

DAIANE CRISTINA CARREIRA

**REDES DE INTERAÇÃO EM FRUGIVORIA E DISPERSÃO DE SEMENTES POR
AVES NO CERRADO**

Relatório de Pós Doutorado realizado na
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Instituto de Biociências, Rio Claro.

Supervisora: Prof. Dr. Leonor Patricia
Cerqueira Morellato

CAPES PRINT – Edital 41/2017 - Código de Financiamento 001

Rio Claro
2024

Resumo: O Cerrado brasileiro é a savana mais biodiversa do mundo, com alta riqueza de espécies nativas e endêmicas, o que reflete na complexidade das relações mutualísticas entre frugívoros e plantas. As aves são o principal grupo de dispersores de sementes no Cerrado e são essenciais para favorecer a regeneração e conservação da vegetação. A partir disso, avaliamos como as redes de interação entre aves e plantas estão estruturadas em uma floresta de Cerrado (*sensu stricto*) no sudeste do Brasil e como essas redes se reorganizariam diante da mudança na oferta de recursos em dez anos. Para isso utilizamos dados de observações fenológicas quinzenais em dois períodos (2009 e 2019) e dados de frugivoria de aves coletados ao longo de 12 meses (2009). Encontramos que há uma diminuição de 12% na oferta de recursos em dez anos, especialmente de algumas espécies como *Xylopia aromática* e *Siparuna guianensis* e que quanto maior a produção de frutos, mais eventos de frugivoria ocorrem ($p=0.02$). Quanto as redes, foram registradas 312 interações de frugivoria e 980 remoções de frutos no ano de 2009. Quando simulamos uma rede para o ano de 2019, encontramos um decréscimo de mais de 50% nas interações de frugivoria. Vimos também que todas as redes são modulares e com tendências ao aninhamento e que frente a eventos de extinção, mesmo as redes simuladas se reorganizariam mais facilmente. As próximas etapas consistem em refazer as redes de interação, utilizando os dados temporais de 15 anos do monitoramento fenológico na área, para simular as possíveis interações perdidas. Nossos resultados irão contribuir para uma melhor compreensão dos impactos das mudanças climáticas nos processos de dispersão de sementes facilitados por aves no cerrado brasileiro.

Introdução

O Cerrado é biodiverso, com elevada riqueza de espécies nativas e endêmicas (Klink e Machado 2005), o que o torna um *hotspots* mundial para a conservação da biodiversidade (Myers et al. 2000). Por apresentar um complexo vegetacional com diferentes fitofisionomias (Ribeiro e Walter 2008), o cerrado também permite uma alta complexidade nas interações mutualísticas entre aves e frugívoros (Kuhlmann e Ribeiro 2016a), o que torna possível a dispersão das sementes zoocóricas, facilitando um processo chave para o funcionamento dos ecossistemas (Herrera 2003).

Calcula-se que mais de 50% das plantas nos neotrópicos precisam da fauna para levar seus propágulos e colonizar novas áreas (Jordano 2000). Os frugívoros que atuam no processo de dispersão, podem facilitar o deslocamento da semente a distâncias maiores, diminuindo assim as chances de mortalidade e aumentando a probabilidade de colonizar sítios propícios a germinação (Janzen 1970). Além disso, podem determinar a distribuição das sementes e, consequentemente das plantas no espaço (Howe 1989).

No cerrado, evidências apontam que a maior parte das plantas são visitadas por espécies mais generalistas e majoritariamente, por aves (Francisco e Galetti 2002; Carvalho et al. 2023) que irão efetuar a dispersão das sementes. Com isso, diferentes parâmetros estão associados a dispersão, entre eles o tipo de fruto e seus atributos, que podem ser tamanho, presença de arilo (Kuhlmann e Ribeiro 2016b), cor, nutrientes ou compostos químicos (Schaefer e Schimidt 2004; Pizo et al. 2021), etc. Entretanto, o Cerrado vem perdendo grande parte da sua abrangência territorial nas últimas décadas, dando lugar a pastagens e culturas agrícolas diversas (Machado et al. 2004), o que também pode impactar a disponibilidade de recursos para aves frugívoras e mudar a dinâmica mutualística entre plantas e seus dispersores. Alguns estudos têm mostrado que a riqueza funcional de espécies zoocóricas, dispersas pela fauna, são afetadas negativamente pela perda de habitat (Pessoa et al. 2017). Áreas que vem sofrendo esses impactos podem exibir significativas mudanças na disponibilidade nutricional e morfológica dos recursos, incluindo um aumento na dominância de espécies com frutos pequenos, que contêm sementes pequenas e são pobres em conteúdo nutricional (Moermond e Denslow 1985; Tabarelli e Peres 2002).

A disponibilidade sazonal, bem como o perfil nutricional e outros atributos dos frutos para aves frugívoras, é relevante para a manutenção e regeneração da comunidade de plantas em ambientes tropicais, como o cerrado (Maruyama et al 2019). Isso porque, as aves são mais especializadas na dieta de frutos quando comparadas as áreas temperadas (Dalsgaard et al. 2017), fazendo com que tenham um papel significativo e determinante na dinâmica florestal ao longo do tempo.

As mudanças tanto na disponibilidade de recursos para a fauna dispersora, quanto na própria comunidade de frugívoros, podem ser moduladas e mensuradas, por meio das análises das redes de interação (Pizo et al. 2021; Carvalho, Malhi e Menor 2023). Desta forma, o objetivo dessa pesquisa é construir redes de interação em frugivoria entre aves e plantas em uma área de cerrado e compreender se os atributos das espécies (tanto dos frutos quanto das aves) e a disponibilidade de recursos, pode alterar ou modular essas redes ao longo dos anos.

Objetivos

A partir das análises das interações de frugivoria entre aves e frutos no Cerrado, procuramos responder às seguintes questões:

- Qual a disponibilidade de recursos (frutos carnosos) para aves frugívoras no Cerrado?
- Os atributos funcionais das plantas e das aves bem como a disponibilidade de recursos, podem influenciar na frugivoria e dispersão das sementes?
- Como a rede de frugivoria entre aves e plantas no Cerrado está estruturada?
- Como a rede de frugivoria se reorganizaria em um período de dez anos, em resposta às possíveis mudanças na disponibilidade de recursos?

Nossa hipótese é que o Cerrado apresenta uma rede de interações diversa, porém, essas interações são compostas majoritariamente por espécies generalistas, uma vez que o bioma vem perdendo espécies de dispersores de grande porte devido a um intenso processo de fragmentação e defaunação (Guimarães et. al. 2008; Carvalho et al. 2023). Dessa forma, esperamos encontrar uma rede simplificada pela gama de espécies generalistas de dispersores e também por uma diminuição na oferta de recursos para os frugívoros.

Material e Métodos

Descrição da área de estudo

Todos os dados utilizados foram previamente coletados por diversos integrantes do Laboratório de Fenologia, da Dra. Patricia Morellato, ao longo dos anos (de 2000 a 2020) em uma área privada de cerrado *sensu stricto* (250 hectares – 770 metros de altitude), localizada no município de Itirapina (SP) (Fig. 1) sob as coordenadas 22°10'31.41"S e 47°52'26.13"W (Camargo 2008). O clima da região é do tipo Cwa, com invernos secos e verões chuvosos (Koppen 1948). A vegetação do local é típica de um cerrado stricto sensu, com a presença dos estratos herbáceo-arbustivo e arbustivo-arbóreo, onde algumas espécies apresentam troncos retorcidos, súber espesso e folhas coriáceas e pilosas (Ribeiro e Walter 1998), além da evidência de queimadas em algumas parcelas dentro da área.

O experimento foi instalado dentro da área principal (mencionada acima) ocupando uma área aproximada de 1.800 m² e foi dividido em quatro parcelas denominadas de borda e interior sul, borda e interior leste.

