



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Biológicas

Programa de Pós-Graduação em Ecologia

DIVERSIDADE DE DROSOFILÍDEOS (DIPTERA, DROSOPHILIDAE) NA RESERVA ECOLÓGICA DO
IBGE, EM ÁREAS AFETADAS PELO FOGO.

MARCOS ARAÚJO DE PAULA

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rosana Tidon

Brasília, 2015



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Biológicas

Programa de Pós-Graduação em Ecologia

DIVERSIDADE DE DROSOFILÍDEOS (DIPTERA, DROSOPHILIDAE) NA RESERVA ECOLÓGICA DO
IBGE, EM ÁREAS AFETADAS PELO FOGO.

MARCOS ARAÚJO DE PAULA

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rosana Tidon

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ecologia

Brasília, DF

2015

Dissertação de Mestrado

MARCOS ARAÚJO DE PAULA

Título:

“Diversidade de drosofilídeos (Diptera, Drosophilidae) na Reserva Ecológica do IBGE, em áreas afetadas pelo fogo”

Banca Examinadora:



Prof.ª Dr.ª Rosana Tidon
Presidente
GEM/UnB



Prof. Dr. Emerson Monteiro Vieira
Membro Titular
ECL/UnB



Prof. Dr. Onildo João Marini Filho
Membro Titular
ICMBIO

Prof. Dr. Francisco das Chagas Roque Machado
Suplente
IFB

Brasília, 17 de abril de 2015.

Agradecimentos

Agradeço a todos que, de alguma forma, me ajudaram com o meu crescimento científico, intelectual e pessoal nesses últimos dois anos. Em especial, gostaria de agradecer:

A Deus, pela inspiração, paz e por me “dar” uma cruz do tamanho que eu pude carregar.

A toda minha família, em especial meus pais, Alberto e Ruth, meu avô Fernando e meu querido irmão Bernardo, que sempre me apoiaram incondicionalmente durante toda a minha jornada, nunca duvidando das minhas decisões e sempre me encorajando, mesmo sem às vezes compreender exatamente o que acontecia. O apoio de vocês é fundamental em minha vida.

À Fernanda pelo amor, amizade, paciência, força e eterno companheirismo. Obrigado, Nandinha, por sempre acreditar em mim e servir como uma fonte de inspiração constante.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Rosana Tidon, que sempre me acolheu da forma mais carinhosa possível em seu laboratório e teve papel fundamental na minha formação como cientista. Obrigado por acreditar no meu potencial e me dar a oportunidade para crescer como pessoa e como pesquisador.

À Renata pela enorme contribuição e amizade durante todo o processo. Sem a sua ajuda, conselhos, contribuições biológicas e estatísticas, pouco teria acontecido.

Aos colegas de laboratório que me aguentaram durante esse tempo todo: Renata, Henrique, Jonas, Francisco, Prof.^a Nilda, Bárbara, Brito, Stefânia, Pedro Henrique, Natália “diboas”, Waira, Felipe, Jonathan, Dariane, Iago, Débora, Pedrinho, Pedro Paulo, Natália, Benjo e Igor. Todo o aprendizado, falatório, risadas e besteiras só aconteceram pela companhia de vocês. Obrigado pelos momentos de discussão, crescimento e divertimento.

Ao Pedro Henrique, Renata, Pedro Paulo, Waira, Natalia “diboas”, Felipe (k) e meu pai que formaram, em algum momento, minha querida equipe de campo que me auxiliou sempre com bom humor e determinação em todos os momentos.

Ao Pedro Henrique (PH), meu grande parceiro de jornada. Sua contribuição foi fundamental para o cumprimento deste projeto. Sem a sua presença, metade das piadas não existiria. Obrigado por tudo; esse trabalho também é seu.

À Bárbara e à Waira pelo grande auxílio em decifrar parte das espécies crípticas coletadas.

À minha família do SCAP (Elias, Pietro, Brito, Gordo, Johny, Guth, Vitão, Bocão, Mamão e Magna), “poxa, Fernanda” e grandes amigos da Biologia – e agregados – por sempre me auxiliarem a tornar o caminho traçado muito mais divertido e com enormes aprendizados.

Aos amigos da Ecologia, pela amizade e ajuda com discussões, dúvidas e muita descontração. Às meninas da Genética, pela companhia em risadas, cafés, lanches, *coaching fitness* e em todo o estresse pré-defesa.

Ao Brito, pelos conselhos e atitudes que me fizeram ter um posicionamento claro durante toda a minha trajetória. Sem isso, o meu Mestrado teria tomado outros rumos bem diferentes.

Ao Pietro, pela grande ajuda na conclusão da dissertação, com grandes contribuições.

Ao programa de Pós-Graduação em Ecologia e todos os professores envolvidos que me fizeram ter uma ótima formação e proporcionaram a construção de conhecimento.

À Universidade de Brasília, por fornecer transporte para a RECOR para a elaboração das coletas.

À Reserva Ecológica do IBGE, por permitir as coletas e por todo o auxílio e disponibilidade. Em especial ao Mauro, Betânia, Miriam, Seu Diacis, Lodi e todos que sempre me ajudaram quando eu precisei.

Ao CNPq, pela bolsa de estudo concedida e pelos recursos disponibilizados para a realização das coletas em campo (PELD).

Sumário

Resumo.....	1
Abstract.....	2
Introdução.....	3
Distúrbio.....	3
O Cerrado e o fogo.....	3
Efeitos do fogo em insetos no Cerrado.....	5
As moscas da família Drosophilidae.....	6
Contexto e Objetivo.....	7
Metodologia.....	9
Área de Estudo.....	9
Amostragem e identificação de espécies.....	9
Análise de Dados.....	10
Resultados.....	13
Discussão.....	23
Conclusão.....	29
Referências.....	30
Apêndices.....	38

Lista de Figuras

Figura 1. Abundância relativa (barras) e absoluta (entre parênteses) de drosofilídeos exóticos (parcela mais escura) e neotropicais (parcela mais clara), de outubro de 2013 a agosto de 2014, em cerrados e matas da Reserva Ecológica do IBGE queimados (Q) e não queimados (NQ) na queimada acidental de 2011.

Figura 2. Curvas de rarefação (pontos sólidos), baseadas em amostras, para assembleias de drosofilídeos feitas sob o modelo de produto de Bernoulli, com intervalos de confiança de 95% com suas extrapolações (linhas pontilhadas), em áreas de mata e cerrado da Reserva Ecológica do IBGE queimados (Q) e não queimados (NQ) na queimada acidental de 2011.

Figura 3. Ordenações mensais das NMDS para os diferentes grupos: (▲) Mata queimada, (Δ) Mata não queimada, (●) Cerrado queimado e (○) Cerrado não queimado.

Figura 4. Perfis de diversidade para assembleias de drosofilídeos, mês a mês, destacando o efeito do fogo em áreas de mata: (▲) Mata queimada e (Δ) Mata não queimada.

Figura 5. Perfis de diversidade para assembleias de drosofilídeos, mês a mês, evidenciando o efeito do fogo em áreas de cerrado: (●) Cerrado queimado e (○) Cerrado não queimado.

Figura 6. Perfis de diversidade para assembleias de drosofilídeos, mês a mês, evidenciando o efeito da fitofisionomia em áreas queimadas: (▲) Mata queimada e (●) Cerrado queimado.

Figura 7. Perfis de diversidade para assembleias de drosofilídeos, mês a mês, evidenciando o efeito da fitofisionomia em áreas não queimadas: (Δ) Mata não queimada e (○) Cerrado não queimado.

Lista de Tabelas

Tabela 1. Resultados da PERMANOVA da estrutura da assembleia de drosofilídeos da Reserva Ecológica do IBGE, mostrando os valores de partição de variância entre os meses, fitofisionomia, presença de fogo e suas interações.

Resumo

O fogo tem papel determinante no Cerrado, uma vez que sem ele o atual mosaico de fitofisionomias seria alterado. Essa perturbação ocorre há 32 mil anos, mas com a chegada do homem, a época e a frequência de queima foram alteradas. Estudos sobre os efeitos do fogo em comunidades de invertebrados normalmente focalizam queimadas controladas: poucos trabalhos investigaram queimadas esporádicas, ainda mais com efeitos indiretos a médio/longo prazo. A queimada que ocorreu na RECOR em 2011 atingiu quase a totalidade da reserva e possibilitou o estudo do efeito desse distúrbio em assembleias de drosofilídeos. As assembleias desses insetos foram caracterizadas em áreas queimadas e não queimadas, e foi investigado se a presença do fogo, mês de coleta e fitofisionomia (e interações entre eles) participam da estruturação da comunidade. Os fatores que mais alteraram a estrutura das assembleias foram o mês de coleta, a fitofisionomia, a interação do mês com a fitofisionomia e do mês com o fogo. O fogo, como fator isolado, não foi significativo na modificação da estrutura das assembleias, embora seja possível identificar seu papel atuante em diferentes meses, a depender do ponto ecológico analisado. Áreas queimadas foram mais diversas e mais ricas que áreas não queimadas, para ambas fitofisionomias em alguns meses e com diferenças no comportamento populacional entre espécies neotropicais e espécies exóticas. O fogo modificou a estrutura da paisagem e essa guiou as alterações na estrutura das assembleias de drosofilídeos. Os novos nichos criados com a sucessão na estrutura da vegetação fizeram com que as assembleias tomassem rumos diferentes em comparação com as áreas não queimadas. Embora os efeitos não sejam claros e variem de acordo com as respostas das assembleias em relação às condições climáticas do mês e à fitofisionomia, a estrutura das assembleias de drosofilídeos é diferente entre áreas queimadas e não queimadas.

Palavras chave: Cerrado, distúrbio, *Drosophila*, efeitos do fogo, estrutura da comunidade

Abstract

Fire has a determinant role in Cerrado since the current mosaic of vegetation types would be different without it. This disturbance has been occurring for a long time, as evidenced by the numerous adaptations and responses of the vegetation biome. With the arrival of men, however, frequency and timing of burning were profoundly changed. Studies on fire effects on invertebrates communities usually focus on controlled burns; few studies investigate sporadic fires, especially with indirect effects in medium to long term. The fire that burned RECOR in 2011 affected almost the entire Reserve and enabled the study of the effects of this disturbance on drosophilid assemblages. The assemblages of these insects were characterized in burned and unburned areas. We investigated the effects of fire, sampling month and vegetation type (and interactions between them) in community structuring. The factors that most altered the structure of the assemblages were the sampling month, vegetation type, the interaction of the month with vegetation type and month with fire. The fire, as an isolated factor was not significant in modifying the structure of the assemblages, although it is possible to identify its active role in different months, depending on the ecological aspect analyzed. Burned areas were more diverse and richer than unburned areas for both vegetation types in a few months and with differences in population behavior among neotropical species and exotic species. Fire changed the structure of the landscape and guided changes in the structure of drosophilids assemblages. The new niches created with the succession in vegetation structure caused the assemblages to take different paths compared to unburned areas. Although the effects are unclear and vary according to the answers of assemblages on climate conditions of the month and vegetation type, the structure of drosophilid assemblages is different between burned and unburned areas.

Keywords: Cerrado, disturbance, *Drosophila*, fire effects, community structure.

Introdução

Distúrbio

A definição tradicional de distúrbio, proposta por White & Pickett (1985), considera distúrbio como qualquer evento discreto no tempo que perturba o ecossistema, comunidade ou a população e altera os recursos, disponibilidade de substrato ou meio ambiente físico. Nessa definição, existe uma variedade de parâmetros e processos que irão conduzir a essas alterações, como área de extensão, intensidade e severidade, frequência, duração, predição, distribuição e sinergismo dos distúrbios (Souza, 1984; White & Pickett, 1985). Dornelas (2010) ainda define distúrbio como “um evento que causa mudanças temporárias e localizadas nas taxas demográficas”.

Distúrbios ecológicos podem ser categorizados como naturais ou antrópicos e ter origem interna ou externa (Souza, 1984), entre outras dicotomias. Distúrbios naturais são aqueles sem raiz antropogênica, incluindo incêndios de causa natural, furacões, enchentes e algumas formas de predação e herbivoria. Já incêndios antrópicos, uso da terra e derramamentos tóxicos são exemplos de ações humanas geradoras de distúrbios (Lockwood *et al.*, 2006). A dualidade sobre a origem dos distúrbios distingue-os entre distúrbios endógenos e exógenos. Distúrbios endógenos têm presença histórica e evolutiva nos sistemas naturais e produzem mudanças “por dentro” (como predações e as forças de sucessão). Distúrbios exógenos, por outro lado, são aqueles externos ao aspecto evolutivo do sistema. (Lockwood *et al.*, 2006). Mesmo sendo uma dicotomia, ela é melhor considerada como um *continuum* endógeno-exógeno (White & Pickett, 1985).

O conceito de distúrbio é extensamente aplicado a teorias ecológicas, como em modelos de dinâmica de manchas, coexistência, *trade-offs* de história de vida e sucessão ecológica (Dornelas, 2010). A teoria da sucessão ecológica (Clements, 1916), por exemplo, discorre sobre as diferentes etapas que uma comunidade atravessa, desde a colonização por espécies pioneiras, até o seu clímax. A importância do distúrbio, neste contexto, é de impedir uma comunidade de atingir ou se manter no clímax (Dornelas, 2010).

O Cerrado e o fogo

O Cerrado é o segundo maior bioma em extensão do Brasil, com aproximadamente dois milhões de km² (Oliveira & Marquis, 2002). Possui alta biodiversidade, alta taxa de endemismo e

também de desmatamento, com valores anuais entre 22 mil e 30 mil km². Por essas razões, esse bioma é considerado um dos 34 *hotspots* mundiais de diversidade (Mittermeier *et al.*, 2005). Uma das características marcantes do Cerrado é sua sazonalidade climática, a qual é caracterizada por duas estações climáticas bem definidas e diferentes: seca e chuvosa (Nimer, 1989). A estação seca ocorre de maio a setembro, formando assim um único período seco e a estação chuvosa concentra-se entre novembro e março (Nimer, 1989). A variação da fitofisionomia é grande e configura um gradiente, o qual inclui desde campos abertos com vegetação rasteira, seguido por formações savânicas nas quais há um acréscimo de vegetação arbórea (por exemplo: cerrado *sensu stricto*), chegando a formações florestais fechadas, como matas de galeria com copas de até 20 m de altura (Ratter *et al.*, 1997), acompanhando cursos d'água (Oliveira & Marquis, 2002). A combinação entre sazonalidade climática e diferentes tipos de vegetação contribui para a alta diversidade e taxas de endemismo do Cerrado, formando centros de diversidade (Ribeiro, 1998). Essa complexidade torna o Cerrado interessante e um importante objeto para o estudo da conservação de comunidades tropicais (Mata *et al.*, 2010).

O fogo é a forma predominante de distúrbio no bioma Cerrado, onde está presente há pelo menos 32.000 anos (Salgado-Laboriau & Ferraz-Vicentini, 1994). Segundo Gillon (1983), o fogo é favorecido em áreas onde ocorre a alternância entre estações úmidas, quando ocorre produção de uma grande de biomassa vegetal, e estações secas, quando esse material pega fogo rapidamente. Assim, a intensidade do fogo é diretamente relacionada com a biomassa acumulada no estrato herbáceo (Miranda *et al.*, 1993).

Queimadas naturais, provocadas por raios, acontecem no início das épocas chuvosas ou durante veranicos. Estas tinham historicamente menor extensão, uma vez que as chuvas subsequentes apagavam o fogo. Porém, a incidência do fogo no Cerrado começou a mudar com a chegada do homem, há cerca de 12.000 atrás (Feathers *et al.*, 2010), e o posterior controle do fogo. Essa combinação de fatores alterou o regime natural de queima, com incêndios antrópicos acontecendo em épocas secas, resultando em regimes mistos de queima. O diferencial das queimadas nas estações secas se deve ao grande acúmulo de gramíneas secas (um combustível altamente inflamável) nessa época do ano, fazendo com que as queimadas alcancem grandes proporções. Em suma, o fogo ocorre independentemente da ação humana, uma vez que ele é guiado pelo clima via períodos secos e chuvosos (Bowman *et al.*, 2009), mas a presença do homem altera o regime natural das queimadas, alterando a época e a frequência das queimadas.

