteros ovipositam nos corpos de frutificação e muitas larvas dessa ordem, assim como de coleópteros, foram encontradas no interior dos himênios. Esse resultado é similar àquele

obtido por Amat-García *et al.* (2004) na Colômbia, onde as mesmas ordens foram os principais grupos associados a fungos. Outros autores, entretanto, apontam também Lepidoptera (Jonsell & Nordlander 2004), Hymenoptera e Heteroptera (Komonen 2001) como grupos importantes associados aos fungos. Tais grupos foram pouco frequentes neste estudo, o que indica que existem variações locais na composição da fauna de fungívoros.

Apesar de não ter sido testado, a composição dos artrópodes fungívoros associados à cada espécie de fungo pode ser a chave para entender como existem consumidores de todas as categorias de consistência e estágios de desenvolvimento. De acordo com Hanski (1989), insetos fungívoros não são específicos quanto à sua escolha, sendo classificados como generalistas. Outros autores, entretanto, afirmam que a dieta generalista ocorre somente entre insetos que se alimentam de cogumelos (fungos carnosos), pois estes são imprevisíveis e efêmeros (Jonsell & Nordlander 2004). Insetos que utilizam corpos de frutificação lenhosos tendem a ser especialistas, pois estes são recursos mais previsíveis, além de terem maior longevidade.

A produção de compostos secundários é considerada como outro fator relevante para entender a defesa de fungos contra fungivoria,

assim como investigado em defesas das plantas contra herbivoria. Coley & Kursar (1996) investigaram a composição química em diferentes idades de folhas e verificaram que compostos secundários são produzidos em maiores concentrações em folhas jovens como defesa contra herbivoria, já que estas são mais palatáveis e, conseqüentemente, mais visadas pelos herbívoros. De forma análoga, esse fator pode auxiliar a compreensão de como o estágio de desenvolvimento do corpo de frutificação pode influenciar no seu consumo (Jonell & Nordlander 2004). Em fases iniciais, o corpo de frutificação de cada espécie possui uma composição química distinta de outras espécies e, conforme vão envelhecendo, tendem a se tornar mais parecidos uns aos outros em relação a estes compostos (Faldt *et al.* 1999). Devido a isso, insetos que se alimentam de corpos de frutificação em estágio de desenvolvimento inicial são geralmente mais especialistas em determinadas espécies porque conseguem metabolizar ou utilizar determinados compostos que variam conforme a espécie. Por outro lado, insetos que se alimentam de corpos de frutificação em estágio de desenvolvimento mais avançado tendem a ser generalistas (Jonsell & Nordlander 2004).

Os padrões de consumo dos corpos de frutificação pelos artrópodes fungívoros não estão completamente esclarecidos e merecem

mais atenção, uma vez que este microhabitat fornece suporte para uma alta diversidade de insetos, muitos dos quais desconhecidos (Komonen 2003). O presente estudo contribuiu para mostrar que existe grande intensidade de consumo de fungos por artrópodes, mas não foi capaz de detectar na fungivoria por artrópodes padrões semelhantes àqueles encontrados em interações planta-herbívoros. Acredito, entretanto, que análises mais refinadas possam elucidar padrões de diversidade de fungívoros, encontrando graus de especializações entre artrópodes e fungos, da mesma forma que foi possível encontrar para plantas e seus herbívoros. Sugiro que estudos futuros que estimem a área consumida do corpo de frutificação sejam realizados, pois, dessa forma, será possível avaliar quantitativamente como se dá a influência da morfologia e estágios de desenvolvimento dos corpos de frutificação na fungivoria.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer inicialmente a toda a equipe do PDBFF/INPA pela oportunidade em participar desse curso. A todos os professores que passaram pelo curso e contribuíram muito, cada um da sua maneira, para um melhor aprendizado. Em especial ao Glauco, por ter me orientado nesse

projeto individual, respeitando todas as etapas, desde o apoio em trabalhar com um reino que eu nunca trabalhei, até por ter permitido eu me impressionar com as lamelas de cada cogumelo. Mas não apenas por isso, também por todas as dicas inesquecíveis e pelo incentivo e atenção constantes, não só para mim, mas para todos os participantes, tornando esse curso muito prazeroso. Ao Zé, por suas espontâneas gargalhadas e pelos seus bom-dias sempre sorridentes. Aproveito aqui para agradecer aos dois pela bronca merecida na Mil. Ao querido amigo Adal, pela sua gentileza. Ao Brau, por ser tão próximo e um exemplo tão porreta. Ao conhecedor Léo, por me apresentar muitos segredos da floresta. Ao Seu Cardoso pela matutez. Ao Tiago Izzo, por ter evitado eu sucumbir. Ao Adriano, pelos saltos em estatística. À mãeinha Eduarda e ao Cabocão pela comida de cada dia, por sempre lembrarem de quem ainda não comeu e pelos bolos de dar água na boca. Ao Seu João de Deus pelos assobios cantarolados. Ao Machu, por nos organizar em uma obra coletiva. À Dona Selly II. Aos companheiros jurêmicos Catá e Dé, foi infinitamente incrível conhecer a Amazônia com vocês, é muito bom estar em família. À Juju, por se empolgar comigo com todos os bichos que eu encontrava nos fungos e por ter segurado minha onda num pulso de inundação. Às novas amizades boas: Daniel, pela companhia muito agradável, ao Beto pela