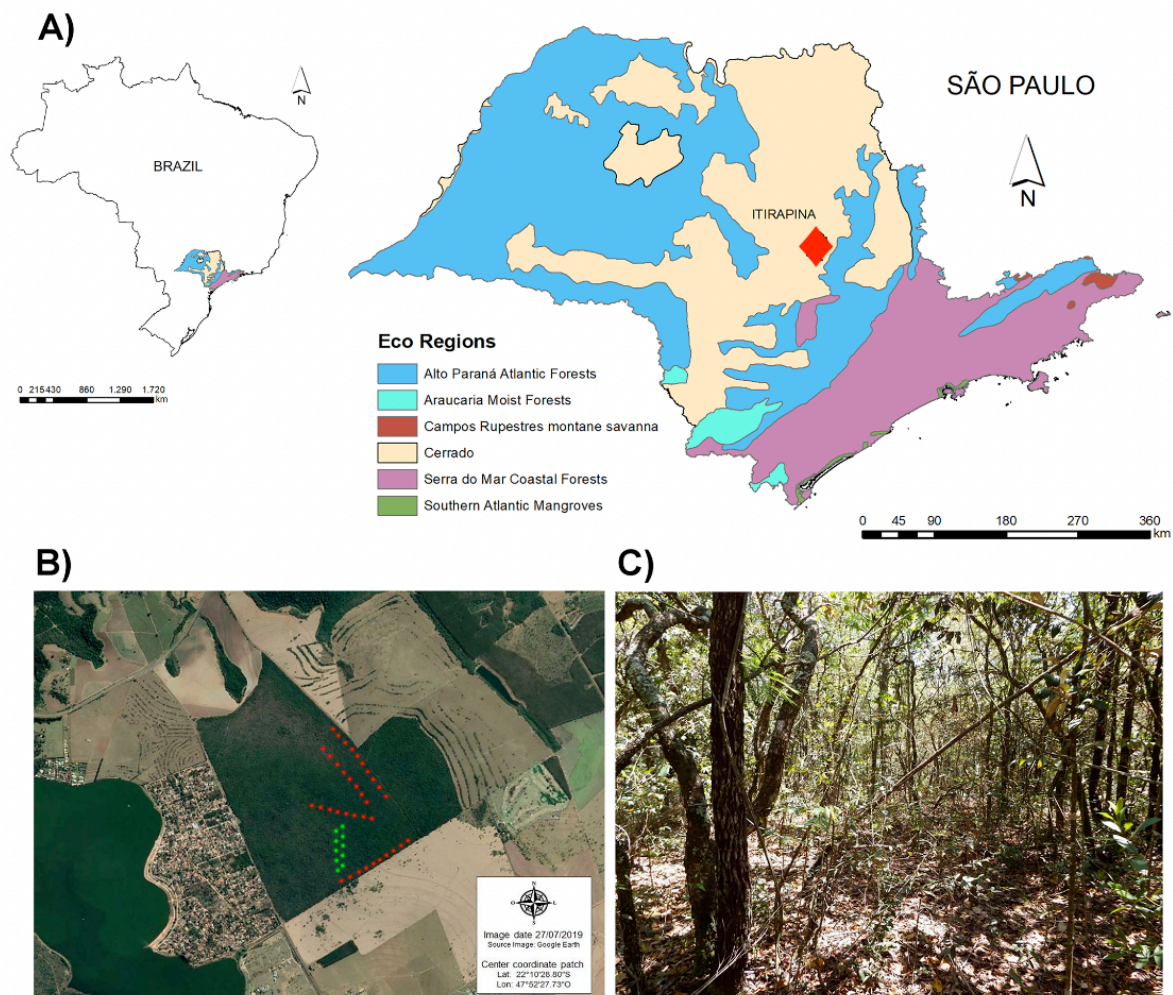


Figura 1. Área do estudo de longa duração, monitorado pelo Laboratório de Fenologia, Unesp, Rio Claro. Sendo A, a localização do estado de São Paulo, bem como o cerrado de Itirapina, B uma imagem de satélite do fragmento estudado e C uma fotografia da vegetação local. Imagem extraída e adaptada de Borgiani et al. 2022.

Fenologia da frutificação e dados fitossociológicos

A coleta dos dados fenológicos é feita mensalmente e os observadores anotam a fenofase dos indivíduos previamente marcados pelo projeto (botão, antese, frutos verdes, frutos maduros, brotação e queda). Para este estudo, utilizamos apenas os dados de frutificação, considerando apenas os indivíduos que estivessem frutificando e que os frutos estivessem maduros e apenas as espécies de plantas as quais as aves interagiram. Para isso, triamos os dados do ano de 2009 e de 2019. Para considerar que um indivíduo estivesse frutificando, utilizamos o critério de seleção da fenofase (1 ou 2, sendo 1 com até 50% de frutificação e 2 com mais de 50% de frutificação).

Consideramos a partir desses dados, as seguintes variáveis de fitossociologia:

- Número total de indivíduos frutificando por espécie e a proporção de indivíduos frutificando por espécie - n. de indivíduos frutificando dividido pelo número total de indivíduos daquela espécie vivos e ou amostrados e multiplicado por 100.

- Tempo de frutificação: número de meses que determinada espécie estava frutificando. Selecionamos então apenas as espécies com dados de no mínimo dez indivíduos. A partir disso, era feito uma média, considerando o número de meses que a espécie frutificou em três anos (2008 a 2010) e a média considerando o número total de indivíduos por espécie.

- Produção de frutos: Foi contabilizada no ano de 2006 e para isso, foram contados todos os frutos de cada espécie e no caso de indivíduos com cachos com 100 ou mais frutos ou infrutescências, foi estimado o número total de frutos produzidos por indivíduo (Camargo 2008).

- Abundância total de árvores (n. de indivíduos de cada espécie na área toda amostrada).

- Frequência relativa de árvores (n. de e indivíduos de cada espécie dividido pelo número total de indivíduos).

- Densidade absoluta e densidade relativa (n. de árvores por área).

Atributos funcionais dos frutos e das aves

Para os frutos, foram considerados a morfologia: biomassa do fruto (gr), diâmetro do fruto e da semente, comprimento do fruto e da semente (mm) e o conteúdo nutricional químico: água, lipídio, carboidratos, açúcares (sucrose, glucose, frutose e total), proteínas e energia total (Kcal). Para as aves, consideramos a biomassa (gr), o tamanho (cm) e a abertura do bico (cm).

Interações de frugivoria e redes de interação

Os dados de frugivoria foram coletados por meio de observação direta em transectos percorridos quinzenalmente, por toda a área (de dezembro de 2008 a fevereiro de 2010 (Guaraldo, A. – não publicado). Durante o transecto, era observado quais espécies estavam interagindo com os frutos e a espécie de planta – que chamaremos de “eventos de frugivoria”, bem como o número de frutos removidos a cada visita.

Para as redes de interação, construímos quatro matrizes usando gráficos bipartidos (Bascompte e Jordano 2006) considerando o número de eventos de frugivoria ou de frutos removidos por ave em cada planta que a espécie interagiu em dois momentos, no ano de 2009 e na simulação para 2019. Para caracterizar a estrutura das redes, utilizamos alguns descritores:

- Modularidade: identifica se existem grupos de espécies frugívoras que interagem mais fortemente com um conjunto particular de espécies de plantas (Olesen et al. 2007). Essa métrica utiliza o algoritmo de Newman (Q), onde Q varia de 0 (não há formação de módulos) a 1 (grau máximo de modularidade) (Barber 2007).

- Aninhamento (NODF): sugere uma especialização assimétrica da comunidade, na qual espécies frugívoras com poucas interações (“especialistas”) interagem preferencialmente com espécies de plantas com muitas interações (“generalistas”) e vice-versa. Esse tipo de organização aninhada não é aleatório porque favorece a formação de comunidades mais resistentes a distúrbios ambientais, uma vez que as espécies generalistas formam densos conjuntos de interações. Para o aninhamento, usamos o NODF (métrica de aninhamento ponderado) com base na sobreposição e no preenchimento decrescente para avaliar uma matriz

de interação quantificada. O NODF varia de zero a 100 (sem aninhamento e aninhamento perfeito, respectivamente) (Almeida-Neto e Ulrich 2011).

- Grau de especialização da rede: é um índice que descreve o nível de especialização da rede, ou seja, até que ponto as interações observadas se desviam daquelas que seriam esperadas (Blüthgen et al. 2006), variando de zero - sem especialização, a um - muito especializada.

- Simulação de extinção: calcula o valor de robustez de uma rede após um evento de extinção (das espécies que mais contribuem para a estruturação da rede - com maior força de interação). O valor de robustez varia de 0 a 1, sendo que valores próximos a 1 representam que a curva de extinção seja mais suave quando comparado a valores próximos a 0 que indicam uma curva mais abrupta (Evans, Pocock e Memmott 2013).

Para as espécies, utilizamos a centralidade (closeness centrality), uma medida de quão conectada cada espécie de ave está a outras espécies na rede por meio de caminhos diretos ou indiretos e força da espécie (species strength), que determina a importância relativa de uma planta para um frugívoro específico, por meio da frequência relativa com a qual uma planta se conecta a um frugívoro dividida pelo número total de interações.