Diferentes fitofisionomias têm diferentes flamabilidades (Uhl & Kaufmann, 1990), variando conforme características do combustível (qualidade, quantidade e altura), quantidade de combustível disponível para queima, conteúdo relativo de água dos tecidos vegetais e também devido a adaptações. Essas adaptações consistem em galhos e troncos com diversas características como espessura das cascas (com difusividade térmica e flamabilidade específicas), rebrota rápida e proteção dos meristemas, sendo bastante semelhantes às estratégias de enfrentamento à seca, à herbivoria, a cortes e a outros impactos (Coutinho, 1990; Miranda *et al.*, 1993). Queimadas em cerrados abertos diferem de queimadas em matas. As formações de cerrado podem ser consideradas mais resilientes, queimando mais facilmente, porém retornando mais rapidamente ao estágio pré-distúrbio, auxiliadas pelas diversas adaptações ao fogo. As formações florestais, por outro lado, são mais resistentes: são difíceis de queimar, porém demoram mais para retornar ao estágio pré-distúrbio. As queimadas tendem a ser frequentes, mais rápidas e mais fortes nas formações savânicas, porém os danos maiores são encontrados quando o fogo atinge as formações florestais, onde o número de espécies adaptadas é menor. O regime natural de queima, juntamente com os já citados fatores edáficos, topografia e sazonalidade contribuem para a grande heterogeneidade natural do Cerrado e o seu mosaico de fitofisionomias (Oliveira & Marquis, 2002; Beerling & Osborne, 2006): uma vez que a ausência do fogo favorece o aparecimento de formações florestais (Bond & Keley, 2005).

Efeitos do fogo em insetos no cerrado

Os insetos constituem o grupo mais diversificado de organismos multicelulares na Terra, e desempenham um papel ecológico fundamental para a manutenção dos processos ecológicos e evolutivos que sustentam a diversidade dos ecossistemas (Samways, 2005). As comunidades de insetos podem refletir mudanças de várias magnitudes nos ambientes naturais. Efeitos como sazonalidade, diversidade de vegetação, fogo, fragmentação e introdução de espécies exóticas foram estudados com diferentes táxons de insetos como borboletas, besouros e formigas, e também com os drosofilídeos (Mata & Tidon, 2013).

De acordo com Diniz & Morais (2010), muito se diz mas pouco se sabe sobre os efeitos do fogo em comunidades de invertebrados. Essas autoras ressaltam que os estudos em diversas localidades do mundo mostram resultados diferentes, de acordo com a região geográfica, condições climáticas, grupos taxonômicos e regime de fogo. Além disso, os resultados de muitos trabalhos não

se referem exclusivamente à ação do fogo, mas à combinação de fatores que incluem estrutura da paisagem, aspectos históricos e clima (Diniz & Morais, 2010).

No Cerrado, a maior parte dos estudos sobre o efeito do fogo em invertebrados focalizou diferentes regimes de queima (Frizzo, *et al.*, 2011). Freire-Jr & Motta (2011), por exemplo, mostraram que a estrutura de assembleias de aranhas cursoriais diferiu entre áreas controle e áreas com diferentes regimes. Sua abundância foi maior em áreas controle, mas a diversidade aumentou em áreas atingidas pelo fogo. Para lepidópteros em pradarias americanas, queimadas frequentes tendem a diminuir a riqueza e a abundância (Swengel & Swengel, 2001), porém o efeito é contrário em queimadas acidentais e esporádicas, uma vez que elas parecem propiciar novos sítios de oviposição e de alimentação para lagartas (Diniz & Morais, 2010).

Em estudos realizados com queimadas acidentais, verificou-se aumento imediato na frequência de lagartas de lepidópteros devido ao aparecimento de folhas mais nutritivas pós fogo (Lepesqueur, 2007). O fogo causa morte imediata das lagartas, porém nos meses seguintes a abundância aumenta em áreas queimadas. Prada *et al.* (1995) também verificaram aumento imediato na abundância de dípteros visitantes e coleópteros em flores, devido a estimulação da floração pós fogo. Padrões semelhantes também foram encontrados em outras ordens de insetos, como Coleoptera, Hemiptera e Hymenoptera. Em Collembola, por outro lado, a abundância diminuiu fortemente em áreas perturbadas pelo fogo (Diniz & Morais, 2010). O fogo esporádico pode aumentar a abundância de diversas ordens de insetos por um curto período, já que há um aumento da disponibilidade de recursos após o fogo com o aumento de rebrotas (Diniz & Morais, 2010).

As moscas da família Drosophilidae

Os drosofilídeos são moscas da família Drosophilidae, a qual possui mais de quatro mil espécies descritas (Bachli, 2015). No Brasil, foram registradas 304 espécies, distribuídas em 18 gêneros (Gottschalk *et al.*, 2008), sendo a Mata Atlântica e o Cerrado os biomas com maior número de registros. Grande porção das espécies tem distribuição restrita, mas existem algumas espécies cosmopolitas que, por possuírem alto grau de associação com o homem, dispersaram-se pelo mundo (David & Tsacas, 1981). A maior parte dos drosofilídeos alimenta-se de uma grande diversidade de microrganismos (Phaff *et al.*, 1956), em especial bactérias e leveduras, encontrados em matéria orgânica como cactos, fungos, flores e frutos caídos em decomposição. Os drosofilídeos

desempenham um papel funcional importante, como vetores dos microrganismos entre materiais em decomposição (Giglioli, 1897; Phaff *et al.* 1956; Starmer & Fogleman, 1986), inclusive auxiliando no seu processo sucessional (Morais *et al.*, 1995). Essa associação pode ser restrita ou ampla (Morais *et al.*, 1992), tanto do ponto de vista da alimentação quanto do desenvolvimento e reprodução. Essa variabilidade faz com que assembleias de drosofilídeos sejam bons modelos para avaliar respostas às mudanças ambientais naturais ou antrópicas (Powell, 1997; Ferreira & Tidon, 2005; Mata *et al.*, 2008).

O uso de drosofilídeos como indicadores tem sido proposto desde a década de 1990 (Parsons, 1991; Ferreira & Tidon, 2005; Mata *et al.*, 2008), pois várias características do grupo são favoráveis para a bioindicação. Sua facilidade de manuseio em campo e em laboratório, alto número de espécimes em campo, pequeno tamanho corporal, ciclo de vida curto e baixo custo de coleta e manutenção os tornam ótimos modelos biológicos (Powell, 1997). A proximidade filogenética entre as espécies, atrelada aos diferentes hábitos ecológicos encontrados (distribuição ampla vs. restrita, nativas vs. exóticas, menos abundantes vs. mais abundantes), além da próxima associação com as variáveis ambientais, fazem com que as respostas às alterações ocorram de modo diferenciado para cada espécie. As respostas ocorrem, também, de maneira rápida devido ao seu ciclo de vida curto, fornecendo sinais antecipatórios (Mata *et al.*, 2010). Dessa forma, as comunidades de drosofilídeos e as suas diferentes respostas à heterogeneidade e aos distúrbios podem ser utilizados como ferramentas para a conservação (Mata *et al.*, 2008, Mata & Tidon. 2013).

Contexto e Objetivo

Na revisão elaborada por Frizzo *et al.* (2011), a maioria dos trabalhos levantados sobre os efeitos do fogo na fauna de invertebrados evidenciam efeitos de curto prazo, uma vez que fazem um breve acompanhamento após o fogo. O acompanhamento pós-fogo das comunidades de fauna por mais tempo – ou após um maior período de tempo –faz-se necessário para promover um panorama mais completo do comportamento das comunidades frente ao distúrbio, uma vez que efeitos indiretos, a médio e longo prazo, podem ser diferentes dos efeitos diretos a curto prazo.

Entre os dias sete e dez de setembro de 2011, ocorreu um grande incêndio na Área de Proteção Ambiental (APA) Gama-Cabeça-de-Veado, localizada no centro do bioma Cerrado, o qual afetou grande parte das unidades de conservação lá localizadas. A Reserva Ecológica do IBGE

(RECOR) foi praticamente toda queimada, com 90% de sua área destruída, atingindo toda a gama de fisionomias, incluindo áreas com aproximadamente 50 anos sem queima.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi investigar se a estrutura das assembleias de drosofilídeos diferiu entre áreas impactadas e áreas não impactadas pela queimada acidental que atingiu a APA Gama Cabeça de Veado em setembro de 2011. Para isso as assembleias de drosofilídeos foram caracterizadas em áreas de cerrado *sensu stricto* e áreas de mata, ao longo de um ano.

Metodologia

Área de estudo

A Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (RECOR/IBGE) localiza-se ao sul de Brasília-DF, a 30 km do centro da cidade, nas coordenadas geográficas de 15°56'41"S e 47°53' 07"W e altitude média de 1100 m. Criada em 1971, esta reserva faz atualmente parte da Área de Proteção Ambiental (APA) Gama-Cabeça-de-Veado, que juntamente com a Estação Ecológica de Águas Emendadas, a Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília e o Parque Nacional de Brasília, compõem a Zona Núcleo da Reserva da Biosfera do Cerrado (UNESCO, 2003). A RECOR é composta por 1300 ha, possuindo 5 riachos, e as principais fitofisionomias do Cerrado são bem representadas na área (Pereira & Furtado, 2011). As fitofisionomias são encontradas em fragmentos, de tamanho e formas variados, e são interconectados, formando um vasto e complexo mosaico vegetal, típico do bioma Cerrado (Oliveira & Marquis, 2002). Em setembro de 2011, final da estação seca, ocorreu uma queimada acidental de grande proporção, atingindo mais de 90% da reserva. O jornal Correio Braziliense destacou, à época, que a queimada na APA Gama-Cabeça-de-Veado atingiu mais de 5 mil hectares, o que supera a área do Jardim Botânico.

Amostragem e identificação de espécies

Foram realizadas seis coletas bimestrais, entre outubro de 2013 e agosto de 2014, em áreas de cerrado e mata de galeria, afetadas e não afetadas em relação à última grande queimada que atingiu a RECOR (setembro de 2011), caracterizando quatro grupos ambientais que foram rotulados neste trabalho como: mata queimada, mata não queimada, cerrado queimado e cerrado não queimado (MQ, MNQ, CQ e CNQ, respectivamente) (Apêndice 1). Devido à extensão da queimada, somente uma área de cerrado e uma área de mata não foram afetadas pelo fogo, restringindo a amostragem nestes grupos. Em contraste, foram amostradas quatro áreas de cerrado e quatro de mata afetadas pela queimada. Dessa forma, nosso desenho amostral consistiu na análise de dez grupos ambientais (4 MQ, 1 MNQ, 4 CQ e 1 CNQ) (Apêndice 2). Em cada área, foram implantadas três unidades amostrais (UA) distantes espacialmente no mínimo 100 metros uma da outra nos cerrados, e 60 metros nas matas, a fim de manter a independência entre as mesmas, como sugerido por Mata *et al.* (2014). Cada UA consiste em três armadilhas de retenção de drosofilídeos (Roque *et al.*, 2011) distantes de 10

metros entre si, visando aumentar o alcance e o poder de atração de cada unidade amostral e assim amostrar melhor a heterogeneidade do local da amostra sem proporcionar independência entre as armadilhas. Assim, foram instaladas seis UAs em áreas sem a presença do fogo (3 CNQ e 3 MNQ) e mais 24 UAs em áreas afetadas pelo fogo, (12 CQ e 12 MQ).

Em cada coleta, foram colocadas 90 armadilhas a cerca de 1,5 m do solo (45 em matas e 45 em cerrados), em áreas sombreadas, respeitando a distância entre si e o desenho amostral proposto. As armadilhas permaneceram no campo por quatro dias. As iscas de banana utilizadas nas armadilhas foram feitas conforme protocolo pré-estabelecido: para cada armadilha, foram utilizadas 150 g de banana prata madura, parcialmente descascada e amassada, juntamente com 2 g de fermento biológico seco da marca Fleischmann, previamente hidratado, em dez vezes o seu peso em água (20 ml de água).

As iscas foram feitas na véspera de cada coleta a fim de otimizar seu poder de atração, uma vez que a parte do metabolismo aeróbico da levedura, que envolve a fase de aclimação das células ao meio e absorção de oxigênio para produção de compostos importantes para a levedura (*lag phase*) foi realizada ainda em laboratório. Nessa primeira fase, a produção de etanol e de compostos aromáticos é mínima (White & Zainascheff, 2010). Assim, a fase de crescimento celular da levedura, com produção de etanol e dos compostos aromáticos pôde acontecer sempre em campo, aumentando a exposição temporal dos compostos voláteis atrativos oriundos da fermentação. Embora iscas com banana fermentada representem apenas parte das assembleias associadas a frutas, esta é a maneira mais difundida e que permite melhor comparação com outros estudos (Roque *et al.*, 2013; Mata & Tidon, 2013).

As moscas foram transportadas e identificadas no Laboratório de Biologia Evolutiva da UnB, sempre que possível a nível de espécie. Para tanto, foram utilizadas chaves de identificação e, quando preciso, a análise da morfologia da terminália masculina (Dobzhansky & Pavan, 1943; Pavan & Cunha, 1947; Freire-Maia & Pavan, 1949; Frota-Pessoa, 1954; Val, 1982; Vilela & Bachli, 1990; Vilela, 1992).

Análise dos dados

O número de indivíduos de cada espécie coletados ao longo do estudo foi somado para cada UA. Foi elaborada uma tabela contabilizando a abundância de cada espécie para cada grupo ambiental. Também foi feita a contagem de indivíduos seguindo a categoria de espécies neotropicais

e espécies exóticas, e foi elaborada um gráfico com abundância relativa e absoluta de cada grupo ambiental para cada coleta.

A fim de verificar a adequação da amostragem e comparar a riqueza entre os grupos, relativizando a diferença do esforço amostral, foram elaboradas curvas de rarefação baseadas em amostras, sob modelo de produtos de Bernoulli, com intervalos de confiança de 95% (Colwell *et al.*, 2012). Essa nova matemática elaborada por Anne Chao permite a extrapolação de amostras menores para, assim, poder comparar com amostras maiores, não desperdiçando esforço amostral e os dados coletados (Colwell *et al.*, 2012). Para comparar os dados de rarefação, baseados em amostras, em termos de riqueza e não em densidade de espécies, as curvas de acumulação foram re-escaladas por indivíduos, conforme recomendação de Colwell *et al.* (2012). Os dados das curvas foram gerados no software EstimateS 9.1 (Colwell, 2013) e os respectivos gráficos foram plotados na plataforma de programação R (R Core Team, 2014).

Para observar se existiam diferenças na composição das assembleias de drosofilídeos entre os diferentes fatores (mês, fitofisionomia e presença do fogo) e suas interações, bem como verificar a contribuição relativa de cada um na estruturação da assembleia de drosofilídeos, foi realizada uma análise de variância permutacional multivariada (PERMANOVA; Anderson, 2001). O teste, em sua essência, dá a resposta simultânea de uma ou mais variáveis (espécies) para um ou mais fatores (mês, fitofisionomia, presença de fogo) utilizando um design de análise de variância baseado em medidas de distância, mediante métodos permutacionais (Anderson, 2005), gerando valores de significância de P . Foram geradas 999 permutações nas quais foi utilizado o índice de similaridade de Bray-Curtis para medir a similaridade entre as unidades amostrais, e os dados foram log-transformados com $\log(x+1)$. Foi feita também a análise de PERMANOVA par-a-par, *a posteriori*, para identificar se existiam diferenças de similaridade entre os meses de coleta em relação à fitofisionomia e à presença de fogo ($\alpha < 0,05$), verificando se os meses de coleta se comportavam de forma diferente. O mês da coleta foi utilizado como fator randômico, e a presença do fogo e fitofisionomia como fatores fixos. Ambas rotinas da PERMANOVA foram realizadas no programa PRIMER V5 (Clarke & Gorley, 2001).