companhia na ioga, ao Thiago pela paciência, ao Bruno por distribuir sua solidariedade, à Jana porretíssima pelo ânimo e pela quadrilha e à Ísis por seu jeito sereno. À Tú, por ser tão doce mesmo com tantos palavrões. À Dani pela graça e atenção. À Rê por ser tão fácil dividir coisas em comum como o quarto e a lupa. À Mi por compartilhar grilos parecidos. Ao Alê por ser um palhaço tão desbocado. Aos minerins Tadeu por compartilhar cigarrim de paia com café, Rodrigo pelas músicas boas e distrações divertidas e Ernane por mostrar em como trabalhar sem piscar. Às remosinhas Tatá pela calma baiana e à Táta por ter sido tão forte. À Gabi por insistir tanto na Amazônia. Ao Saci pela inspiração pelos fungos. À Tati que caminhou sobre as águas comigo em Anavilhanas. Ao meu anjo por ter me protegido sem eu perceber nada. Ao João por estar aqui comigo mesmo não estando. E aos flecheiros no igarapé. E que a Amazônia continue resistindo.

Referências bibliográficas

- Amat-García, E.; Amat-García, G. & Henao-M., L.G. 2004. Diversidad taxonómica y ecológica de la entomofauna micófaga em um bosque altoandino de la cordillera oriental de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciências, Ecología* 28: 223-231.
- Braga-Neto, R. 2006. Diversidade e padrões de distribuição espacial de fungos de liteira sobre o solo em florestas de terra-firme na Amazônia Central. Dissertação de Mestrado, INPA, AM.
- Coley, P.D. 1983. Intraspecific variation in herbivory in two tropical tree species. *Ecology* 64: 426- 433.
- Coley, P.D. & Barone, J.A. 1996. Herbivory and plant defenses in tropical forests. *Annual Review Ecology and Systematic* 27: 305-335.
- Coley, P.D. & Kursar, T.A. 1996. Anti-herbivore defenses of young tropical leaves: physiological constraints and ecological trade-offs. In: *Tropical forest plant ecophysiology*. Hulkey, S.S.; Chazon, R.L. & Smith, A.P. (eds.). pp. 305-335. Chapman and Hall, NY.
- Faltdt, J.; Jonsell, M.; Nordlander, G. & Borg-Karlson, A.K. 1999. Volatiles of Bracket Fungi *Fomitopsis pinicola* and *Fomes fomentarius* and their functions as insect attractants. *Journal of Chemical Ecology* 25: 567-590.
- Feeny, P. 1976. Plant apparancy and chemical defense. *Recent Advances in Phytochemistry* 10: 1-40.
- Hanski, I. 1989. Fungivory: Fungi, Insects and Ecology. In: *Insect-Fungus Interactions*. 14th Symposium of Royal Entomological Society London, Wilding, N. M., Collins,

- P. M., Hammond & Webber, J. F. (eds.). pp. 25-68. Academic Press, London.
- Hawksworth, D.L. & Colwell, R.R. 1992. Microbial diversity 21: biodiversity amongst micro-organisms and its relevance. *Biodiversity and Conservation* 1: 221-226.
- Heywood, V.H. 1995. Global biodiversity assessment. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Joly, A.B. 1977. Botânica: introdução à taxonomia vegetal. Editora Nacional, SP.
- Jonsell, M. & Nordlander, G. 2004. Host selection patterns in insects breeding in bracket fungi. *Ecological Entomology* 29: 697-705.
- Komonen, A. 2001. Structure of insect communities inhabiting old-growth forest specialist bracket fungi. *Ecological Entomology* 26: 63-75.
- Komonen, A. 2003. Hotspots of insect diversity in boreal forests. *Conservation Biology* 27: 976-981
- Lovejoy, T.E. & Bierregaard, R.O. 1990. Central amazonian forest and the minimum critical size of ecosystem project. In: Four tropical rain forests. Gentry, A.H. (ed.). Yale University Press, New Haven, USA.
- Maia, L.C.; Cavalcanti, M.A.; Gibertoni, T.; Goto, B.T.; Melo, A.M.M.; Baseia, I.G. & Silvério, M.L. 2006. Fungos. In: *Diversidade Biológica e Conservação da Floresta Atlântica ao Norte do rio São Francisco*. Pôrto, K.C., Almeida-Cortez, J.S., Tabarelli, M. (orgs.). Brasília.
- Oliveira, A.A. 1997. Diversidade, estrutura e dinâmica do componente arbóreo de uma floresta de terra firme de Manaus, Amazonas. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Rayner, A.D.M.; Watling, R. & Frankland, J.C. 1985. Resource relations: an overview. In: *Developmental biology of higher fungi*. Moore, D., Casselton, L.A. & Frankland, J.C. (eds.). Cambridge, Cambridge University Press.
- Triplehorn, C.A. & Johnson, N.F. 2005. Borror and Delong's introduction to the study of insects. Thomson, C.C.; Brooks, E. & Cole, A.C. (eds.). Belmont, EUA.