Análise dos dados

Foram avaliadas quanto a normalidade na distribuição dos dados, as variáveis fitossociológicas, os atributos funcionais dos frutos e das aves, utilizando o teste de Shapiro-Wilk. Realizamos testes de comparação de médias (Wilcoxon ou Kruskal) para avaliar se havia uma relação entre os eventos de frugivoria, o número de frutos removidos ou a força das interações, com as variáveis fenológicas ou fitossociológicas. Para avaliar se havia correlação entre os atributos funcionais dos frutos com os atributos das aves, calculamos o coeficiente de correlação de Spearman.

Para contabilizar as interações de frugivoria por mês e a produção de frutos, realizamos uma análise circular usando o pacote Plotrix, no software R (xxx).

Para os cálculos de estimativas de frugivoria (para o ano de 2019), levamos em consideração a premissa de que quanto maior o número de indivíduos frutificando maior a oferta de recursos (e maior a produção de frutos) e consequentemente, maiores as chances das aves interagirem com os frutos e de remover maiores quantidades de frutos, utilizando a proporcionalidade dessas interações.

Para testar se havia relação entre as variáveis resposta (eventos de frugivoria e o número de frutos removidos) e as variáveis preditoras (número e proporção de indivíduos frutificando, número de indivíduos vivos e o tempo de frutificação), considerando os dois anos (2009 e 2019), realizamos modelos lineares generalizados (GLM), com distribuição de Poisson.

Para avaliar se havia diferença entre as métricas das redes e os eventos de frugivoria nos dois períodos considerados, realizamos modelos linear generalizado misto (GLMM), usando os anos (2009 e 2009) como uma interação dentro do modelo. Como variável resposta, consideramos a riqueza e a frequência de interações, a medida de centralidade (closeness centrality) e a força das espécies (species strength). Como variável preditora usamos a proporção de indivíduos frutificando pelos anos (2009 e 2019). Após os modelos, realizamos o teste de Wilcoxon para ver se havia diferença das métricas e da frugivoria entre os anos,

considerando o valor de $p < 0.05$. Todas as análises foram realizadas utilizando o software R (R Core Team, 2020).

Resultados e discussão

Fenologia da frutificação e dados fitossociológicos

Não encontramos diferença significativa entre o número de indivíduos, a proporção de indivíduos frutificando e os frutos produzidos, quando comparamos os anos de 2009 e 2019 ($p = 0.34, 0.13, 0.43$, respectivamente), entretanto, conseguimos visualizar uma diminuição de 12% na porcentagem de frutificação (Fig. 2).

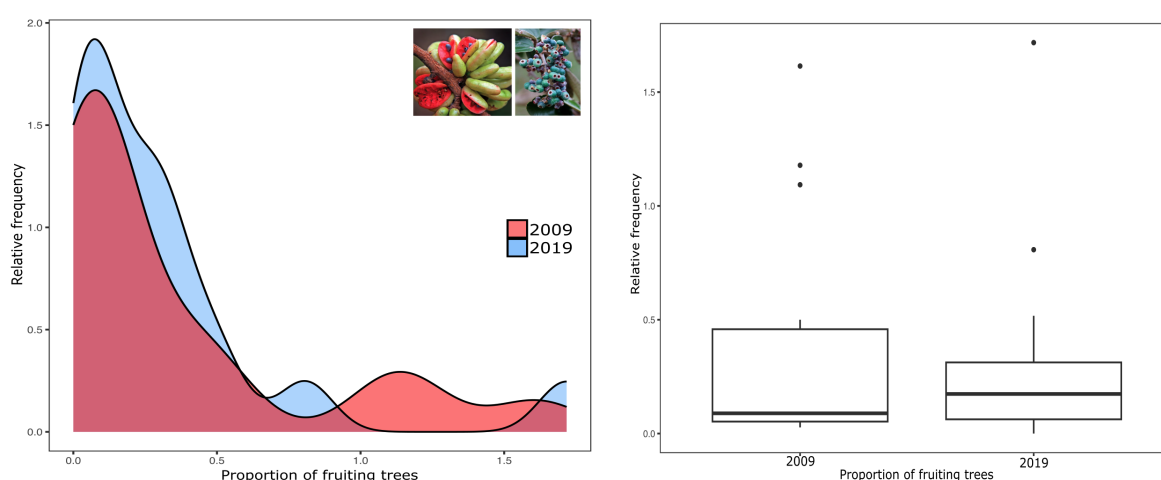
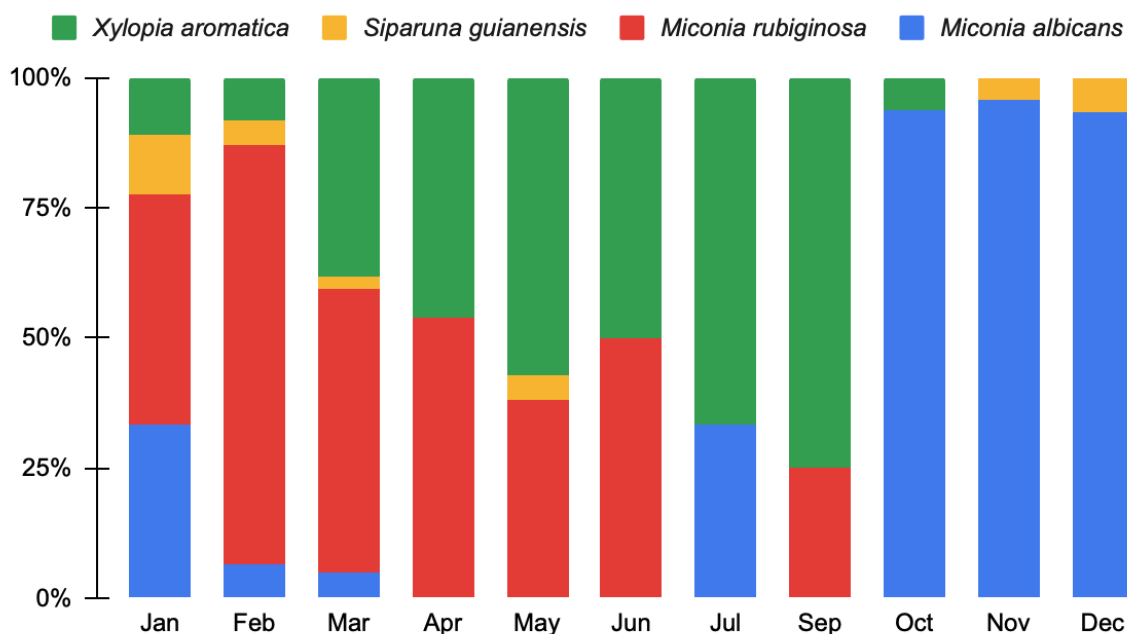


Figura 2. Histograma e boxplot comparando a proporção de indivíduos frutificando em dois períodos, no ano de 2009 e no ano de 2019.

Considerando apenas as espécies cujos frutos tiveram mais interações com as aves, podemos notar que há um decréscimo na proporção de indivíduos frutificando de *Xylopia aromatica* e a *Siparuna guianensis* não aparece com frutificação em dez anos. Já as espécies do gênero *Miconia* (*M. albicans* e *M. rubiginosa*) parece aumentar a proporção de indivíduos frutificando no ano de 2019 (Fig. 3).