Tendo em vista que a variação temporal é um fator importante na alteração de comunidades de drosofilídeos (Tidon 2006; Roque *et al.* 2013; Mata & Tidon, 2013), e que o presente trabalho visou investigar o papel do fogo na modificação da estrutura da comunidade, as análises (curvas de rarefação, NMDS e séries de Hill) foram individualizadas para cada coleta, de forma que as

interpretações pudessem ser feitas sem o viés temporal. A única exceção foi a PERMANOVA, que ao permitir a inclusão do fator tempo como randômico, isolou o seu efeito no modelo e evidenciou o efeito dos fatores principais: fitofisionomia e fogo.

O escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) foi realizado para ilustrar as relações de similaridade na composição das assembleias de drosofilídeos entre os diferentes grupos, em cada mês. Foi utilizada a matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis, e os dados foram log-transformados com $\log(x+1)$. As ordenações foram geradas utilizando o software estatístico PRIMER V5 (Clarke & Gorley, 2001).

Com o intuito de comparar a diversidade entre as fitofisionomias impactadas e não impactadas pela queimada, foi feita a análise dos perfis de diversidade das assembleias (Tóthmérész, 1995; Melo, 2008) utilizando Séries de Hill (Hill, 1973), generalização mais conhecida na literatura ecológica (Melo, 2008). O perfil de diversidade permite observar uma comunidade de uma forma mais ampla, gerando um panorama interpretativo mais parcimonioso. Com isso, é possível evitar conclusões precipitadas acerca da diversidade dentro e entre comunidades, que podem diferir de acordo com o índice utilizado, uma vez que não existe definição objetiva sobre qual índice utilizar (Melo, 2008).

O gráfico gerado pela Série de Hill informa, em seu eixo X, diversos valores para a variável “a”, que são equivalentes aos diferentes índices de diversidade. Para “a”=0, temos valores de riqueza de espécies. Para “a” tendendo a 1, o valor de diversidade é equivalente ao índice de Shannon. Para “a” tendendo a 2, temos o inverso do índice de dominância de Simpson (Melo, 2008). Assim, quanto mais à direita do zero no eixo X, menor o peso e a influência que as espécies raras têm no cálculo da diversidade de uma determinada comunidade. Os cálculos e os gráficos foram gerados na plataforma de programação R utilizando o pacote Vegan (Oksanen *et al.*, 2014).

Resultados

Os 36.903 drosofilídeos coletados neste trabalho representam 78 espécies (30 delas são morfoespécies) e oito gêneros de Drosophilidae: *Drosophila*, *Mycodrosophila*, *Neotanygastrella*, *Scaptodrosophila*, *Zaprionus*, *Zygothrica*, *Leucophenga* e *Rhinoleucophenga* (Apêndice 3). Eles incluem 69 espécies neotropicais e nove exóticas, incluindo um novo registro para o Bioma Cerrado: a espécie *Drosophila suzukii*. Drosofilídeos neotropicais correspondem a 53% do total das amostras, e as espécies mais abundantes foram *D. sgr willistoni* (38 %), *D. sturtevanti* (10%) e *D. cardini* (1,7%). As outras 66 espécies neotropicais contabilizam pouco mais que 3% da amostra. As espécies exóticas mais abundantes foram *Z. indianus* (29%), *D. simulans* (10%) e *D. malerkotliana* (7,5%).

A flutuação temporal da abundância relativa das espécies neotropicais e exóticas nos cerrados e matas, queimados e não queimados, está ilustrada na Figura 1, juntamente com suas respectivas abundâncias absolutas. A proporção entre espécies neotropicais e exóticas variou entre os meses do ano, entre fitofisionomias e entre áreas queimadas e não queimadas. Embora essas proporções não configurem um padrão bem definido, em outubro e dezembro a abundância relativa de drosofilídeos exóticos foi maior nas matas queimadas do que na não queimada. Nos cerrados, verificamos o oposto: os queimados tiveram menor proporção de espécies exóticas do que os não queimados em fevereiro e agosto.

A análise de rarefação mostrou que em algumas áreas as curvas atingiram assíntotas (Figura 2). Elas incluem cerrados, tanto queimados quanto não queimados, e a mata não queimada em junho. Para todos os outros cenários, as curvas não atingiram assíntotas. As curvas também mostraram que as riquezas não diferiram significativamente entre a maioria dos grupos, uma vez que se sobrepõem, com exceção para mata queimada mais rica que ambos cerrados, em dois dos seis meses.

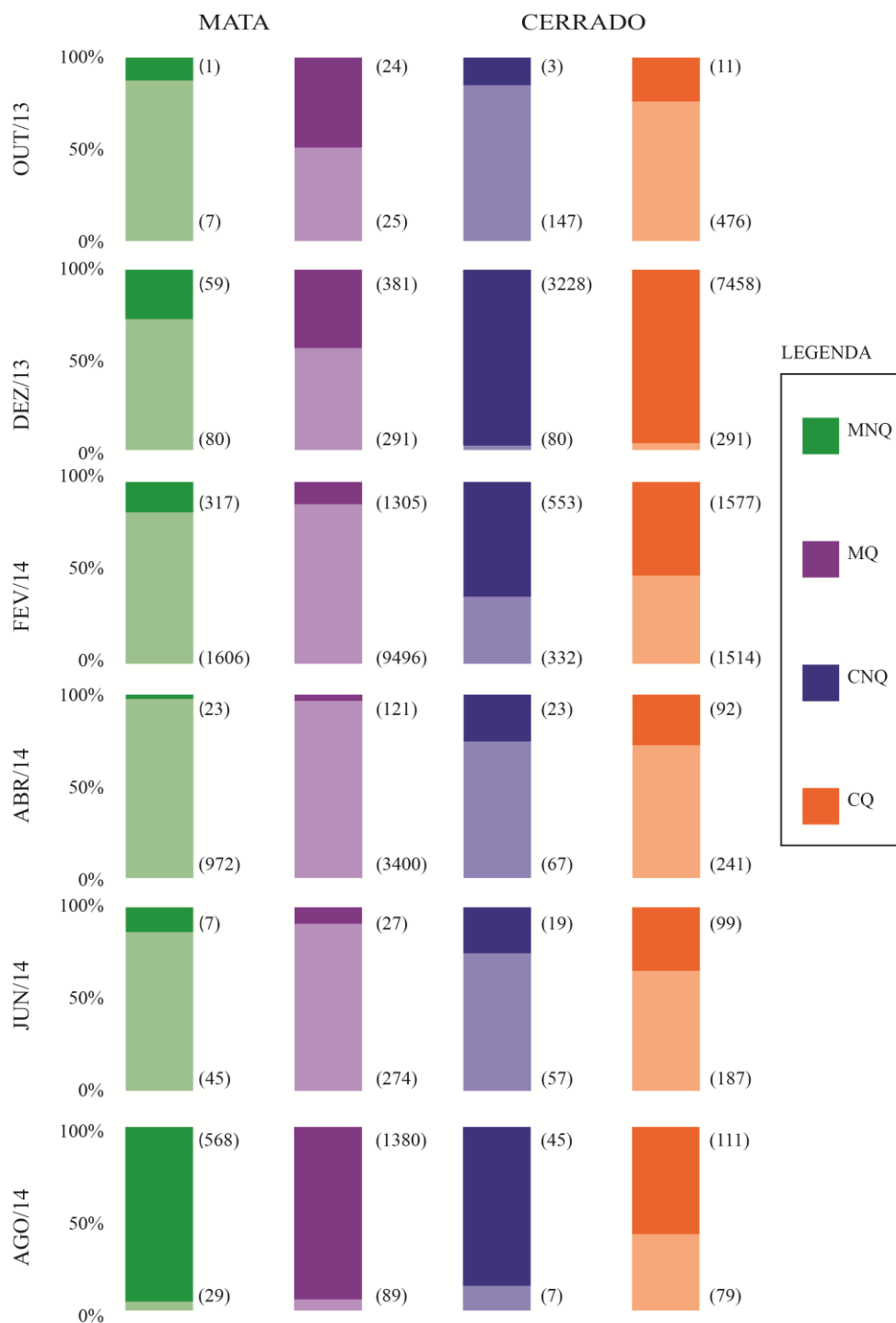


Figura 1. Abundância relativa (barras) e absoluta (entre parênteses) de drosofilídeos exóticos (parcela mais escura) e neotropicais (parcela mais clara), de outubro de 2013 a agosto de 2014, em cerrados e matas da Reserva Ecológica do IBGE queimados (Q) e não queimados (NQ) na queimada acidental de 2011.

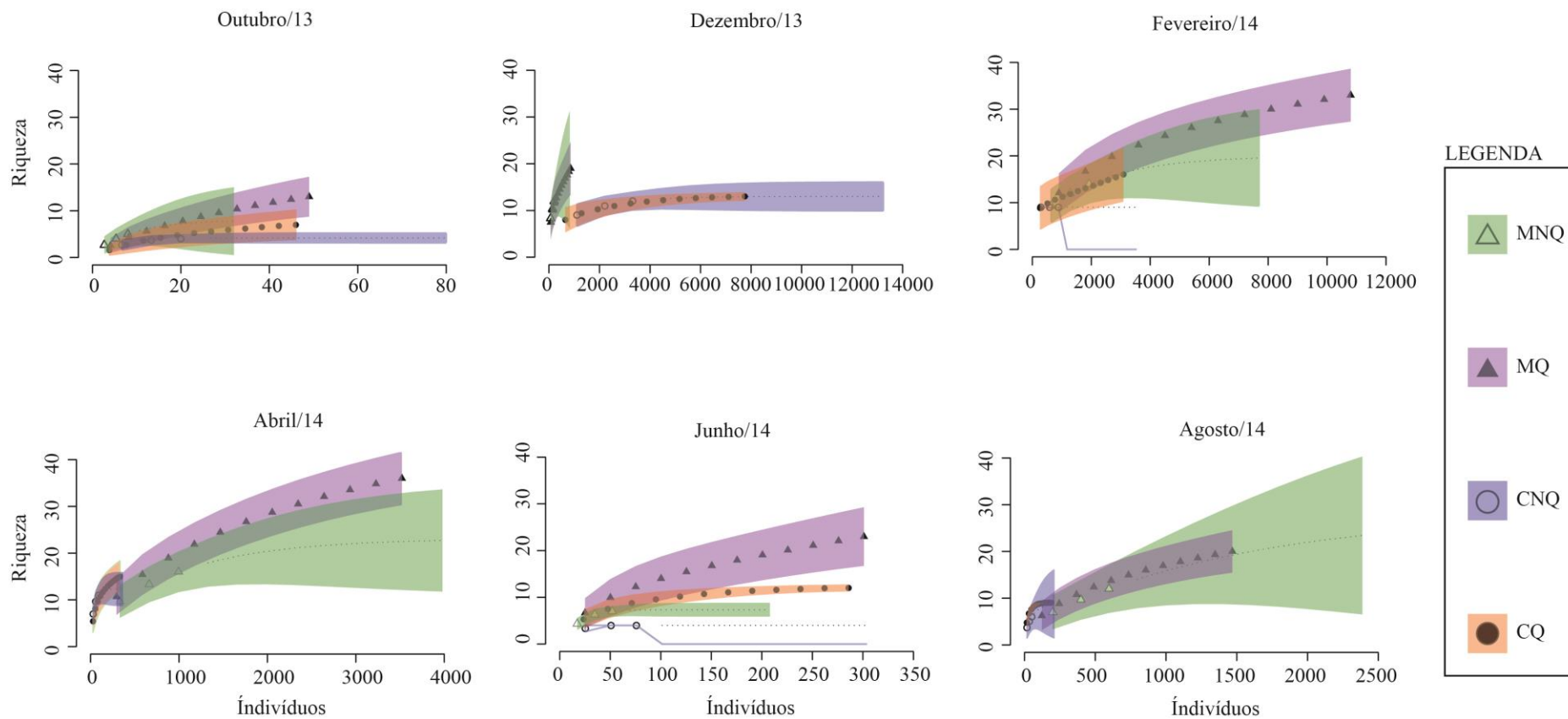


Figura 2. Curvas de rarefação (pontos sólidos), baseadas em amostras, para assembleias de drosofilídeos feitas sob o modelo de produto de Bernoulli, com intervalos de confiança de 95% com suas extrapolações (linhas pontilhadas), em áreas de mata e cerrado da Reserva Ecológica do IBGE queimados (Q) e não queimados (NQ) na queimada acidental de 2011.

A PERMANOVA mostrou que a variação temporal (37%), a fitofisionomia (15%), bem como da interação entre ambos (19%), alteraram a estrutura das assembleias ($p < 0,005$). O fogo, atuando como um fator isolado, não deixou sinais de diferenças significativas (Tabela 1). Contudo, a sua interação com o fator mês ocasionou mudanças significativas na estrutura das assembleias ($p = 0,019$). A PERMANOVA par-a-par revelou que, em relação ao fator mensal, todas as amostras são diferentes entre si ($p < 0,005$), mostrando que a estrutura das assembleias se altera ao longo do tempo.

Tabela 1. Resultados da PERMANOVA da estrutura da assembleia de drosofilídeos da Reserva Ecológica do IBGE, mostrando os valores de partição de variância entre os meses, fitofisionomia, presença de fogo e suas interações.

Fator	df	SS	MS	Pseudo-F	P (perm)	Componente estimado de variação (%)
Mês	5	132540000	26507	24835	0,001	37
		0				
Fitofisionomia	1	17692	17692	38663	0,023	15
Fogo	1	1008,3	1008,3	0,57733	0,813	-4
Mês x Fitofisionomia	5	22883	4576,6	42879	0,001	19
Mês x Fogo	5	8732,9	1746,6	16364	0,019	8
Fitofis. x Fogo	1	1771	1771	15401	0,198	5
Mês x Fitofis. x Fogo	5	5749,9	1150	10774	0,367	4
Resíduo	150	160100000	1067,3			33

As ordenações NMDS ilustram o resultado da PERMANOVA e podem ser observadas na Figura 3. Considerando o forte efeito temporal, as ordenações foram então geradas mês de coleta a mês de coleta, enfatizando as relações de similaridade entre os fatores principais, fitofisionomia e fogo, em cada coleta. Dessa forma, as variações nas assembleias puderam ser melhor interpretadas em relação ao efeito da presença ou não da queimada. A NMDS agrupou amostras oriundas das matas e dos cerrados na maioria das coletas, mas não revelou agrupamentos nítidos entre as amostras oriundas de locais queimados e não queimados, com a possível exceção dos meses de dezembro e abril, nos quais a dispersão das amostras foi menor.

O baixo valor do *stress* das ordenações mostrou que houve um bom ajuste gráfico dos dados coletados.

