

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE ANIMAL

REDE DE INTERAÇÕES ENTRE AVES FRUGÍVORAS E PLANTAS EM  
ÁREA DE FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL, RS

SANTA MARIA, RS  
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE ANIMAL

Verônica Azzolin Fontanari

**REDE DE INTERAÇÕES ENTRE AVES FRUGÍVORAS E PLANTAS  
EM ÁREA DE FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL, RS**

Santa Maria, RS  
2018

**Verônica Azzolin Fontanari**

**REDE DE INTERAÇÕES ENTRE AVES FRUGÍVORAS E PLANTAS EM ÁREA DE  
FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL, RS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Biodiversidade Animal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Biodiversidade Animal**.

Orientador: Prof. Dr. Everton Rodolfo Behr

Santa Maria, RS  
2018

Fontanari, Verônica  
Rede de interações entre aves frugívoras e plantas em  
área de Floresta Estacional Decidual, RS / Verônica  
Fontanari.- 2018.  
73 p.; 30 cm

Orientador: Everton Rodolfo Behr  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de  
Pós-Graduação em Biodiversidade Animal, RS, 2018

1. frugivoria por aves 2. rede mutualística 3.  
floresta estacional decidual 4. métricas de rede I.  
Rodolfo Behr, Everton II. Título.

Verônica Azzolin Fontanari

**REDE DE INTERAÇÕES ENTRE AVES FRUGÍVORAS E PLANTAS EM ÁREA DE  
FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL, RS**

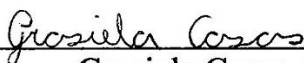
Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Biodiversidade Animal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Biodiversidade Animal**.

**Aprovado em 26 de março de 2018:**



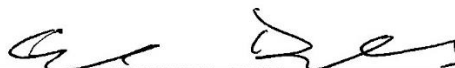
---

Everton Rodolfo Behr, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)



---

Grasiela Casas, Dr<sup>a</sup>. (UESB)



---

Cristian de Sales Dambros, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS  
2018

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família e aos amigos que estiveram comigo nesta caminhada. O apoio de cada um foi fundamental para que este projeto se concretizasse, portanto, deixo aqui o meu muito obrigada a todos! Também dedico este trabalho as nossas aves e nossas florestas tantas vezes negligenciadas. Que os conhecimentos contidos aqui, possam vir a servir para a conservação da natureza que nos cerca.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer de coração...

Aos meus familiares, pelo apoio e pela alegria de participarem comigo deste momento da minha vida. Em especial a minha mãe Eliane, obrigada pelas inúmeras horas ao telefone escutando pacientemente minhas reclamações, angústias, dúvidas, meus medos e meus desabafos... Obrigada também por sempre saber o que dizer, me dando força e coragem para seguir o meu trabalho! Te amo! Ao meu namorado Jonas, que apareceu em meio a este caos maravilhoso que se chama mestrado. Obrigada meu amor pelo teu apoio, carinho, paciência e por sempre cuidar de mim. Assim como eu, as imagens e gráficos dessa dissertação agradecem muito pelo seu auxílio nas edições!

Quero agradecer também aos velhos e novos amigos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. As minhas queridas colegas de mestrado (Érica, Katrine, Micheli, Laiane e Sheila). Ao colega Jonas Rossoni (por quebrar vários galhos!). A Valéria Vieira, Ane Bender, Débora Postay, Mariana Sarturi, Simone Quevedo, Jana Noronha, Rauter Ruben e Diva Cella pela amizade e parceria de campo. A minha amiga do coração Eloísi Paim (*in memoriam*), obrigada por ter compartilhado tantos momentos bons comigo minha passarinha! Em especial a minha amiga Sheila Cassenote, meu presente do mestrado! Obrigada pela tua amizade sincera, tua paciência, disposição e alto astral! Ao amigo João Cezar, pelas conversas e conselhos e por ter compartilhado no mínimo 50 trilhas comigo! Perdoem se esqueci de alguém! Obrigada a todos os meus companheiros e companheiras de campo por não se deixarem assustar pelas intempéries do tempo e pelas adversidades encontradas na floresta... Que passaram pelo frio, pelo calor, pela chuva, pelo sol de rachar, pela geada, pela cerração, pelo vento de cortar o rosto, pelas inúmeras subidas (e que subidas...), que atravessaram córregos, se enroscaram em arames farpados, teias de aranha, que foram retirando as teias pra mim (obrigada seu João, sem palavras!), que comeram frutinhas do pé, que viram paisagens deslumbrantes, animais diferentes, “animais raros”, árvores imensas, algumas curiosas, que vibraram comigo a cada nova descoberta, que dividiram o lanche de toda trilha, meu muito obrigada!!!!