2009



2019

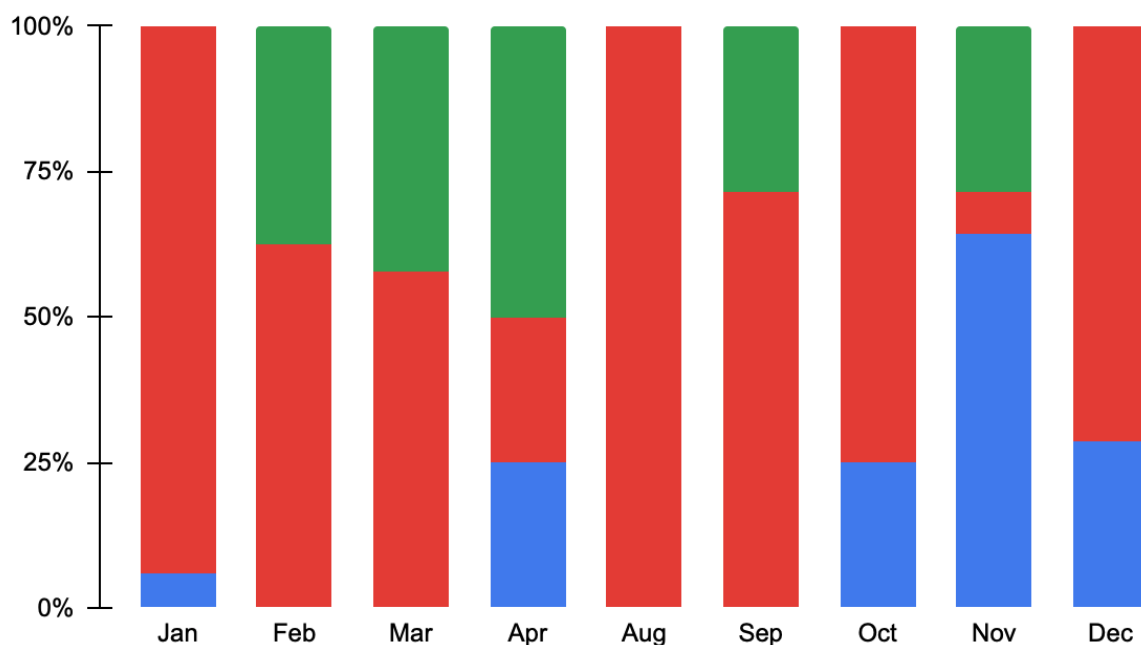


Figura 3. Gráfico exemplificando as alterações na proporção de indivíduos frutificando das principais espécies de plantas, as quais as aves interagiram nos dois períodos amostrados (2009 e 2019).

Quando analisamos se os eventos de frugivoria e o número de frutos removidos estavam correlacionados com os dados fitossociológicos das plantas, não encontramos relações significativas ($p > 0.05$) (Anexo 1).

Atributos funcionais dos frutos e das aves

De todas as análises comparando os traços morfológicos dos frutos com os os traços químicos, oito apresentaram correlação negativa (Tab. 1), segundo o ranking de correlação de Spearman. Encontramos que quanto maior o diâmetro e a biomassa do fruto, menor a porcentagem de lipídios e de energia total, quanto maior o tamanho da semente menor a porcentagem total de açúcares e energia e quanto maior o tamanho do fruto, menor a quantidade de energia total.

Atributos morfológicos	Atributos químicos				
	Água	Proteína	Lipídeo	Açúcar total	Energia
Tam. fruto	- 0.29 (0.22)	0.18 (0.43)	- 0.40 (0.08)	- 0.31 (0.21)	- 0.59 (0.00)*
Tam. semente	- 0.41 (0.07)	0.38 (0.10)	- 0.30 (0.20)	- 0.51 (0.03)*	- 0.43 (0.08)
Diam. fruto	- 0.32 (0.16)	- 0.23 (0.32)	- 0.46 (0.04)*	- 0.16 (0.52)	- 0.52 (0.03)*
Diam. semente	- 0.36 (0.12)	0.19 (0.42)	- 0.33 (0.16)	- 0.51 (0.03)*	- 0.63 (0.00)*
Biomassa fruto	0.12 (0.60)	- 0.18 (0.45)	- 0.59 (0.00)*	- 0.10 (0.69)	- 0.78 (0.00)*

Tabela 1. Correlação entre os atributos morfológicos e o conteúdo químico dos frutos. O primeiro valor refere-se a correlação e o segundo ao valor de p.

Quando analisamos a relação entre os eventos de frugivoria (número de visitas, número de frutos removidos ou a força da interação de frugivoria) e os traços morfológicos e químicos dos frutos, não encontramos nenhuma relação significativa ($p > 0.05$) (Anexo 2)

Interações de frugivoria e redes de interação

Encontramos uma relação positiva entre a quantidade de eventos de frugivoria e a produção de frutos ao longo do ano ($p=0.02$), sendo que nos meses com maior produção de frutos as plantas também receberam mais visitação de frugívoros (Fig. 4).

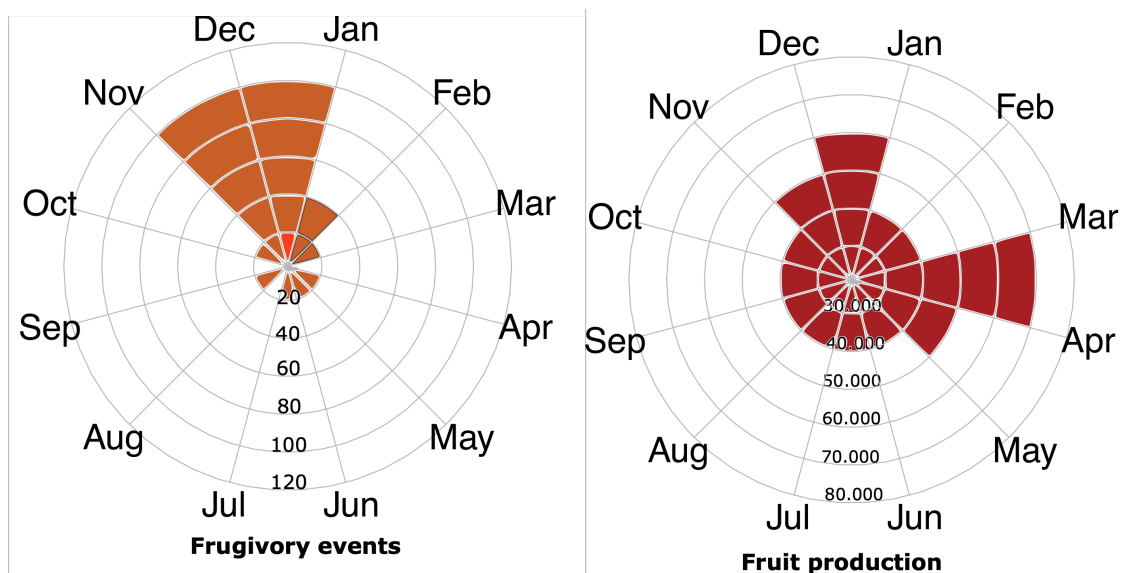


Figura 4. Distribuição dos eventos de frugivoria (esquerda) e da produção de frutos (direita) ao longo do ano de 2009.

No ano de 2009 foram registradas 312 interações de frugivoria entre aves (35 sp) e plantas (21 sp) no cerrado (Anexo 3), com uma conectância de 0.12, baixa especialização ($H_2 = 0.43$) e uma diversidade de Shannon de 3.63 (Fig. 5). Todas as interações ocorreram em árvores com frutos carnosos, cujos diásporos variam entre 5 a 15 mm. A rede apresentou-se com uma tendência ao aninhamento ($NODF = 36.39$) e uma estrutura modular moderada ($M = 0.41$) com quatro grupos formados. As espécies mais nucleares na rede e com maior força de interação respectivamente foram *Turdus leucomelas* (3.29 e 3.87), *Thraupis sayaca* (2.26 e 2.95), *Dacnis cayana* (1.74 e 2.48) e *Stilpnia cayana* (1.74 e 1.56). Para as plantas, foram detectadas cinco espécies nucleares (>1.0), sendo que as que apresentaram maior força de interação foram *Miconia albicans* (11.37) e *M. rubiginosa* (6.39) e *Pera glabrata* (4.85). Para a simulação de extinção, detectamos que mesmo após eventos de extinção das espécies que mais contribuem para a estruturação da rede, a rede continua robusta e a curva de extinção tende a ser mais suave (0.62 para plantas e 0.65 para aves).