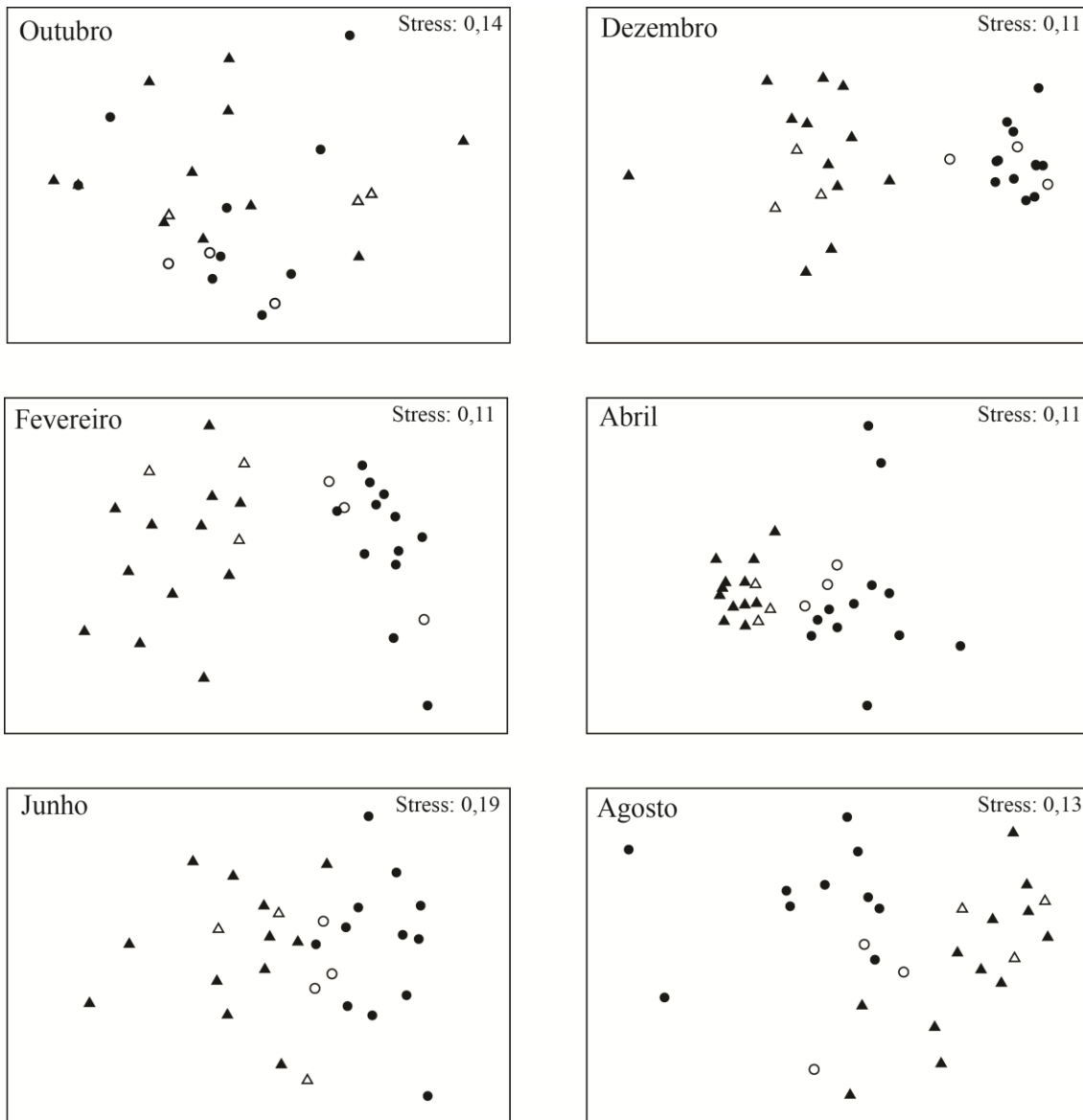


Figura 3. Ordenações mensais das NMDS para os diferentes grupos: (▲) Mata queimada, (△) Mata não queimada, (●) Cerrado queimado e (○) Cerrado não queimado.

Os perfis de diversidade obtidos com as Séries de Hill também foram gerados mês a mês. A comparação entre os perfis de diversidade de áreas queimadas e não queimadas nas mesmas fitofisionomias (Figuras 4 e 5) não mostrou um padrão comum a todos os meses. Em áreas de mata (Figura 4), as curvas dos meses de dezembro e junho mostram que áreas queimadas parecem ser mais diversas que áreas não queimadas, uma vez que as curvas ficaram ligeiramente afastadas umas das outras. Para os demais meses, as áreas queimadas são,

aparentemente, as áreas com maior diversidade apenas quando as espécies raras tem mais peso, já que à medida que esse peso é diminuído, a diversidade fica semelhante (meses de fevereiro, abril e agosto). Há, ainda, uma inversão na qual as áreas não queimadas parecem mais diversas, em outubro, com menor peso para espécies raras. Para áreas de cerrado (Figura 5), o padrão observado nas matas se mantém, com áreas queimadas, aparentemente, mais diversas nos meses de outubro, abril, junho e agosto; áreas não queimadas parecendo mais diversas em fevereiro, nos índices onde peso das espécies raras é diminuído, e áreas igualmente diversas em dezembro.

O contraste entre fitofisionomias diferentes com o mesmo status de queima (Figuras 6 e 7) mostrou um padrão mais claro do que o descrito anteriormente. Matas aparentam ser mais diversas que cerrado, especialmente quando a importância das espécies raras é maior (lado esquerdo do eixo X) (Figura 6). Observando os perfis de diversidade como um todo (comportamento total da curva), podemos notar em alguns casos (fevereiro, abril, e agosto em áreas queimadas), que a diversidade dos cerrados se tornou maior na medida em que importância das espécies raras foi diminuída (lado direito do eixo X) (Figura 7).

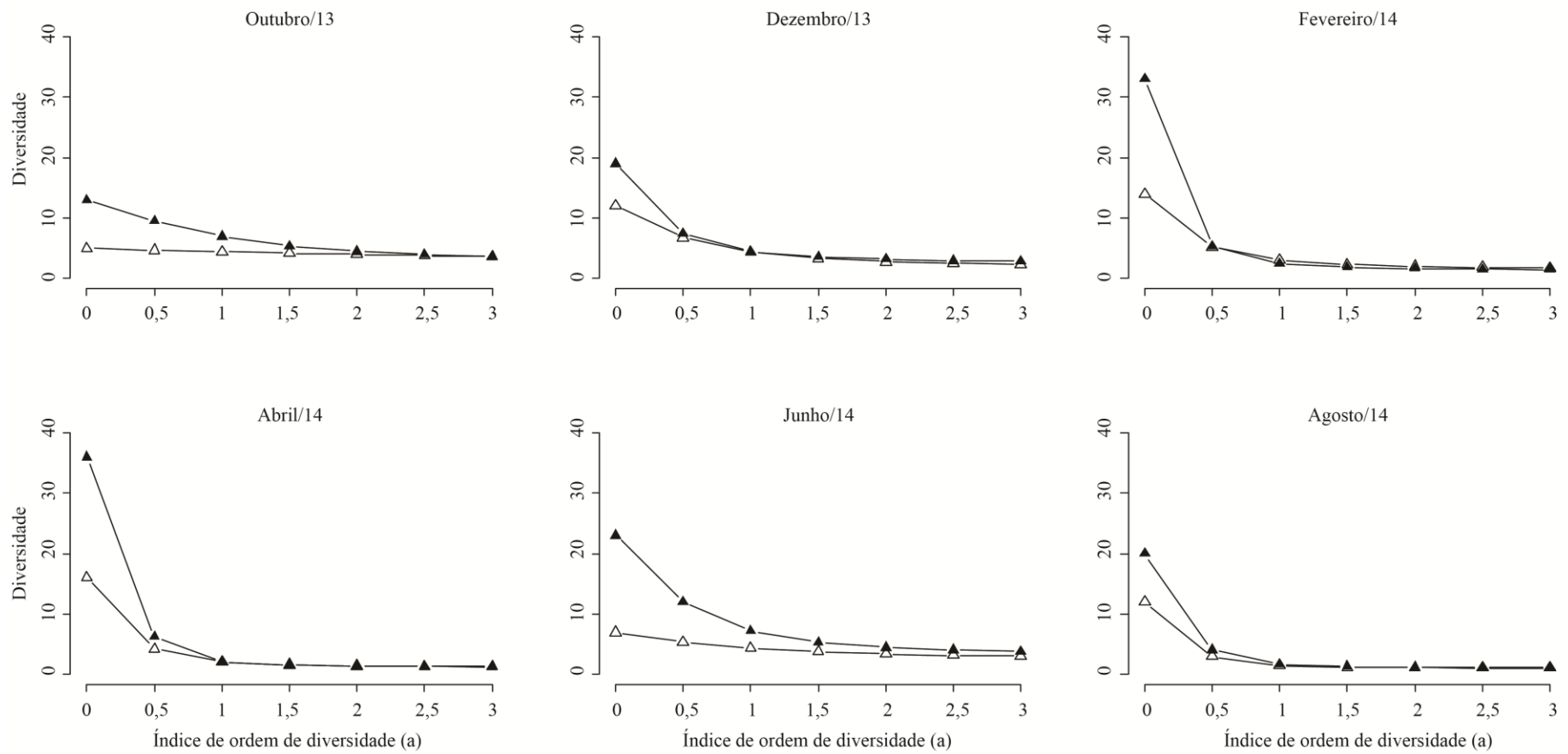


Figura 4. Perfis de diversidade para assembleias de drosofilídeos, mês a mês, destacando o efeito do fogo em áreas de mata: (▲) Mata queimada e (Δ) Mata não queimada.

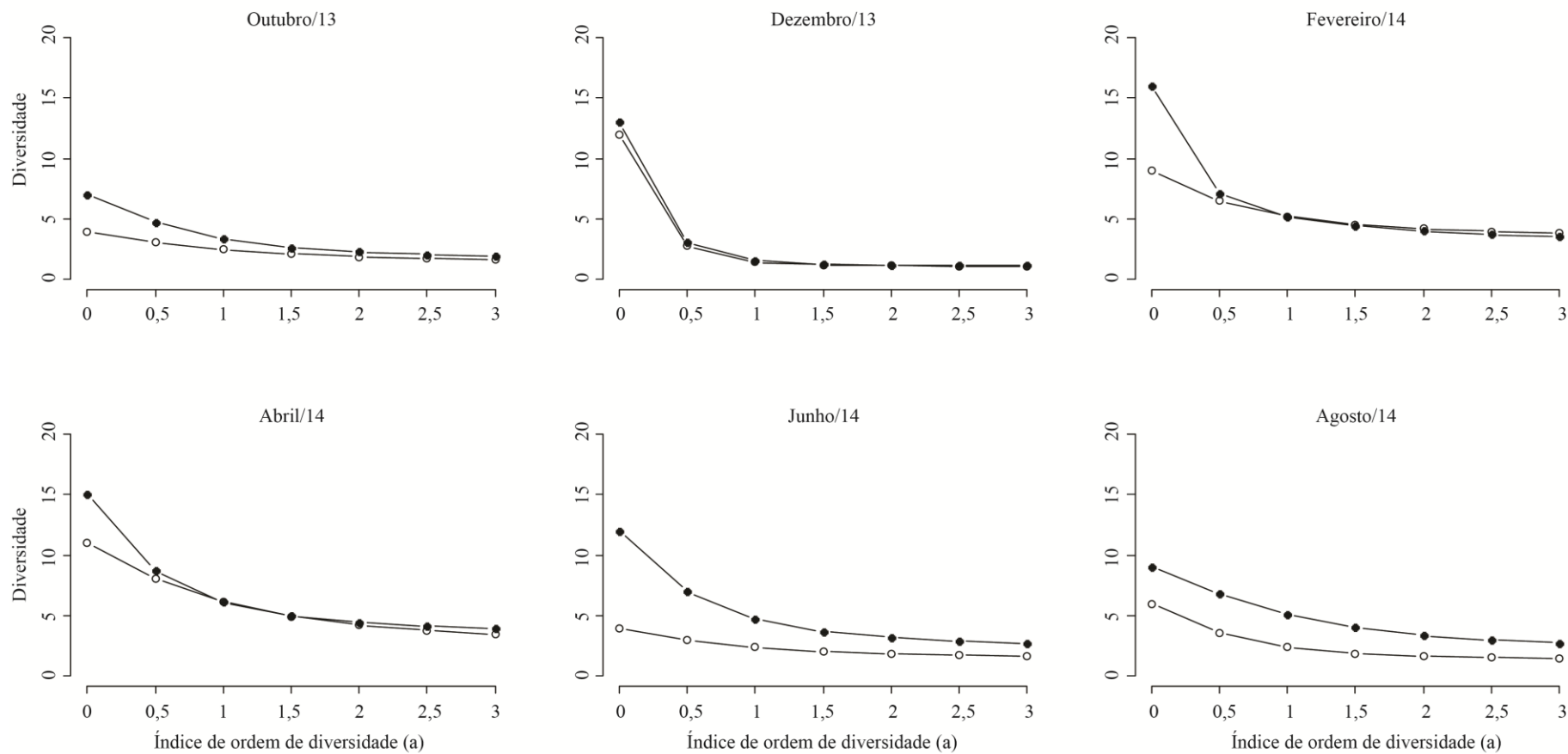


Figura 5. Perfis de diversidade para assembleias de drosofilídeos, mês a mês, evidenciando o efeito do fogo em áreas de cerrado: (●) Cerrado queimado e (○) Cerrado não queimado.

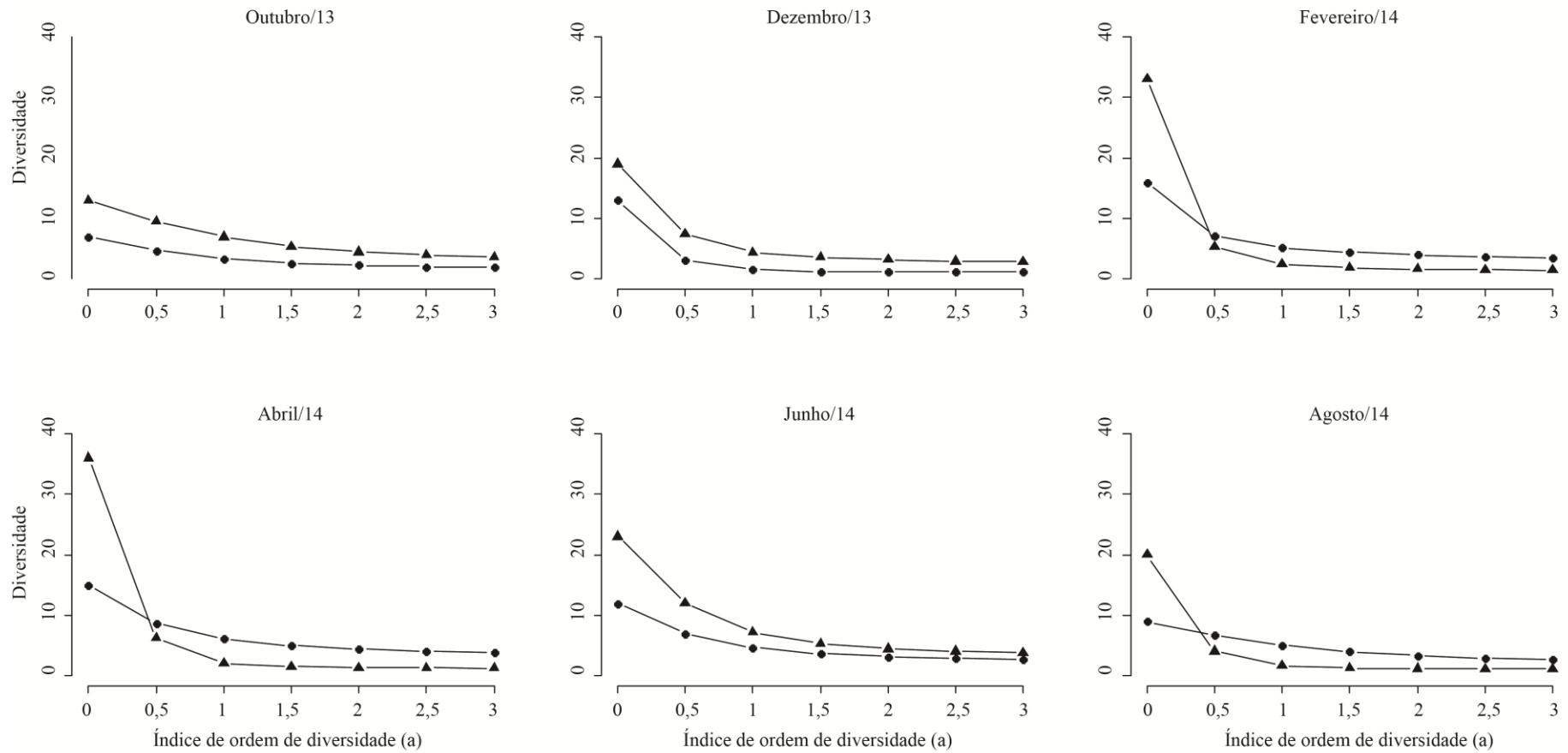


Figura 6. Perfis de diversidade para assembleias de drosofilídeos, mês a mês, evidenciando o efeito da fitofisionomia em áreas queimadas: (▲) Mata queimada e (●) Cerrado queimado.