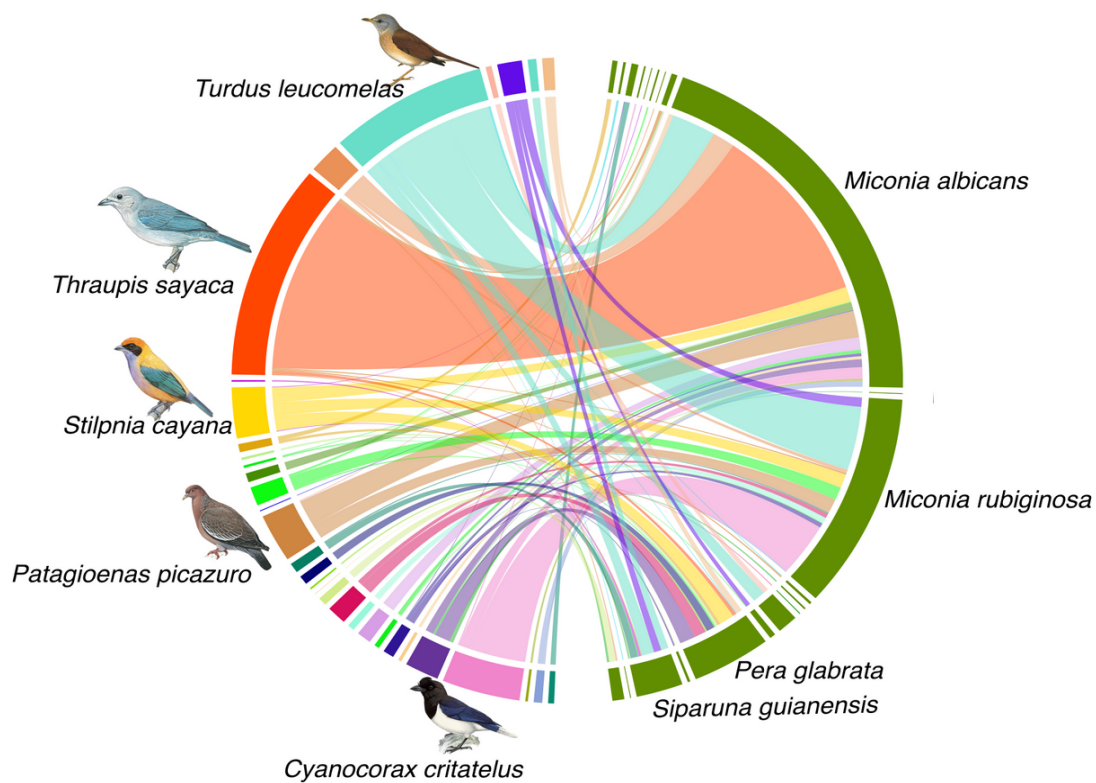


Figura 5. Rede de interações de frugivoria entre aves e plantas, no ano de 2009.

Foram registradas ainda no ano de 2009, 980 interações de remoção de frutos entre 32 espécies de aves e 21 espécies de plantas (Fig. 6). Os descritores da rede bem como as espécies mais atuantes, foram similares a rede de eventos de frugivoria (Tab. 2) .

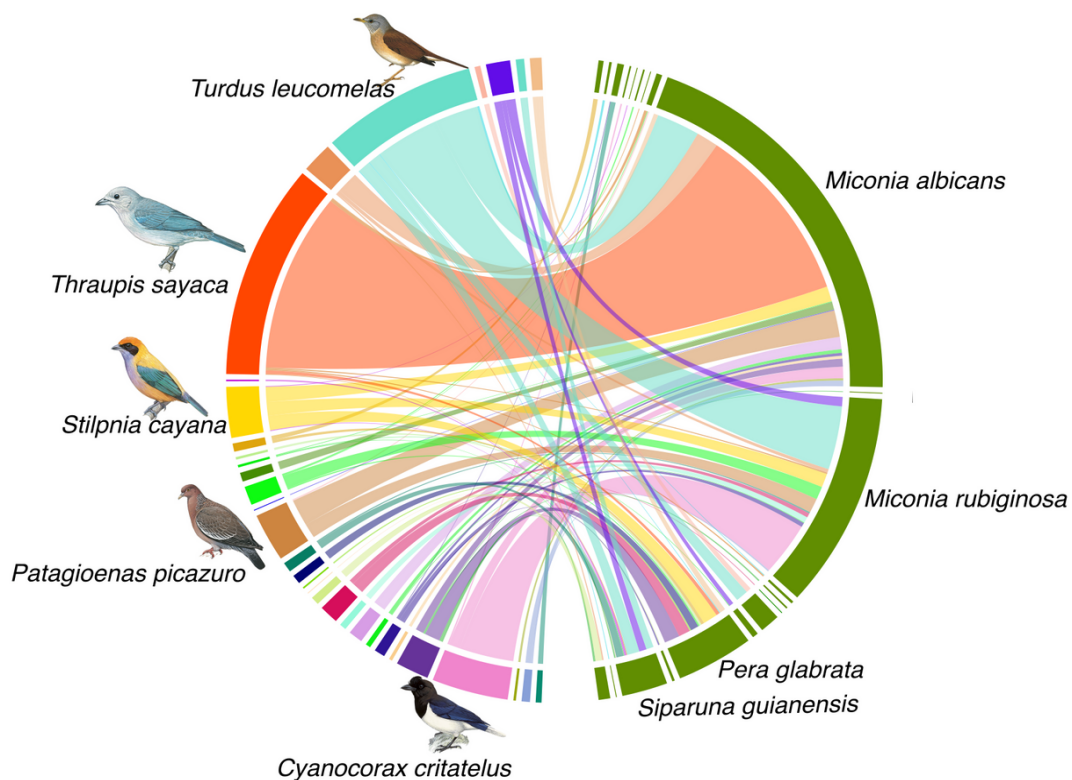


Figura 6. Rede de frutos removidos por aves no Cerrado, no ano de 2009.

Quando performamos a rede simulada (para 2019), encontramos um decréscimo de 58% no número de interações (121 interações), entre 13 espécies de plantas e 19 espécies de aves e um decréscimo de 51% no número de frutos removidos (Fig. 7).

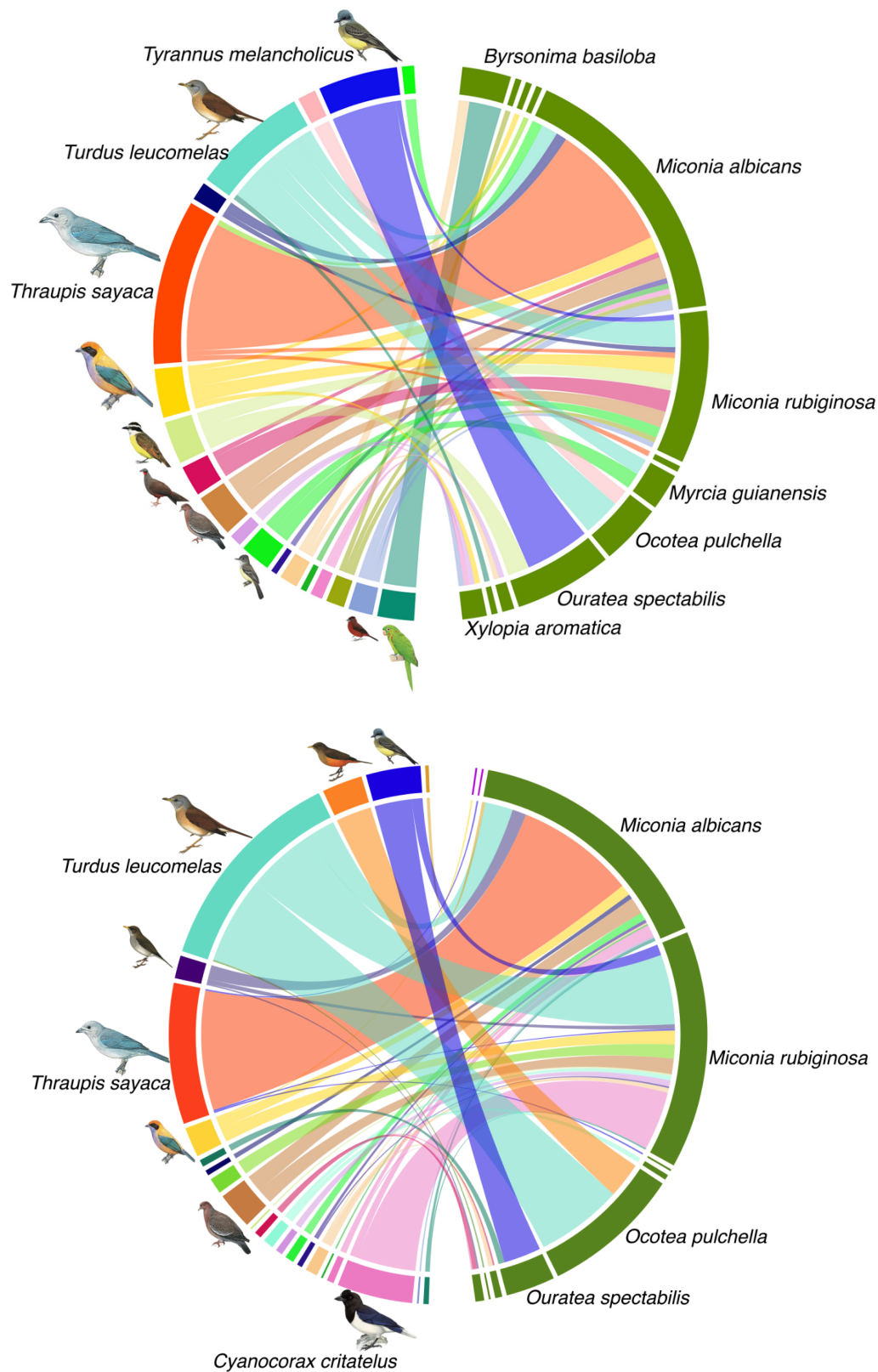


Figura 7. Redes simuladas (para o ano de 2019) de interações de frugivoria (eventos – acima e frutos removidos – abaixo).