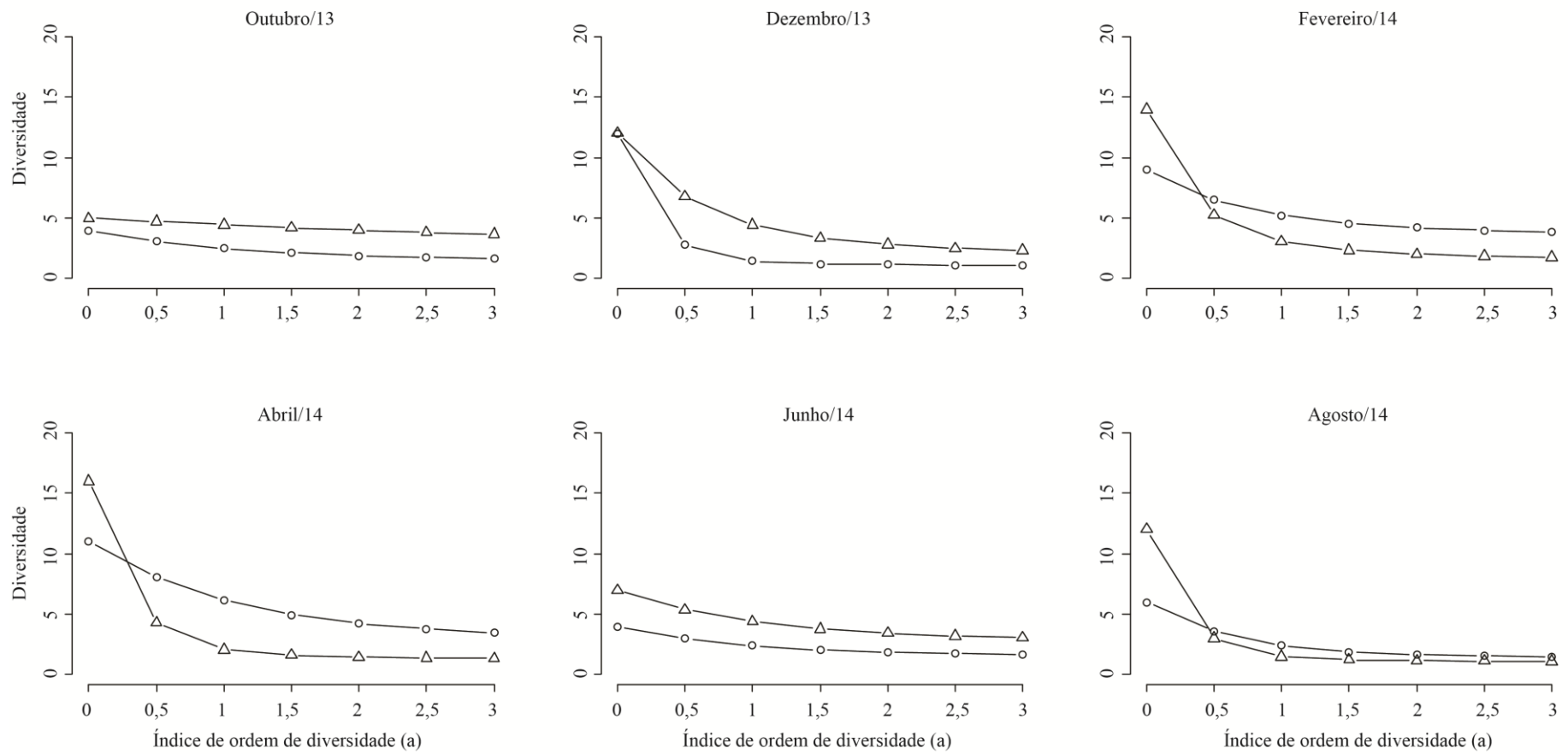


Figura 7. Perfis de diversidade para assembleias de drosofilídeos, mês a mês, evidenciando o efeito da fitofisionomia em áreas não queimadas: (Δ) Mata não queimada e (○) Cerrado não queimado.

Discussão

O presente estudo foi elaborado com um desenho amostral inovador, em termos de esforço amostral e taxonômico. O novo protocolo de amostragem foi elaborado para maximizar o sucesso da coleta, seja atuando de forma estatisticamente mais acurada (Mata *et al.*, 2014), respeitando e trabalhando melhor com a independência e dependência das armadilhas, seja aprimorando a elaboração da isca, otimizando o tempo de exposição dos voláteis atrativos em campo e padronizando a isca em todas as coletas. Esse novo protocolo parece ter aprimorado a amostragem das áreas, principalmente os cerrados, porém, ainda assim as matas ainda ficaram subamostradas. Mesmo assim, este foi o trabalho que, proporcionalmente, coletou mais indivíduos (36.903) e obteve a maior riqueza dentre as estimadas em trabalhos anteriores para áreas de Cerrado. Mais de 55% das espécies registradas para o bioma Cerrado foram amostradas (Roque & Tidon, 2013), mostrando o sucesso da coleta e o devido esforço na identificação das espécies. O número elevado de morfoespécies evidencia a grande dificuldade na identificação de algumas espécies, o grande número de espécies crípticas e o potencial para novas espécies a serem descritas. Também foram coletados 15 indivíduos do gênero *Zygothrica*, raros para esse método de coleta com armadilhas de retenção, porém comumente associados a fungos e facilmente coletados de forma ativa (Grimaldi, 1987; Döge *et al.*, 2007).

O fato de quase metade da abundância ter sido de espécies exóticas é alarmante, com participação especial de *Zaprionus indianus*, que domina amplamente ambientes abertos em épocas mais chuvosas, como já observado anteriormente (Tidon, 2006). Juntamente com *Drosophila malerkotliana*, *D. simulans* e *D. suzukii*, essas espécies também se espalharam com sucesso em outros biomas neotropicais. O registro de *Drosophila suzukii* no bioma Cerrado (Paula *et al.*, 2014) também é preocupante. Essa é uma espécie invasora que tem causado grande alarme mundial. Embora *D. suzukii* ainda esteja nos estágios iniciais de um possível estabelecimento na Região Neotropical, ela deve ser monitorada com muita atenção.

As curvas de rarefação, com suas extrapolações, atingiram assíntotas em diversos cenários, mostrando que áreas de cerrado, tanto queimadas quanto não queimadas, foram amostradas satisfatoriamente em cinco das seis coletas. Nas áreas de mata, por outro lado, a curva atingiu assíntota somente em abril. Essa insuficiência amostral, apontada principalmente nas assembleias de matas, pode estar sendo causada por diversos fatores. Parte dela pode ser justificada pela pouca

amostragem nas áreas não queimadas, que correspondem a apenas cerca de 10% da RECOR. Esse desbalanceamento tem mais consequências para as matas, as quais abrigam diversidade de drosofilídeos geralmente maior que o cerrado e necessitam de um maior número de armadilhas em sua amostragem (Mata *et al.*, 2014). Em decorrência da reduzida área das matas não queimadas, elas não puderam suportar a instalação do número de armadilhas adequado para a amostragem em matas. Mata *et al.* (2014) recomendaram que cinco réplicas fossem colocadas em áreas de cerrado e 10 réplicas em áreas de mata, para uma amostragem satisfatória. As recomendações foram respeitadas nas áreas de cerrado e matas queimadas, mas não puderam ser atendidas nas áreas não queimadas, onde não foi possível colocar o número de réplicas suficiente. Nas áreas não queimadas apenas três amostras foram colocadas por mês. Como a riqueza de espécies é altamente sensível ao tamanho amostral, e a maior parte das espécies de uma comunidade são raras, análises de biodiversidade são normalmente incompletas (Chao *et al.*, 2014). Ainda assim, áreas de cerrado foram bem amostradas, podendo ser resultado do novo protocolo de elaboração de iscas e de condições pluviométricas e de temperatura às épocas de coleta.

Um outro fator que possivelmente acrescentaria espécies à amostra é a junção de diversas formas de amostragem. Por exemplo, com coletas em alturas diferentes, como Tidon-Sklorz & Sene (1992) e Roque *et al.* (2013), que obtiveram resultados indicando uma estratificação vertical das assembleias de drosofilídeos, com alguns novos registros de espécies, inclusive coletando exemplares do gênero *Zygothrica* em estratos mais elevados (Roque *et al.*, 2013). Outra forma seria o uso de diferentes cepas de leveduras na confecção das iscas das armadilhas de retenção. Klaczko *et al.* (1983) sugerem que se somente uma única levedura for utilizada, a coleta pode não refletir a verdadeira composição da fauna local. A associação de diferentes metodologias como coletas com armadilhas e coleta ativa também podem aumentar o sucesso. A disponibilidade e o esforço do coletor limitam o uso de diversas formas de coleta combinadas, porém fica claro que, mesmo com o sucesso da amostragem realizada, as assembleias amostradas são apenas uma parcela de toda assembleia amostrável e que a associação de diversas metodologias é necessária para um inventário mais abrangente das fitofisionomias pesquisadas, embora para o monitoramento das mesmas, um maior esforço não seja necessário frente o sucesso protocolar já alcançado. Os principais fatores envolvidos com a mudança na estrutura das assembleias de drosofilídeos foram o mês da coleta, a fitofisionomia e a interação entre eles. A importância desses fatores para as assembleias de drosofilídeos já foi

demonstrada em diversos estudos no bioma Cerrado (Tidon, 2006; Roque *et al.* 2013, Mata & Tidon, 2013), e também em outros biomas (De Toni *et al.*, 2007; Bizzo *et al.*, 2010; Rohde *et al.*, 2014; Garcia *et al.*, 2014). De uma forma geral, esses trabalhos corroboram a importância da variação temporal na estruturação das assembleias de drosofilídeos nos biomas tropicais.

O efeito dos fatores mais importantes na modificação da estrutura das assembleias é facilmente identificado nas ordenações gráficas geradas ao longo deste estudo. Nas NMDS é possível identificar, em todos os gráficos, a existência de um comportamento diferenciado das ordenações de acordo com o mês de coleta (efeito do mês de coleta), o agrupamento das assembleias de mata e as de cerrado (efeito da fitofisionomia), e como esses agrupamentos ocorrem de forma diferenciada entre os meses de coleta (efeito da interação mês e fitofisionomia). A proporção entre espécies neotropicais e exóticas variou entre os meses e fitofisionomias, geralmente com maior proporção de espécies exóticas nos cerrados e de neotropicais nas matas, confirmando padrões já observados anteriormente (Tidon, 2006; Roque *et al.*, 2013). A riqueza de espécies parece ser maior nas matas do que nos cerrados, e essa diferença é bem clara no mês de dezembro, quando a comunidade está expandida em termos de abundância de indivíduos. Por fim, os perfis de diversidade também evidenciam o comportamento diferenciado entre cada cenário para cada mês e entre as fitofisionomias. Em suma, todas as ordenações revelaram a atuação dos fatores mês da coleta e fitofisionomia como os principais guias de alteração da estrutura das assembleias de drosofilídeos.

O fogo, como efeito isolado e sem o peso da variação natural do bioma, não apresentou significância como regente das alterações na estrutura das assembleias de drosofilídeos, dois anos após a ocorrência da queimada. É possível que o período entre a queimada até o início das coletas tenha propiciado a recuperação da vegetação, com suas diversas adaptações, fazendo com que os efeitos mais fortes encobrissem outros possíveis efeitos de menor impacto na estruturação das assembleias.

A interação do fator fogo com o fator mês de coleta foi significativa para alteração da estrutura das assembleias, mesmo que explicando uma pequena parcela da variação. Esse resultado pode ser interpretado como a atuação significativa do fogo em alguns dos meses (Anderson, 2008), como revelam as análises gráficas da estrutura de assembleias de drosofilídeos entre áreas queimadas e não queimadas ao longo dos meses de coleta. Por exemplo, sob o ponto de vista presença do fogo, é possível observar nas NMDS que nos meses de dezembro, em cerrados, e abril, em matas, as

assembleias tiveram um comportamento menos difuso no espaço multidimensional, em relação aos outros meses. Essa menor dispersão dentro dos grupos ambientais queimados e não queimados, das duas fitofisionomias, sugere que nesses meses as assembleias estiveram mais estruturadas com relação aos fatores espaciais avaliados. Em relação à riqueza, o efeito do fator fogo pode ser observado no mês de junho, com áreas queimadas mais ricas em ambas fitofisionomias.

Neste trabalho, a análise da diversidade das áreas queimadas e não queimadas foi realizada com o emprego de perfis de diversidade, ao invés de índices isolados. Essa decisão se justifica com base no argumento de que índices de diversidade diferentes não são totalmente comparáveis, pois dão pesos diferentes às espécies raras em seus cálculos (Melo, 2008). Por exemplo, o índice de Riqueza de espécies confere peso máximo para espécies raras (mesmo peso das comuns), o índice de Shannon, peso intermediário e o índice de Simpson, peso mínimo em relação aos três índices. O padrão observado na maioria dos meses é de que à medida que o peso das espécies raras é retirado dos índices, a diversidade entre as áreas queimadas e não queimadas fica semelhante. Isso pode ser interpretado como a presença de uma grande parcela de espécies raras em fitofisionomias queimadas, atrelada a uma possível maior heterogeneidade dessas áreas. Além disso, vale ressaltar que a riqueza de espécies é muito sensível ao esforço amostral, o que pode enviesar a interpretação das comparações entre esforços diferentes. Assim, a comparação entre riqueza de espécies é feita de uma maneira mais acurada através das curvas de rarefação e suas extrapolações que igualam o esforço amostral. Já para os outros índices da Série de Hill, o viés é diminuído, uma vez que esses são calculados utilizando a abundância relativa (Chao *et al.*, 2014). A diferença na equitabilidade pode ser vista na declividade das curvas. Quanto mais íngreme essa for, mais desigual é a distribuição das abundâncias relativas (Chao *et al.*, 2014). Isso pode justificar o fato de que à medida que esses índices (com menor viés) são calculados, as áreas ficam mais similares ou até com diversidades invertidas, uma vez que o peso da diferença do esforço amostral entre as áreas é relativizado.

Em alguns cenários, tanto no contraste entre áreas queimadas e não queimadas quanto nos contrastes das diferentes fitofisionomias, observamos perfis de diversidade que se cruzam. Segundo Melo (2008), isso indica que as assembleias são não-comparáveis, uma vez que interpretações diferentes poderiam ser feitas dependendo do índice escolhido. Dessa forma, apenas alguns cenários são passíveis de interpretação não enviesada e nesses é possível observar a modificação da estrutura

entre áreas queimadas e não queimadas. Por exemplo, no início da estação seca, o cerrado queimado é claramente mais diverso que o cerrado não queimado.

Sabendo que efeitos diretos do fogo são imediatos e perdem sua força com o passar do tempo, a melhor forma, então, de identificar a atuação do fogo, hoje, sobre as assembleias de drosofilídeos é observar os efeitos indiretos do fogo sobre elas. A interpretação de como a estrutura das assembleias difere entre áreas queimadas e não queimadas que vai fornecer pistas de quais foram os efeitos do fogo e como eles resultaram na variação da estrutura das assembleias de drosofilídeos. Os efeitos indiretos do fogo tendem a ser mais amplos, tardios e diversos que os diretos (Frizzo *et al.* 2011).

O fogo de fato atua como modificador da estrutura das assembleias, porém sua atuação direta foi mascarada pelo tempo entre o distúrbio e este estudo, sob o ponto de vista das assembleias de drosofilídeos. Diversos grupos se utilizam de estratégias de sobrevivência aos efeitos diretos do fogo, que normalmente resultam na morte dos indivíduos. Frizzo *et al.* (2011) relatam diversas estratégias utilizadas para escapar dos efeitos diretos do fogo, como para mamíferos, aves e insetos alados, ou se esconder em tocas e cupinzeiros, abaixo do solo, onde a temperatura já não é mais letal (Miranda *et al.*, 1993). O efeito direto do fogo pode ter causado extinções locais de diversas espécies de moscas, mas sua capacidade de voo e alta taxa reprodutiva permitiram a recolonização dos ambientes queimados a partir das áreas de refúgio, como sugerido por Roque (2013) em um estudo sobre metapopulações.

A mudança na estrutura das assembleias de drosofilídeos é reflexo da alteração da estrutura da paisagem. O fogo impacta as vegetações de diversas formas, desde destruição da parte aérea (acima do solo), dos estratos mais susceptíveis como o estrato rasteiro, até danos e morte na parte verde (folhas, flores e galhos finos) do estrato lenhoso, mas com pouca morte dos indivíduos adultos (Sato *et al.*, 2010). Almeida *et al.* (2014) verificaram mudanças na estrutura vegetal, influenciadas por episódios de fogo, e na abundância relativa do estrato lenhoso, mas com pouco efeito na riqueza ou diversidade de espécies. Nos estratos mais baixos, a perda da parte aérea dos indivíduos leva a um afrouxamento nas relações competitivas favorecendo, espécies pioneiras e o aparecimento de outras espécies que podem ser menos competitivas em estágios sucessionais mais avançados. Dessa forma, o fogo acarreta em um aumento da diversidade dos estratos rasteiro, alterando a dominância das espécies e a riqueza (Munhoz & Amaral, 2010; Walter & Ribeiro, 2010) levando à uma mudança na estrutura e na heterogeneidade da vegetação. Essa mudança gera novas oportunidades ecológicas

para as populações de drosofilídeos, que podem recolonizar e ocupar as áreas de forma diferente da ocupação das áreas não queimadas, formando assembleias com estruturas diferentes. A recolonização pode ter sido feita por indivíduos que sobreviveram ao distúrbio ou por indivíduos migrantes de áreas adjacentes (Marini-Filho, 2000).

Outro fator que deve ser considerado na resposta das assembleias de drosofilídeos ao fogo é a variação na disponibilidade e na qualidade dos recursos alimentares (frutos e fungos, principalmente). Döge *et al.* (2015) investigaram a relação entre diversos fatores do ambiente e o crescimento populacional de drosofilídeos, e encontraram que a disponibilidade de recursos é o fator com maior poder explicativo, dentre os analisados (temperatura, umidade, competidores, tamanho do corpo, entre outros). Poucos estudos mostram os efeitos do fogo sobre a alteração da disponibilidade de recursos alimentares, porém é sabido que o fogo pode ter efeito imediato e levar à perda de grande parte dos frutos já produzidos (Sato *et al.*, 2010). Quanto aos efeitos a longo prazo, Sato *et al.* (2010) listaram alguns deles, e estes tem resultados específicos para cada espécie. Por exemplo, pode ocorrer atraso na frutificação (um a três anos após evento do fogo), maturação dos frutos em apenas dois anos após a queimada, menor produção de frutos após evento do distúrbio e até aumento da ou nenhuma alteração na produção de frutos. Porém, grande parte da espécies consegue manter o sucesso reprodutivo com um ou dois anos após a queimada (Sato *et al.*, 2010).

Os microrganismos (bactérias e, principalmente, leveduras) têm papel importante como mediadores na atratividade para o recurso (Becher *et al.*, 2012; Christiaens *et al.*, 2014), fazendo, inclusive, parte do próprio recurso alimentar de drosofilídeos (Ganter, 2006). Existe a possibilidade de ter ocorrido mudanças na estrutura das comunidades da microbiota associada aos frutos. Essas mudanças podem ter acontecido tanto pela alteração da estrutura vegetal quanto pela alteração da estrutura das assembleias de invertebrados, em especial assembleias de drosofilídeos, associadas à vegetação e à microbiota. Além disso, existe ainda a grande diversidade de hábitos alimentares, com relações específicas e generalistas, tanto de larvas como de adultos (Fogleman *et al.*, 1981; Morais *et al.*, 1995). Devido a essa complexa relação (sistema fruta-levedura-*Drosophila*) e à falta de estudos de efeitos de fogo em leveduras associadas a frutas, é difícil determinar quais efeitos realmente aconteceram. Porém, tudo indica que tenha acontecido uma mudança na estrutura da microbiota. Levando em consideração o papel funcional das moscas como vetores de leveduras (Lachance *et al.*,

2001), a possível alteração da estrutura da microbiota e a alteração da estrutura das assembleias de drosofilídeos pode levar a alterações funcionais.

A alteração do estrato rasteiro, visto como recurso espacial das assembleias (uma vez que elas vão usufruir do espaço e do recurso alimentar que ali residem - frutas caídas) juntamente com a possível alteração da disponibilidade de recursos alimentares (frutos e microbiota associada) parece ter ampliado a heterogeneidade de nichos nas áreas impactadas pelas queimadas. Nesse cenário, novas relações de interação entre os drosofilídeos e no sistema planta-levedura-*Drosophila* podem ter se configurado, gerando uma nova estrutura, diferente da estrutura das assembleias de áreas não queimadas.

Conclusões

O protocolo aprimorado utilizado na coleta obteve resultados expressivos com mais de 36 mil indivíduos coletados em 78 espécies diferentes com robustez espacial e estatística. Para fins de inventário, o aprimoramento metodológico possivelmente aumentaria o sucesso, embora para fins de monitoramento, o sucesso alcançado já validaria o uso deste protocolo com sucesso.

A estrutura das assembleias de drosofilídeos diferiu entre áreas impactadas e áreas não impactadas pela queimada acidental de setembro de 2011 na reserva ecológica do IBGE. A estrutura diferiu em termos de composição, abundância relativa, riqueza, diversidade e, provavelmente, em funções ecológicas.

O fogo visto isoladamente não pode ser considerado, dois anos após a sua ocorrência, como um fator modificador da estrutura da assembleia de drosofilídeos, como são o fator temporal (mês de coleta) e a vegetação, uma vez que os efeitos diretos do fogo foram minimizados com o tempo. Porém, seus efeitos indiretos ainda são observados, uma vez que a provável mudança da estrutura vegetacional ocasionada pelo fogo e a possível alteração da oferta de recursos modelaram uma nova estrutura das assembleias de drosofilídeos.

Embora alguns efeitos indiretos do fogo possam ser interpretados como integrantes na modificação da estrutura de drosofilídeos, essa análise foi feita sobre uma “fotografia” da assembleia dois anos após o distúrbio e não é uma resposta definitiva sobre efeitos do fogo em drosofilídeos.

Referências

- Almeida, R.F., Fagg, C.W., Oliveira, M.C., Munhoz, C.B.R, Lima, A.S. e L.S.B. Oliveira 2014. Mudanças florísticas e estruturais no cerrado sensu stricto ao longo de 27 anos (1985-2012) na Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. *Rodriguésia* **65**(1): 1-19.
- Anderson, M.J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* **26**: 32-46.
- Anderson, M.J. 2005. PERMANOVA: a FORTRAN computer program for permutational multivariate analysis of variance. Department of Statistics, University of Auckland, New Zealand.
- Anderson, M.J., Gorley, R.N. and K.R. Clarke 2008. PERMANOVA+ for PRIMER: guide to software and statistical methods. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- Bächli, G. 2015. TaxoDros: The database on taxonomy of Drosophilidae. Consultado em 10/02/2015. Disponível no site <http://taxodros.unizh.ch/>.
- Becher P. G., Flick, G., Rozpendowska, E., Schmidt, A., Hagman, A., Lebreton, S., Larsson, M., Hansson, B. S., Piskur, J., Witzgall, P. and M. Bengtsson 2012. Yeast, nor fruit volatiles mediate *Drosophila melanogaster* attraction, oviposition and development. *Functional Ecology* **26**: 822-828.
- Beerling, D.J. and C. P. Osborne 2006. The origin of the savanna biome. *Global Change* **12**: 2023-2031
- Bizzo, L., Gottschalk, M.S., De Toni, D.C. and P.R.P. Hofmann 2010. Seasonal dynamics of a drosophilid (Diptera) assemblage and its potencial as bioindicator in open environments. *Iheringia Série Zoologia* **100**: 185-191
- Bond W.J. and J.E. Keeley 2005. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* **2**: 387-394
- Bowman, D.M.J. S., Balch, J.K., Artaxo, P., Bond, W.J., Carlson, J.M., Cochrane, M.A., D'Antonio, C.M., DeFries, R.S., Doyle, J.C., Harrison, S.P., Johnston, F.H., Keeley, J.E., Krawchuk, M.A., Kull, C.A., Marston, J.B., Moritz, M.A., Prentice, I.C., Roos, C.I., Scott, A.C., Swetnam, T.W., van der Werf, G.R. and S.J. Pyne 2009. Fire in the Earth System. *Science* **324**(5926): 481-484

- Chao, A., Gotelli, N., Hsieh, T.C., Sander, E.L., Ma, K.H, Colwell, R.K. and A.M. Ellison 2014. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs* **84**(1): 45-67
- Christiaens, J.F., Franco, L.M., Cools, T.L., De Meester, L., Michiels, J., Wenseleers, T., Hassan, B.A., Yaksi, E. and K.J. Verstrepen 2014. The Fungal Aroma Gene ATF1 Promotes Dispersal of Yeast Cells through Insect Vectors. *Cell Reports* **9**(2): 425-432.
- Clarke, K.R. and R. N. Gorley 2006. *PRIMER V6: User Manual/Tutorial*. PRIMIER-E Ltd, UK.
- Clements, F.E. 1916. *Plant succession: an analysis of the development of vegetation*. Washington, DC: Carnegie Institution of Washington.
- Colwell, R. K. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- Colwell, R. K., Chao, A., Gotelli, N.J., Yin, S., Mao, C.X, Chazdon, R.L. and J.T. Longino 2012. Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparisons of assemblages. *Journal of Plant Ecology* **5**(1): 3-21
- Coutinho, L. M. 1990. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: Goldammer, J. G. (Ed.). *Fire in the Tropical Biota - Ecosystem Processes and Global Challenges*. Berlin; Springer Verlag. p. 82-105.
- David, JR and L. Tsacas 1981. Cosmopolitan, subcosmopolitan and widespread species: different strategies within the Drosophilid family (Diptera). *C.R. Soc. Biogegr.* **57**: 11-26.
- De Toni, D.C., Gottschalk, M.S., Cordeiro, J. Hofmann, P.R. and V.L.S. Valente 2007. Study of the Drosophilidade (Diptera) communities on Atlantic Forest islands of Santa Catarina State, Brazil. *Neotropical Entomology* **36**(3): 356-375.
- Diniz, I.R and H.C. Morais 2010. Efeitos do Fogo sobre insetos do Cerrado: consensos e controvérsias. In: Miranda, H.S. (Organizadora). *Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Projeto Fogo*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama. 144p.
- Dobzhansky, T. and C. Pavan 1943. Studies on Brazilian species of *Drosophila*. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo* **36**: 1–72.

- Döge, J.S., Gottschalk, M.S., Bizzo, L.E.M., Oliveira, S.C.F., Schmitz, H.J., Valente, V.L S. and P.R.P. Hofmann 2007. The genus *Zygothrica* Wiedemann 1830 (Diptera, Drosophilidae) in Santa Catarina state, southern Brazil: distribution and ecological notes. *Biota Neotropica* **7**: 33-36
- Döge, J. S.; Oliveiram H.V. and R. Tidon 2015. Rapid response to abiotic and biotic factors controls population growth of two invasive drosophilids (Diptera) in the Brazilian Savanna. *Biological Invasions*: 1-14.
- Dornelas, M. 2010. Disturbance and change in biodiversity. *Phil. Trans. R. Soc. B* **365**: 3719-3727.
- Feathers, J., Kipnis, R., Piló, L., Arroyo-Kalin, M. and D. Coblenz 2010. How old is Luzia? Luminescence dating and stratigraphic integrity at Lapa Vermelha, Lagoa Santa, Brazil. *Geoarchaeology* **25**(4): 395-436.
- Ferreira, L. and R. Tidon 2005. Colonizing potential of Drosophilidae (Insecta, Diptera) in environments with different grades of urbanization. *Biodiversity and Conservation* **14**: 1809-1821.
- Freire-Jr, G. B. and P. C. Motta 2011. Effects of experimental fire regimes on the abundance and diversity of cursorial arachnids of Brazilian savannah (cerrado biome). *The Journal of Arachnology* **39**: 263-272.
- Freire-Maia, A. and C. Pavan 1949. Introdução estudo da drosófila. *Cultus* **1**: 3–66.
- Frizzo, T. L. M., Bonizário, C., Borges, M. P. and H L. Vasconcelos 2011. Revisão dos efeitos do fogo sobre a fauna de formações savânicas no Brasil. *Oecologia Australis* **15** 365-372.
- Frota-Pessoa, O. 1954. Revision of the tripunctata group of *Drosophila* with description of fifteen new species (Drosophilidae, Diptera). *Arquivos do Museu Paranaense* **10**: 253–304.
- Fogleman, J.C., Starmer, W.T. and W.B. Heed 1981. Larval selectivity for yeast species by *Drosophila mojavensis* in natural substrates. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **78**(7): 4435-4439.
- Garcia, A.C.L., Silva, J.G, Silva, D.G., Montes, M.A. and C. Rohde 2014. Montly fluctuations in abundance of *Drosophila willistoni* and the relationship with rainfall in the northern region of the Brazilian Atlantic Forest. *Drosophila Information Service* **97**: 38-42.
- Ganter, P.F. 2006. Yeast and Invertebrate Associations. In: Rosa C.A. and G. Péter Eds. *Biodiversity and Ecophysiology of Yeasts*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 579 pp.
- Giglioli, I. 1897. Insects and Yeasts. *Nature* **56**(1459): 575-577.
- Gillon, D. 1983. The fire problem in tropical savannas. *Tropical Savannas*. Elsevier, Amsterdam. 617–641.