Quando analisamos os padrões das redes, vimos que todas as quatro redes são modulares ($\text{mod} > 0.4$) e com uma tendência ao aninhamento ($\text{NODF} > 30$), entretanto, as redes simuladas de frugivoria (considerando apenas os eventos) são mais modulares (2009: mod. 0.41 e NODF e 2019: mod. 0.43) e as redes simuladas considerando o número de frutos removidos, ficam mais aninhadas (2009: NODF 32.45 e 2019: NODF 43.06). Também vimos que a rede simulada das interações de frugivoria e ambas as redes (2009 e 2019) de remoção de frutos, são mais especializadas ($H2 = 0.52, 0.60$ e 0.58 , respectivamente). Quando simulamos eventos de extinção, vimos que todas as redes poderiam se reorganizar mais facilmente (Tabela 2).

Metrics	2009	Fruits removed	2019	Fruits removed
	Frugivory events		Frugivory events	
number of interactions	312	980	121	405
number of links	91	78	42	43
number of species HL (plants)	21	21	13	11
number of species LL (birds)	35	32	19	23
connectance	0.12	0.11	0.17	0.16
modularity	0.41	0.43	0.52	0.47
nestedness	7.66	7.92	16.32	13.23
NODF	36.39	34.45	32.45	43.06
interaction strength asymmetry	-0.18	-0.19	-0.17	-0.31
specialisation asymmetry	0.20	0.24	0.12	0.19
Shannon diversity	3.63	3.25	3.23	2.88
interaction evenness	0.55	0.50	0.58	0.52
H2	0.43	0.52	0.60	0.58
extinction slope HL	2.12	1.97	2.2	1.61
extinction slope LL	2.15	1.83	1.95	1.89
robustness HL	0.62	0.61	0.58	0.52
robustness LL	0.65	0.61	0.60	0.61

Tabela 2. Métricas das redes de frugivoria e de frutos removidos nos anos de 2009 e 2019.

A partir dos modelos (GLMM), não encontramos diferenças significativas nas métricas e na frugivoria quando comparamos os anos ($p > 0.05$), apenas na métrica de centralidade das redes, sendo que ambas as redes simuladas, apresentaram maior centralidade das espécies ($p < 2e-16$ para ambas) (Tab. 3).

Variável	Wilcoxon test (p value)
Número de frutos removidos	0.18
Número de eventos de frugivoria	0.33
Riqueza de interações (eventos de frugivoria)	0.16
Riqueza de interações (frutos removidos)	0.21
Força das espécies (eventos de frugivoria)	0.27
Força das espécies (frutos removidos)	0.16
Closeness (eventos)	<2e-16***
Closeness (frutos removidos)	<2e-16***

Tabela 3. Modelos lineares generalizados mistos considerando as métricas das redes e a frugivoria nos anos de 2009 e 2019.

Quando extraímos o ano como uma interação dentro do modelo, encontramos que em 2009 a riqueza de interações e a força das espécies foram maiores que no ano de 2019, enquanto que a centralidade das espécies foi maior no ano de 2019 (Fig. 8).

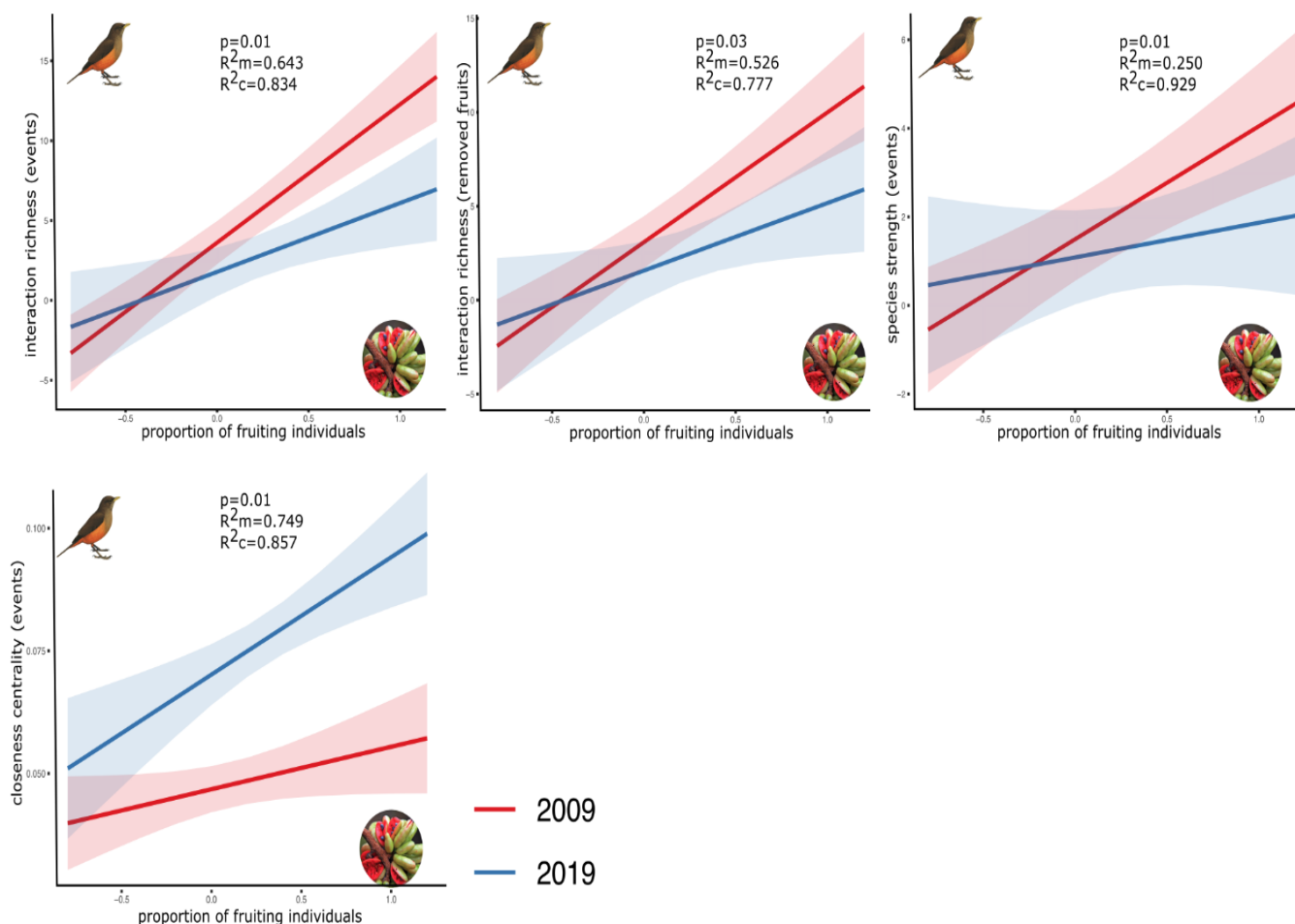


Figura 8. GLMM entre a riqueza de interações, a força das espécies e a medida de centralidade pela proporção de indivíduos frutificando nos anos de 2009 e 2019.

Considerações preliminares

A partir dessas análises preliminares, podemos ver que há uma diminuição no número de árvores frutificando no Cerrado em uma década, o que poderia afetar futuramente, o fornecimento de recursos para os frugívoros (Maruyama et al 2019, Pizo et al. 2021). Há também uma diminuição potencial nas interações de frugivoria e número de frutos removidos, o que pode impactar diretamente na dispersão de sementes e, conseqüentemente, no recrutamento de plântulas.

Algumas espécies de plantas parecem ser mais afetadas que outras ao longo dos anos, como a *Siparuna guianensis*, *Xylopia aromatica* e *Virola sebifera*, enquanto outras plantas, como as espécies do gênero *Miconia* sp., parecem se beneficiar do declínio populacional de outras plantas. Essas mudanças na oferta de recursos podem favorecer espécies mais generalistas de aves ao longo do tempo, tornando as redes mais simplificadas e com grupos mais conectados (Carvalho, Malhi e Menor 2023).

Próximas etapas

As análises de simulação das redes serão refeitas, utilizando agora, os dados temporais de todos os anos entre 2009 à 2020. Para a simulação, utilizaremos as interações potenciais (Martinez e Pires 2024) a partir da utilização de bancos de dados de frugivoria. As novas análises estão sendo feitas em parceria com o Dr. Mathias M. Pires (Unicamp).