- Grimaldi, D. A. 1987. Phylogenetics and taxonomy of *Zygothrica* (Diptera: Drosophilidae). Bulletin of the American Museum of Natural History **186**: 103-268.
- Gottschalk, M.S., Hofmann, P.R.P. and V.L.S Valente 2008. Diptera, Drosophilidae: historical occurrence in Brazil. Check List **4**(4): 485-518.
- Hill, M.O. 1973. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. Ecology **54**(2):427-432.
- Klaczko, L.B., Powell, J.R. and C.E. Taylor 1983. *Drosophila* baits and yeasts: species attracted. Oecologia (Berlin) **59**: 411-413.
- Lachance, M., Starmer, W. T., Rosa, C. A., Bowles, J. M., Barker, J. S. F and D. H. Janzen 2001. Biogeography of yeasts of ephemeral flowers and their insects. FEMS Yeast Research **1**(1): 1-8.
- Lepesqueur, C.G. 2007 Larvas de Lepidoptera em duas espécies de *Erythroxylum* em Cerrado de Brasília, DF: Fogo e fenologia foliar. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília.
- Lockwood, J.L., Hoopes, M.F. and M.P. Marchetti 2006. Disturbance. In: Invasion Ecology p.312.
- Marini-Filho, O.J. 2000. Distance-limited recolonization of burned Cerrado by leaf-miners and gallers in central Brazil. Environmental Entomology **29**: 901-906.
- Mata, R.A., McGeoch, M and R. Tidon 2008. Drosophilid assemblages as a bioindicator system of human disturbance in the Brazilian Savanna. Biodivers Conserv **17**: 2899-2916.
- Mata, R. A., McGeoch, M. and R. Tidon 2010. Drosophilids (Insecta, Diptera) as Tools for Conservation Biology. Natureza & Conservação **08**: 60-65.
- Mata, R. A. and R. Tidon 2013. The relative roles of habitat heterogeneity and disturbance in drosophilid assemblages (Diptera, Drosophilidae) in the Cerrado. Insect Conservation and Diversity: 1-8.
- Mata, R.A., Santos, G.A., Uehara-Prado, M and R. Tidon 2014. Improving sampling protocol as assessing drosophilid diversity: spatial independence and sample size. Drosophila Information Service **97**: 161-162.
- Melo, A.S. 2008. O que ganhamos 'confundindo' riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? Biota Netrop **8**(3): 21-27.
- Miranda, A. C., Miranda, H. S., Dias I. O. and B. F. Dias 1993. Soil and air temperatures during prescribed Cerrado fires in central Brazil. Journal of Tropical Ecology **9**: 313-320.

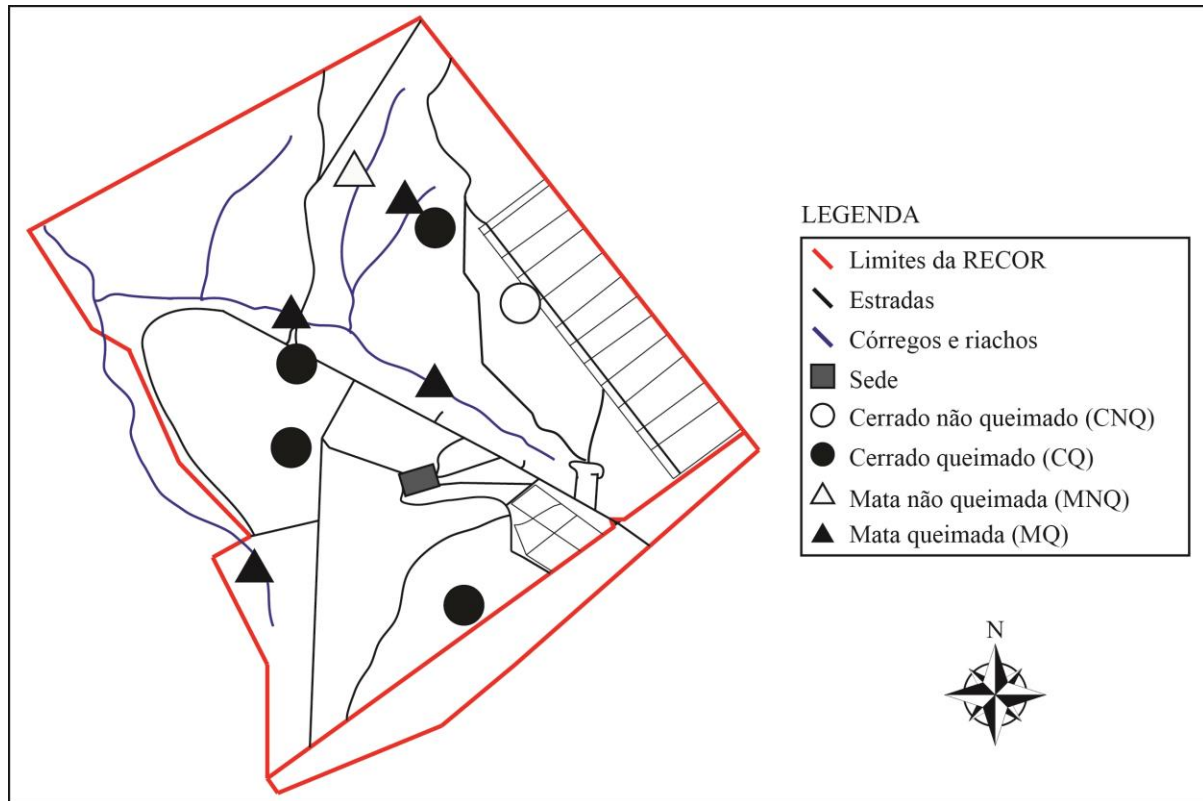
- Mittermeier, R.A., Gil, P. R., Hoffman, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C. G, Lamoreux, J. and G. A. B. Fonseca 2005. Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. Cemex, p. 431.
- Morais, P.B., Hagler, A.N., Rosa, C.A., Mendonca-Hagler, L. C. and L.B. Klaczko 1992. Yeasts associated with *Drosophila* in tropical forests of Rio de Janeiro, Brazil. Canadian Journal of Microbiology **38**: 1150-1155.
- Morais, P. B., Martins, M. B., Klaczko, L. B., Mendonca-Hagler, L. C. and A. N. Hagler 1995. Yeast succession in the Amazon fruit *Parahancornia amapa* as resource partitioning among *Drosophila* spp. Appl Environ Microbiol **61**(12): 4251-4257.
- Munhoz, C.B.R. and A.G. Amaral 2010. Efeito do Fogo no estrato herbáceo-subarbustivo do Cerrado. In: Miranda, H.S. (Organizadora). Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Projeto Fogo. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama. 144p.
- Nimer, E. 1989: Climatologia do Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ 421 p.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H. and H. Wagner 2014. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.2-0. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Oliveira, P.S. and R. J. Marquis 2002. The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna. Columbia University Press: New York.
- Parsons, P. A. 1991. Biodiversity conservation under global climatic-change - the insect *Drosophila* as a biological indicator. Global Ecology and Biogeography Letters **1**: 77-83.
- Paula, M.A., Lopes, P.H.S. and R. Tidon 2014. First record of *Drosophila suzukii* in the Brazilian Savanna. Drosophila Information Service **97**: 113-115.
- Pavan, C. and A. B. Cunha 1947. Espécies brasileiras de *Drosophila*. Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo **86**: 20–64.
- Pereira, B.A.S. and P.P. Furtado. 2011 Vegetação da Bacia do Córrego Taquara: Coberturas naturais e antrópicas. Em: Ribeiro, M.L. (Org.) Reserva Ecológica do IBGE: Biodiversidade terrestre **1**(1) 297pp.

- Phaff, H.J., Miller, M.W., Recca, J.A., Shifrine, M. and E.M. Mrak 1956. Yeast found in the alimentary canal of *Drosophila*. *Ecology* **37**(3): 533-538.
- Powell, J. R. 1997. Progress and Prospects in Evolutionary Biology: the *Drosophila* Model. New York: Oxford University Press.
- Prada, M., Marini-Filho, O.J. and P.W. Price 1995. Insects in flower heads of *Aspilia foliacea* (Asteraceae) after a fire in a central Brazilian savanna: Evidence for the plant vigor hypothesis. *Biotropica* **27**: 513-518.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Ratter, J.A., Ribeiro, J. F. and S. Bridgewater 1997. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Ann Bot* **80**: 223–230.
- Ribeiro, J.F. 1998. Cerrado: matas de galeria. Embrapa, CPAC.
- Rohde, C., Silva, D.M.I.O, Oliveira, G.O., Monteiro, L.S. Montes, M.A. and AC.L. Garcia 2014. Richness and abundance of the *cardini* group of *Drosophila* (Diptera, Drosophilidae) in the *Caatinga* and Atlantic Forest biomes in northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **86**(4): 1711-1718.
- Roque, F. 2013. Dinâmica metapopulacional e diversidade β de drosofilídeos (Insecta, Diptera) associados a matas de galeria no cerrado do Distrito Federal. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília.
- Roque, F., Mata, R. A. and R. Tidon 2013. Temporal and vertical drosophilid (Insecta; Diptera) assemblage fluctuations in a neotropical gallery forest. *Biodiversity and Conservation* **22**: 657-672.
- Roque, F., Oliveira, S. C. F. and R. Tidon 2011. Technical adaptations of retention traps used to catch drosophilids. *Drosophila Information Service* **94**: 140-141.
- Roque, F. and R. Tidon 2013. Five New Records of Drosophilids (Diptera) in a Riparian Forest in the Brazilian Savanna, an Endangered Neotropical Biome. *Annals of the Entomological Society of America* **106**(1): 117.
- Salgado-Laboriau, M.L. and K. R. Ferraz-Vicentini 1994. Fire in the cerrado 32.000 years ago. *Current Research in the Pleistocene* **11**: 253-257.
- Samways, M. J. 2005. Insect Diversity Conservation. Cambridge University Press.

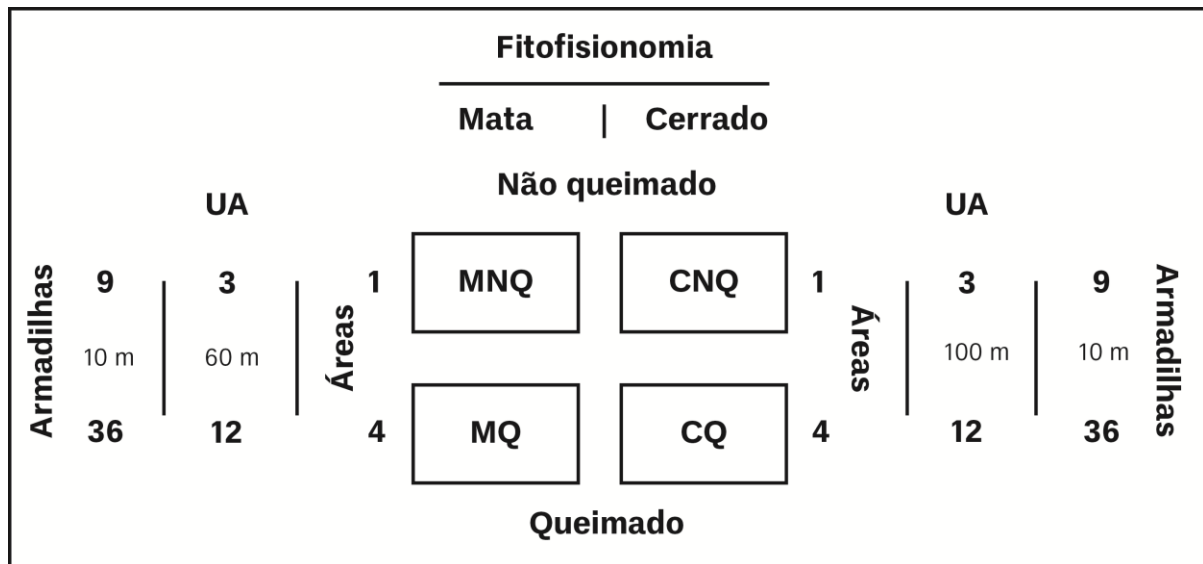
- Sato, M.N., Miranda, H.S. and J.M.F. Maia 2010. O fogo e o estrato arbóreo do Cerrado: efeitos imediatos e a longo prazo. In: Miranda, H.S. (Org.). Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Projeto Fogo. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama. 144p.
- Souza, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* **15**: 353-391.
- Starmer, W.T. and J. C. Fogleman 1986. Coadaptation of *Drosophila* and yeasts in their natural habitat. *Journal of Chemical Ecology* **12**(5): 1037-1055.
- Swengel, A.B. and S.R. Swengel 2001. Effects of prairie and barrens management on butterfly faunal composition. *Biodiversity and Conservation* **10**: 1757-1785.
- Tidon, R. 2006. Relationships between drosophilids (Diptera, Drosophilidae) and the environment in two contrasting tropical vegetations. *Biological Journal of the Linnean Society* **87**(2): 233-247.
- Tidon-Sklorz, R. and F.M Sene 1992. Vertical and temporal distribution of *Drosophila* (Diptera, Drosophilidae) species in a wooded area in the State of Sao Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Biologia* **52**(2): 311-317
- Tóthmérész, B. 1995. Comparison of different methods for diversity ordering. *J. Veg. Sci.* **6**(2): 283-290.
- Uhl, C., and J. B. Kauffman. 1990. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon. *Ecology* **71**: 437-449.
- UNESCO 2003. Subsídios ao zoneamento da APA Gama-Cabeça de Veado e Reserva da Biosfera do Cerrado: caracterização e conflitos sócios ambientais. UNESCO, MAB, Reserva da Biosfera do Cerrado, Brasília.
- Val, F.C. 1982. The male genitalia of some Neotropical *Drosophila*: notes and illustrations. *Papéis Avulsos de Zoologia* **34**: 309-347.
- Vilela, C.R. 1992. On the *Drosophila tripunctata* species group (Diptera, Drosophilidae). *Revista Brasileira de Entomologia* **36**: 197-221.
- Vilela, C.R. and G. Bachli 1990. Taxonomic studies on Neotropical species of seven genera of Drosophilidae (Diptera). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft* **63**: 1-332.

- Walter, B.M.T and J.F. Ribeiro 2010. Diversidade fitofisionômica e o papel do fogo no bioma Cerrado. In: Miranda, H.S. (Org.). Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Projeto Fogo. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama. 144p.
- White, C. and J. Zainasheff 2010. Yeast: the practical guide to beer fermentation. Brewers Publications p. 226.
- White, P.S. and S.T.A. Pickett 1985. Natural Disturbance and Patch Dynamics: An Introduction. In: White, P.S. and S.T.A. Pickett (Eds.). The ecology of natural disturbance and patch dynamics.

Apêndice 1. Desenho ilustrando a distribuição das áreas amostradas na Reserva Ecológica do IBGE.



Apêndice 2. Desenho amostral utilizado nas coletas bimestrais na Reserva Ecológica do IBGE.



Apêndice 3. Abundância dos drosofilídeos coletados em matas e cerrados da Reserva Ecológica do IBGE, entre outubro de 2013 e agosto de 2014. Espécies exóticas estão assinaladas com asterisco (MNQ – Mata não queimada, MQ – Mata queimada, CNQ – Cerrado não queimado, CQ – Cerrado queimado).

Subfamília	Gênero	Espécie	MNQ	MQ	CNQ	CQ	Total
Drosophilinae	<i>Drosophila</i>	* <i>D. ananassae</i> Doleschall 1858	0	3	1	0	4
		<i>D. annulimana</i> Duda 1927	1	18	0	0	19
		<i>D. ararama</i> aff. Pavan & Cunha 1947	0	2	0	0	2
		<i>D. arauna</i> aff. Pavan & Nacur 1950	1	3	0	0	4
		<i>D. atrata</i> Burla & Pavan 1953	1	10	0	0	11
		<i>D. bandeirantorum</i> Dobzhansky & Pavan 1943	0	13	0	0	13
		<i>D. bocainensis</i> Pavan & Cunha 1947	0	12	0	0	12
		* <i>D. busckii</i> Coquillett 1901	0	1	1	0	2
		<i>D. calloptera</i> Schiner 1868	0	2	0	0	2
		<i>D. canalinea</i> Patterson & Mainland 1944	1	1	0	0	2
		<i>D. caponei</i> aff. Pavan & Cunha 1947	1	0	0	0	1
		<i>D. capricorni</i> aff. Dobzhansky & Pavan 1943	0	5	0	0	5
		<i>D. cardini</i> Sturtevant 1916	15	53	67	485	620
		<i>D. fummipennis</i> Duda 1925	6	12	0	0	18
		<i>D. fuscolineata</i> Duda 1925	0	3	0	0	3
		<i>D. gibberosa</i> aff. Patterson & Mainland 1943	1	0	0	0	1
		<i>D. guaraja</i> aff. King 1947	0	1	0	0	1
		<i>D. guaramunu</i> Duda 1927	0	6	0	0	6
		<i>D. hydei</i> Sturtevant 1921	0	3	0	1	4
		* <i>D. immigrans</i> Sturtevant 1921	11	20	2	2	35
		* <i>D. kikkawai</i> Burla 1954	0	3	0	1	4
		<i>D. maculifrons</i> aff. Duda 1927	0	3	0	0	3
		* <i>D. malerkotliana</i> Parshad & Paika 1964	188	966	329	1251	2734
		<i>D. mediotriata</i> Duda 1925	2	10	0	5	17

<i>D. mediopunctata</i> Dobzhansky & Pavan 1943	8	39	0	0	47
<i>D. mercatorum</i> Patterson & Wheeler 1942	4	18	21	167	210
<i>D. nebulosa</i> Sturtevant 1916	54	115	28	218	415
<i>D. neoelliptica</i> . aff. Pavan & Magalhães 1950	0	2	0	0	2
<i>D. nigricruria</i> Pavan & Magalhães 1950	0	1	0	0	1
<i>D. ornatifrons</i> Duda 1927	3	45	0	1	49
<i>D. paglioli</i> . aff. Cordeiro 1963	0	1	0	0	1
<i>D. pallidipennis</i> . aff. Dobzhansky & Pavan 1943	0	2	0	0	2
<i>D. paraguayensis</i> . aff. Duda 1927	1	0	0	0	1
<i>D. polymorpha</i> Dobzhansky & Pavan 1943	0	9	0	0	9
<i>D. prosaltans</i> Duda 1927	0	2	0	0	2
<i>D. prosimilis</i> aff. Duda 1927	0	4	0	0	4
<i>D. quadrum</i> Wiedemann 1830	1	0	0	0	1
<i>D. schildi</i> Mallock 1924	1	1	0	0	2
* <i>D. simulans</i> Sturtevant 1919	651	1895	264	905	3715
<i>D. sturtevanti</i> Duda 1927	418	1587	362	1200	3567
* <i>D. suzukii</i> Matsumura 1931	0	0	1	1	2
<i>D. sgr. willistoni</i>	2255	11657	63	179	14154
<i>D. msp1</i>	0	1	0	0	1
<i>D. msp2</i>	0	1	0	0	1
<i>D. msp3</i>	0	4	0	0	4
<i>D. msp4</i>	0	0	2	0	2
<i>D. msp5</i>	0	1	0	0	1
<i>D. msp6</i>	0	1	0	0	1
<i>D. msp7</i>	0	3	0	0	3

	<i>D. msp8</i>	1	0	0	0	1
	<i>D. msp9</i>	0	1	0	0	1
	<i>D. msp10</i>	1	0	0	0	1
	<i>D. msp11</i>	0	1	0	0	1
	<i>D. msp12</i>	0	6	0	0	6
	<i>D. msp13</i>	0	0	0	3	3
	<i>D. msp14</i>	0	2	0	0	2
	<i>D. msp15</i>	0	2	0	0	2
	<i>D. msp16</i>	15	18	14	36	83
	<i>D. msp17</i>	0	3	0	0	3
	<i>D. msp18</i>	1	2	0	0	3
	<i>D. msp19</i>	1	7	0	2	10
	<i>D. msp20</i>	1	0	0	0	1
	<i>D. msp21</i>	10	31	0	2	43
	<i>D. msp22</i>	0	2	0	0	2
	<i>D. msp23</i>	0	6	0	0	6
	<i>D. msp24</i>	0	1	0	3	4
<i>Mycodrosophila</i>	<i>Mycodrosophila pleuralis</i>	0	1	0	0	1
<i>Neotanygastrella</i>	<i>N. chymomyzoides</i> Duda 1927	0	1	0	0	1
	<i>Neotanygastrella sp1</i>	0	2	0	0	2
<i>Scaptodrosophila</i>	* <i>S. latifasciaeformis</i> Duda 1940	5	2	14	41	62
<i>Zaprionus</i>	* <i>Z. indianus</i> Gupta 1970	120	348	3259	7147	10874

	<i>Zygotrica</i>	<i>Zygothrica sp.</i>	1	15	0	0	16
Steganinae	<i>Leucophenga</i>	<i>Leucophenga sp.</i>	0	6	0	0	6
	<i>Rhinoleucophenga</i>	<i>Rhinoleucophenga. gigantea</i> Thomson 1869	0	0	0	1	1
		<i>R. obesa</i> Loew 1872	0	0	0	1	1
		<i>R. sp1</i>	0	0	0	2	2
		<i>R. sp2</i>	1	1	0	8	10
		<i>R. sp3</i>	0	0	3	32	35
Total			3781	16998	4431	11694	36903

Apêndice 4. Artigo publicado na revista Drosophila Information Service.

Paula, M.A., Lopes, P.H.S. and R. Tidon 2014. First record of *Drosophila suzukii* in the Brazilian Savanna. Drosophila Information Service **97**: 113-115



Figure 3. Lateral, dorsum-lateral, and lateral-ventral views from aedeagus of *Drosophila carcinophila*.

References: Carson, H.L., and C.E. Hartt 1971, The Ecology of *Drosophila* Breeding Sites. Harold L. Lyon Arboretum Lecture Number 2, University of Hawaii; Depra, M., J.L. Poppe, H.J. Schmitz, D.C. De Toni, and V.L.S. Valente 2014, J. Pest Sci. 2: 1-4; Ferreira, M.J.M., 1978, Revta. Bras. Biol. 38(2): 445-454.



First record of *Drosophila suzukii* in the Brazilian Savanna.

Paula, M.A., P.H.S. Lopes, and R. Tidon. Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, CP 04457, Brasília, Brazil 70910-900. *Corresponding author: rotidon@pq.cnpq.br.

Introduction

Drosophilid species are not usually considered pests, because they consume microorganisms associated with tissue decay. In the Neotropics, these flies normally infest overripe, fallen, decaying fruits. Some species, however, lay their eggs inside sound fruits before harvest. This is the case of *Zaprionus indianus*, which established itself in South America in the late 20th century and emerged as a pest due to the significant economic damage it caused in fig plantations (Vilela, 1999; Stein *et al.*, 2003). In February 2013, another exotic species able to lay eggs inside healthy fruit was documented for the first time in South America: *Drosophila suzukii* Matsumura (Deprá *et al.*, 2014). This latter species is considered a pest of soft-skinned fruit crops in a number of countries, because it infests a wide host range using its characteristic serrated ovipositor (Mitsui *et al.*, 2006). Estimations of losses due to *D. suzukii*, only for three northwestern states in the USA, reached US\$11 million, certainly adding substantial costs to fruit production (Werts and Green, 2014).

Drosophila suzukii, an Oriental species from the *D. melanogaster* group, is also known as Spotted Wing *Drosophila* due to the dark spots on male wings (Acheapong, 2010). In 2008 it invaded Europe, and two years later it arrived in North America (Rota-Stabelli *et al.*, 2013). The first occurrences in Brazil, in late 2013, were recorded in southern states, where the climate is subtropical according to Köppen's classification (Deprá *et al.*, 2014). In this study, we document *D. suzukii* in the Brazilian Savanna, a tropical biome located in the center of South America.

Materials and Methods

The Brazilian savanna, locally known as the Cerrado biome, covers most of the interior of Brazil and consists of savanna of quite variable structure on well-drained terrain, with forests or other moist vegetation

following the watercourses (Oliveira-Filho and Ratter, 2002). Fieldwork was conducted in the IBGE Ecological Reserve (15°56'S; 47°53'W), a part of an environmental protection area extending over 10,000 ha and located 35 km south of Brasilia, the capital of Brazil. We have been collecting drosophilid communities in this reserve since 1998, and from 2012 we have been monitoring these assemblages bimonthly, using an experimental design of 90 banana-baited traps (Roque *et al.*, 2011) that remain in the field for four days. These traps are distributed, as replicates, in forest and savanna vegetation.

The drosophilids captured in this study were transported live to the laboratory and identified by identification keys, descriptions, and in some cases, by the male terminalia (Dobzhansky and Pavan, 1943; Freire-Maia and Pavan, 1949; Pavan and Cunha, 1947; Val, 1982; Vilela and Bachli, 1990; Vilela, 1992; Walsh *et al.*, 2011).

Results

In December 2013, we captured 12,120 specimens in our traps, among them a male of *Drosophila suzukii* recognized by its spotted wings (Figure 1). This was the first record of this species in the Brazilian Savanna. In February 2014, we did not find any specimen of *D. suzukii* among the 16,700 individuals and 41 species identified in this collection, but two months later (April) we captured a female characterized by its distinctive saw-like ovipositor. Both the male and the female were collected in savanna vegetation. In the collections of June, August, and October (2014) we did not catch any specimen of *D. suzukii*. Table 1 shows a summary of these collections.

Exotic species accounted for 47% of the sample collected from October 2013 to August 2014 and were mostly represented by *Zaprionus indianus* (29%), *Drosophila simulans* (10%), and *D. malerkotliana* (7%). The most abundant Neotropical species were those of the *D. willistoni* subgroup (38%) and *D. sturtevanti* (10%). The remaining Neotropical species (41 nominal species and 27 morphospecies) altogether contributed the remaining 5% of the specimens.

Table 1. Abundance of drosophilids from gallery forests (45 traps) and savannas (45 traps) in the IBGE Ecological Reserve, from October 2013 to August 2014.

	Oct	Dec	Feb	Apr	Jun	Aug	Total
<i>Sgr. Drosophila willistoni</i>	4	527	9739	3765	115	4	14154
<i>Zaprionus indianus*</i>	7	10235	375	112	52	93	10874
<i>D. simulans*</i>	32	772	719	89	95	2008	3715
<i>D. sturtevanti</i>	1	204	2453	551	318	40	3567
<i>D. malerkotliana*</i>	0	86	2605	40	2	1	2734
<i>Scaptodrosophila latifasciaeformis*</i>	0	4	44	12	2	0	62
<i>D. immigrans*</i>	0	25	8	1	0	1	35
<i>D. ananassae*</i>	0	1	1	2	0	0	4
<i>D. kikkawai*</i>	0	2	0	1	1	0	4
<i>D. busckii*</i>	0	0	0	1	0	1	2
<i>Drosophila suzukii*</i>	0	1	0	1	0	0	2
Other Neotropical species	79	263	756	364	130	160	1764
TOTAL	123	12120	16700	4939	715	2308	36917

*Exotic species

Discussion

The Brazilian Savanna is a hotspot of biodiversity, due to its high plant endemism and anthropogenic threats. We have been collecting drosophilids in this region since 1998, especially in the IBGE Ecological Reserve (Tidon *et al.*, 2003; Tidon, 2006; Mata *et al.*, 2008; Roque and Tidon, 2008; Roque *et al.*, 2013), and currently there are 128 species of Drosophilidae recorded in this biome (Roque and Tidon, 2013). It is worrying that during the period of this study (2013-2014) almost half of the drosophilid specimens belonged to exotic species. *Zaprionus indianus*, *Drosophila simulans*, and *D. malerkotliana* have spread not only to the

Brazilian Savanna, but also to several other Neotropical biomes (Gottschalk *et al.*, 2008). Therefore, they have reached the status of invasive species. On the other hand, the other exotic species are locally rare and/or geographically restricted; they have not spread and nor do they dominate Neotropical drosophilid assemblages. The fate of *D. suzukii* is still uncertain. In Brazil and in other areas invaded by this species, the first records were near seaports, suggesting that propagules arrived as immature stages in fruits imported from Asia (Rota-Stabelli, 2013). Nevertheless, our collection sites are at least 1,000 km from the nearest seaport, on the Atlantic coast. Therefore, these propagules could have dispersed from southern Brazil or from North America.



Figure 1. Male of *Drosophila suzukii* collected in the Brazilian Savanna.

It is possible that the presence of *D. suzukii* in our traps was occasional, since we captured only two specimens and *D. suzukii* seems to prefer a moderate climate (Walsh *et al.*, 2011; Deprá *et al.*, 2014). However, this species can be considered highly thermal tolerant because viable populations resist hot summers in Spain as well as cold mountain regions in Japan (Cini *et al.*, 2012). It is possible that, like *Zaprionus indianus* (Mata *et al.*, 2010), *D. suzukii* can change its ecological niche and establish viable populations in this savanna area.

The drosophilid populations in the Brazilian savanna, for most species, occur from December to April, when there are more breeding sites available due to the rainy season. As we are

monitoring the IBGE Ecological Reserve every two months, we will be able to detect if the presence of *D. suzukii* in these assemblages was occasional or if it is establishing itself in the center of the Neotropical Region.

Acknowledgments: We are grateful to the Universidade de Brasília and Reserva Ecológica do IBGE for logistical support. This work was funded with grants from the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

References: Acheampong, S., 2010, Spotted Wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*) a new vinegar fly pest in British Columbia. Ministry of Agriculture and Lands. British Columbia; Cini, A., C. Iorriati, and G. Anfora 2012, B. Insectol. 65: 149-160; Deprá, M., J.L. Poppe, H.J. Schmitz, D.C. Toni, and V.L.S. Valente 2014, J. Pest Sci. 87: 379-383; Dobzhansky, Th., and C. Pavan 1943, Bol. Fac. Fil. Cie. Let. Univ. São Paulo 36: 1-72; Freire-Maia, N., and C. Pavan 1949, Cultus 1: 3-66; Gottschalk, M.S., P.R.P. Hofmann, and V.L.S. Valente 2008, Check List 4: 485-518; Mata, R.A., M. McGeoch, and R. Tidon 2008, Biodivers. Conserv. 17: 2899-2916; Mata, R.A., R. Tidon, L.G. Côrtes, P. De Marco Jr., and J.A.F. Diniz-Filho 2010, Biol. Inv. 12: 1231-1241; Mitsui, H., K.H. Takahashi, and M.T. Kimura 2006, Pop. Ecol. 48: 233-237; Oliveira-Filho, A.T., and J.A. Ratter 2002, Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In: *The cerrados of Brazil* (Oliveira, P.S., and R.J. Marquis, eds.), pp. 91-120. Columbia Univ. Press, New York; Pavan, C., and A.B. Cunha 1947, Bol. Fac. Fil. Cie. Let. Univ. São Paulo 86: 20-64; Roque, F., and R. Tidon 2008, Dros. Inf. Serv. 91: 94-98; Roque, F., and R. Tidon 2013, Ann. Ent. Soc. Am. 106: 117-121; Roque, F., S.C.F. Oliveira, and R. Tidon 2011, Dros. Inf. Serv. 94: 140-141; Roque, F., R.A. Mata, and R. Tidon 2013, Biodivers. Conserv. 22: 657-672; Rota-Stabelli, O., M. Blaxter, and G. Anfora 2013, Curr. Biol. 23: 8-9; Stein, C.P., E.P. Teixeira, and J.P.S. Novo 2003, Entomotropica 18: 219-221; Tidon, R., 2006, Biol. J. Linn. Soc. 87: 233-247; Tidon, R., D.F. Leite, and B.F.D. Leão 2003, Biol. Conserv. 112: 299-305; Val, F.C., 1982, Pap. Av. Zool. 34: 309-347; Vilela, C.R., 1999, Dros. Inf. Serv. 82: 37-39; Vilela, C.R., 1992, Rev. Bras. Entomol. 36: 197-221; Vilela, C.R., and G. Bächli 1990, Mitt. Sch. Ent. Ges. 63: 1-332; Walsh, D.B., M.P. Bolda, R.E. Goodhue, A.J. Dreves, J. Lee, D.J. Bruck, V.M. Walton, S.D. O'Neal, and F.G. Zalom 2011, J. Integr. Pest Manag. 2: 1-7; Werts, P., and T. Green 2014, Crops Soils 47: 36-38.