Referências

Almeida-Neto M, Ulrich W (2011) A straightforward computational approach for measuring nestedness using quantitative matrices. *Environmental Modelling e Software* 26:173-178.

Barber MJ (2007) Modularity and community detection in bipartite networks. *Physical Review* 76:1-11.

Bascompte J, Jordano P (2006) The structure of plant–animal mutualistic networks. In: Pascual M, Dunne JA (eds) *Ecological networks: linking structure to dynamics in food webs*. Oxford Univ. Press, Oxford, pp. 143-159.

Béllo Carvalho, Rodrigo, Yadvinder Malhi, e Imma Oliveras Menor (2023). “Frugivory and seed dispersal in the Cerrado: Network structure and defaunation effects”. *Biotropica* 55 (4): 849–65. <https://doi.org/10.1111/btp.13234>.

Blüthgen, N., Menzel, F. and Blüthgen, N. (2006) Measuring specialization in species interaction networks. *BMC Ecology* 6, 9.

Borgiani, R. et al. Floristic composition, pollination and seed-dispersal systems in a target cerrado conservation area (2022). *Biotaneotropica* 22(2): e20211318, 2022.

Camargo, M.G.G. Influência da borda na frutificação e nas síndromes de dispersão de sementes em uma área de cerrado sensu stricto. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Biologia Vegetal. Unesp. 2008.

Dalsgaard B, Schleuning M, Maruyama PK, et al. 2017. Opposed latitudinal patterns of network-derived and dietary specialization in avian plantfrugivore interaction systems. *Ecography* 40: 1395-1401.

Evans, D. M., Pocock, M. J. & Memmott, J. The robustness of a network of ecological networks to habitat loss. *Ecology Letters* 16, 844–852 (2013).

Francisco, M. R., & Galetti, M. (2002). Aves como potenciais dispersoras de sementes de *Ocotea pulchella* Mart. (Lauraceae) numa área de vegetação de cerrado do sudeste brasileiro. *Brazilian Journal of Botany*, 25, 11–17.

Guimarães, P. R., Galetti, M., & Jordano, P. (2008). Seed dispersal anachronisms: Rethinking the fruits extinct megafauna ate. *PLoS One*, 3(3), e1745.

Herrera CM (2003) Seed dispersal by vertebrates. In: Herrera CM, Pellmyr O (eds) *Plant–Animal Interactions: an evolutionary Approach*. Blackwell, Oxford, UK, pp. 185–208.

Howe HF (1989) Scatter-and clump-dispersal and seedling demography: hypothesis and implications. *Oecologia* 79:417–426.

Janzen DH (1970) Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *Am Nat* 104:501–528.

Jordano P (2000) Fruits and frugivory. In: Fenner M (ed) *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. CAB Publishing, Wallingford, UK, pp 125-165.

Klink CA, Machado RB. 2005. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology* 19: 707-713

Kuhlmann, M., & Ribeiro, J. F. (2016a). Fruits and frugivores of the Brazilian Cerrado: ecological and phylogenetic considerations. *Acta Botanica Brasilica*, 30, 495–507.

Kuhlmann, M., & Ribeiro, J. F. (2016b). Evolution of seed dispersal in the Cerrado biome: ecological and phylogenetic considerations. *Acta Botanica Brasilica*, 30, 271–282.

Koppen, W. 1948. *Climatologia*. Fondo Cultura Economica, Mexico.

Machado, R. B., Ramos Neto, M. B., Pereira, P. G. P., Caldas, E. F., Gonçalves, D. A., Santos, N. S., Tabor, K., & Steininger, M. (2004). Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Conservation International.

Maruyama, P.K. et al. What is on the menu for frugivorous birds in the Cerrado? Fruiting phenology and nutritional traits highlight the importance of habitat complementarity. *Acta Botanica Brasilica*- 33(3): 572-583. 2019.

Martinez, N. A; Pires, M.M. Estimated missing interactions change the structure and alter species roles in one of the world's largest seed-dispersal networks. *OIKOS*, v. 2024, p. e10521, 2024.

Moermond, T.C., Denslow, J.S., 1985. Neotropical avian frugivores: patterns of behavior, morphology, and nutrition, with consequences for fruit selection. *Ornithol. Monogr.* 36, 865–897.

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858.

Olesen JM, Bascompte J, Dupont YL, et al (2007) The modularity of pollination networks. *Proc. Natl Acad. Sci.* 104:19891-19896.

Pessoa, M.S. et al. Deforestation drives functional diversity and fruit quality changes in a tropical tree assemblage. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 28 (2017) 78–86

Pizo, M. A., Morales, J. M., Ovaskainen, O., & Carlo, T. A. (2021). Frugivory specialization in birds and fruit chemistry structure mutualistic networks across the Neotropics. *The American Naturalist*, 197, 236–249. <https://doi.org/10.1086/712381>

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from [http:// www.r-project.org](http://www.r-project.org)

Ribeiro JF, Walter BMT. 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. Pp. 151-212. In: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF (Eds.). *Cerrado: Ecologia e Flora*. Vol. 1. Brasília, Embrapa Cerrados/Embrapa Informação Tecnológica.

Schaefer, H.M., Schmidt, V. Detectability and content as opposing signal characteristics in fruits. *Proc. R. Soc. Lond. B (Suppl.)* 271, S370–S373 (2004).

Tabarelli, M., Peres, C.A., 2002. Abiotic and vertebrate seed dispersal in the Brazilian Atlantic forest: implications for forest regeneration. *Biol. Conserv.* 106, 165–176.

ANEXOS

Anexo 1 – Variáveis fitossociológicas x eventos de frugivoria

Variável	Eventos de frugivoria Correlação/p-value	N. frutos removidos Correlação/p-value
N. frutos produzidos	0,14/0,53	-0,003/0,98
Densidade absoluta (árvores)	0,06/0,78	-0,07/0,74
Densidade relativa (árvores)	-0,12/0,60	-0,26/0,25
Freq. relativa (árvores)	0,24/0,29	0,10/0,65
N. indivíduos arbóreos	0,06/0,78	-0,07/0,74

Resultados das análises de correlação de Spearman para os dados fitossociológicos e os eventos de frugivoria. A esquerda o valor da correlação e a direita o valor de p.

Anexo 2 – Química dos frutos, atributos morfológicos das plantas e das aves

Química dos frutos	Eventos de frugivoria Correlação/p-value	N. frutos removidos Correlação/p-value
Biomassa do fruto	-0,18/0,44	-0,29/0,21
Polpa seca	0,06/0,80	0,062/0,79
Água	-0,07/0,74	-0,20/0,40
Proteína	-0,01/0,95	0,014/0,95
Lipídio	0,13/0,59	0,07/0,76
Sucrose	0,15/0,54	0,13/0,60
Glucose	0,009/0,97	-0,04/0,85
Frutose	-0,07/0,78	-0,13/0,61
Total Sugar	-0,07/0,77	-0,08/0,74
Energy (kcal)	0,10/0,68	0,10/0,68/0,81
Atributos das plantas		
Diâmetro da semente (mm)	-0,52/0,01	-0,37/0,09

Diâmetro do fruto (mm)	0,22/0,34	0,09/0,70
Compr. semente (mm)	-0,35/0,13	-0,27/0,26
Compr. fruto (mm)	-0,28/0,24	-0,33/0,15
Atributos das aves		
Body mass (birds)	0,10/0,54	-0,09/0,58
Body size (birds)	0,13/0,41	-0,09/0,57
Beak Width	0,07/0,66	-0,16/0,35

Resultados das análises de correlação de Spearman para a química dos frutos, atributos das plantas e das aves quanto aos eventos de frugivoria. A esquerda o valor da correlação e a direita o valor de p.

Anexo 3 – Interações de frugivoria

Espécies de aves	Plantas
<i>Psittacara leucophthalmus</i>	<i>Aegiphila verticillata</i>
<i>Colaptes melanochloros</i>	<i>Annona sp.</i>
<i>Coryphospingus cucullatus</i>	<i>Byrsonima basiloba</i>
<i>Cyanocorax chrysops</i>	<i>Byrsonima intermedia</i>
<i>Cyanocorax critatelus</i>	<i>Campomanesia pubescens</i>
<i>Dacnis cayana</i>	<i>Erythroxylum buxus</i>
<i>Elaenia chiriquensis</i>	<i>Erythroxylum cuneifolium</i>
<i>Elaenia flavogaster</i>	<i>Erythroxylum suberosum</i>
<i>Elaenia obscura</i>	<i>Miconia albicans</i>
<i>Empidonomus varius</i>	<i>Miconia paucidens</i>
<i>Euphonia chlorotica</i>	<i>Miconia rubiginosa</i>
<i>Icterus cayanensis</i>	<i>Miconia stenostachya</i>
<i>Leptotila verreauxi</i>	<i>Myrcia splendens</i>
<i>Myiarchus ferox</i>	<i>Myrcia guianensis</i>
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	<i>Ocotea pulchella</i>
<i>Myiodynastes maculatus</i>	<i>Ouratea spectabilis</i>
<i>Myiozetetes similis</i>	<i>Pera glabrata</i>
<i>Nemosia pileata</i>	<i>Schefflera vinosa</i>
<i>Patagioenas cayennensis</i>	<i>Siparuna guianensis</i>
<i>Patagioenas picazuro</i>	<i>Virola sebifera</i>
<i>Penelope superciliaris</i>	<i>Xylopia aromatica</i>

Phaeomyias murina
Pipraeidea melanonota
Pitangus sulphuratus
Ramphocelus carbo
Schistochlamys ruficapillus
Stilpnia cayana
Tersina viridis
Thraupis sayaca
Turdus amaurochalinus
Turdus leucomelas
Turdus rufiventris
Tyrannus melancholicus
Tyrannus savana
Zonotrichia capensis

Espécies de aves e plantas que tiveram interação de frugivoria no Cerrado.

Outras atividades desenvolvidas durante o período de vigência da bolsa (01/10/23 á 31/07/2024)

1. Co-orientação

Co-orientei a aluna de mestrado Jéssica Gonçalves dos Santos (Fig. 1), orientanda da minha supervisora e que desenvolve a dissertação “Fenologia da frutificação de plantas do Cerrado: uma revisão sistemática”. Participei de reuniões semanais com a aluna, auxiliando-a na escrita do texto, desenvolvimento das análises estatísticas, correção do texto para a qualificação e da dissertação e discussão do tema de trabalho.

Documento nº : Protocolo 885/2024

Interessado(a) : **Jéssica Gonçalves dos Santos**

Assunto : Inclusão de coorientador

DELIBERAÇÃO DO CONSELHO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, EVOLUÇÃO E BIODIVERSIDADE Nº 92/2024

O Conselho do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Evolução e Biodiversidade do Instituto de Biociências de Rio Claro, em sua 34ª Reunião Ordinária, realizada em 28/06/2024, DELIBEROU, por unanimidade:

APROVAR a inclusão da Dra. Daiane Cristina Carreira co-orientadora da interessada.

Atenciosamente,

Felipe Marchi

Assistente Administrativo II

UNESP - STPG - IB Rio Claro

(19) 3526-9602

Figura 1. Documento de comprovação da vinculo de co-orientação.

2. Organização de atividades do Laboratório de Fenologia

- Organizei e dei um treinamento para os estudantes e pesquisadores quanto ao uso de ferramentas de gerenciamento de projetos (Aplicativo Trello), bem como organizei o painel de atividades do Laboratório dentro do Trello;
- Participei da organização da Flash Talks, que é um evento para apresentação dos projetos que estão sendo conduzidos dentro do Laboratório de Fenologia à pesquisadores e estudantes visitantes do laboratório. Nele organizamos os ciclos de apresentações, contato com os participantes e organização do evento.

3. Participação em atividades internas do Laboratório

- Participei de atividades de campo, junto a uma área de estudo do Lab. (Cerrado de Itirapina), no qual a supervisora monitora há 15 anos. Nele, ajudei nos campos desde a organização até a coleta de dados fenológicos.

4. Organização de Simpósio (comprovante em anexo I)

Particpei como organizadora junto a supervisora do Laboratório, na elaboração de um Simpósio para o congresso em Frugivoria e Dispersão de sementes “Frugivores and Seed Dispersal Symposium”, que foi aceito. Na organização, escrevemos e submetemos a proposta, contactamos, convidamos e orientamos os participantes quanto à temática proposta. Abaixo, envio os detalhes do Simpósio.

Symposium: Fruit phenology and the maintenance and stability of plant-frugivore interactions in the Anthropocene

Lead organizer: Patricia Morellato and Daiane C Carreira

Speakers:

Dr. Patricia Morellato

CBioClima – Center for Research on Biodiversity Dynamics and Climate Change. UNESP - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. **Tropical Fruit Phenology and Climate Change: where does our knowledge stand?**

Dr. Vanessa Staggemeier. Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. **Frugivory patterns in the American Myrtaceae: implications for conservation**

Dr. Daiane C. Carreira. UNESP - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. **Dynamics of Frugivory Networks by Birds and Resource Use in the Cerrado.**

Dr. Diego Fernando Escobar - Instituto Tecnológico da Vale (ITV-DS). **Timing of seed dispersal, dispersal syndrome and seed dormancy in cerrado: solutions to face seasonality and climate change threats.**

Dr. Irene Mendoza - Estación Biológica de Doñana. **New frontiers in automated phenological monitoring of fleshy-fruit bearing species and frugivorous birds: insights into mismatches**

Description:

Phenology, rooted in ancient observations of nature, reflects humanity's enduring curiosity about the natural world. It embodies our interest in understanding the cyclical patterns of plants, vital not only for food production but also for medicine, craftsmanship, contributing to overall human well-being. The tropics, renowned for their astounding plant diversity across all life forms, showcase a profound interdependence between plants and animals, particularly in pollination and seed dispersal, thereby delivering essential ecosystem services. Yet, unraveling tropical phenology remains as intricate as studying tropical diversity itself. Although regarded as the easiest and simplest way to detect and track climate change effects on nature, in tropical systems, tracking the temporal responses of plants to climate poses a formidable challenge due to the high species diversity and the lack of a resting season. Attributing phenological shifts to climate change has proven elusive, with only a few studies successfully linking tropical biome

phenology to climate change. Recent reports, including the IPCC WGII and the UNEP Frontiers Report, underscore the dearth of information in this area. They emphasize the urgent need for further investigation, highlighting the importance for plant-animal mutualistic interactions and the potential for mismatches under the changing climate. In this symposium we explore the knowledge regarding fruiting phenology and fruit-frugivore interactions across the tropics in the Anthropocene. We aim to discuss the actual knowledge and gaps regarding fruiting phenology and frugivores and seed dispersal interactions, and the ultimate consequences for frugivores and biodiversity conservation. We invite you to participate and bring ideas on the roots and paths to leverage our understanding of fruiting time and consumers interactions and the ecological and evolutionary implications for the conservation of tropical ecosystems.

5. Apresentação oral dos resultados do projeto em Congresso (comprovante em Anexo II)
Frugivory and Seed Dispersal Symposium
Ilhéus-BA

Abstract: Dynamics of Frugivory Networks by Birds and Resource use in the Cerrado

Daiane Carreira¹, Maria Gabriela Gutierrez Camargo¹, André de Camargo Guaraldo², Leonor Patrícia Morellato¹

1. CBioClima Center for Research on Biodiversity Dynamics and Climate Change, São Paulo State University (UNESP), Rio Claro, São Paulo - Brazil
2. Laboratório de Ecologia Comportamental e Ornitologia, Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná - Brazil.

The Brazilian Cerrado is the most biodiverse savanna in the world, with a high richness of native and endemic species, which is reflected in the complexity of mutualistic relationships among frugivores and plants. Birds are the main group of seed dispersers in the Cerrado and are essential for favoring vegetation regeneration and conservation. We evaluated how bird-plant interaction networks are structured in a cerrado woodland (cerrado *sensu stricto*) in Southeastern Brazil. We used fortnightly phenological observations of fruit productivity (direct fruit counting) and bird frugivory data collected over 12 months. We found 312 interactions (Shannon diversity – 3.63) involving 21 plant species and 37 bird species. The networks presented a moderately modular structure (0.41) and a tendency towards nestedness (NODF 36.3). The species with the highest interaction strength were *Turdus leucomelas* and *Thraupis sayaca*, and the plants with the highest degree of interaction were *Miconia albicans* and *Miconia rubiginosa*, both among the most abundant plant species. For our next analyses, we are using a 15-year long dataset on fruit phenology at the same site to understand how climate change may be affecting fruit availability for frugivore birds and consequently, how this would impact the dynamics of bird-plant interaction networks in the Cerrado. Our results contribute to a better understanding of the impacts of climate change on seed dispersal processes facilitated by birds in tropical savannas and the implications for restoration and conservation.

Anexo 1 – Organização do Simpósio



Anexo 2 – Participação e apresentação em Congresso