Agradeço a Anna Zimmermann, ao professor Roberto Cassol e João Cezar pela ajuda na escolha das trilhas e por todo “suporte técnico” fornecido! A professora Nêmora Pauletti pelo fornecimento de algumas medidas de bico e ao professor Alberto Senra pelos auxílios e ideias de sempre! O agradecimento se estende aos moradores das localidades onde realizamos

a coleta de dados. Ao senhor Aita, proprietário das terras da trilha Val de Buia; a Sandra, Neuza e Vera pela receptividade, conversas e cafés maravilhosos na trilha Mais Bela, ao professor Frederico Fleig e a família moradora da trilha Val Feltrina que gentilmente nos cedeu passagem e um lugar seguro para deixar o carro. E não poderia deixar de fora, de maneira alguma, meus amigos e companheiros de quatro patas de Val Feltrina! Sempre a nossa espera para um abraço com muito carinho e patas embarradas...

Agradeço a equipe do Herbário da Engenharia Florestal, em especial Gabriel Orso e Matheus Gazzola, que com muita boa vontade e competência sempre me ajudaram a identificar as espécies de plantas consumidas pelas aves! Por fim, gostaria de deixar meu muito obrigada ao professor Everton Behr e a professora Marilise Krügel pela amizade, orientação, paciência e conhecimentos. A Universidade Federal de Santa Maria, e ao curso de Pós-Graduação em Biodiversidade Animal pela oportunidade de vivenciar essa experiência e ter a possibilidade de evoluir profissionalmente. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos.



## RESUMO

### REDE DE INTERAÇÕES ENTRE AVES FRUGÍVORAS E PLANTAS EM ÁREAS DE FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL, RS

AUTORA: Verônica Azzolin Fontanari

ORIENTADOR: Everton Rodolfo Behr

Frugivoria e dispersão de sementes são exemplos de mutualismos, configurando um processo vital para as populações vegetais que tem seu ciclo reprodutivo ligado à dispersão zoocórica. O conjunto de interações entre estes organismos gera uma complexa rede e a compreensão de como ela está estruturada revela os mecanismos que moldam essas interações na natureza. O objetivo deste estudo foi caracterizar o padrão estrutural da rede de interações entre aves frugívoras e plantas no município de Silveira Martins, Rio Grande do Sul. Três transectos, totalizando 9,1 km, foram percorridos em áreas de Floresta Estacional Decidual, onde foram dispendidas 540 horas de observações. Foram analisadas métricas tradicionais ao estudo de redes como Índices de Importância, conectância, distribuição do grau, aninhamento, modularidade e robustez. A rede mutualística observada constituiu-se de 86 espécies, responsáveis por 201 interações. O Índice de Conectância foi de  $C = 0,10$ . Aves e plantas generalistas compuseram o núcleo denso da rede de interações, apresentando os maiores valores de  $k$ . Entre elas se pode destacar *Tachyphonus coronatus* ( $k = 14$ ), *Turdus amaurochalinus* ( $k = 13$ ), *Turdus rufiventris* ( $k = 13$ ) e *Turdus albicollis* ( $k=12$ ), as quais também apresentaram os maiores Índices de Importância. Entre as espécies vegetais destacam-se *Cabralea canjerana* ( $k = 21$ ) e *Ficus luschnathiana* ( $k = 20$ ). A distribuição do grau foi explicada principalmente pela lei de potência truncada e modelo exponencial, as quais sugerem extremos, onde algumas espécies se conectam preferencialmente a nós já bem conectados, enquanto outras realizam ligações de forma aleatória. O padrão aninhado permite inferir que existe a presença de espécies generalistas formando um núcleo denso de interações onde o restante da comunidade está conectado, e demonstra também uma maior resistência da rede a extinções aleatórias de espécies. A ausência de modularidade indica a falta de especificidade entre as espécies participantes. O índice de robustez sugere que a rede é mais resistente a extinções aleatórias do que a extinções seletivas (do maior grau para o menor). A compreensão de como a rede mutualística está estruturada em áreas de Floresta Estacional Decidual e quais são suas fragilidades poderá auxiliar no manejo e ações de restauração de áreas naturais.

Palavras-chave: frugivoria, rede mutualística, floresta atlântica, métricas de rede.

## ABSTRACT

### NETWORK OF INTERACTIONS BETWEEN PLANTS AND FRUGIVOROUS BIRDS IN AREA OF DECIDUOUS SEASONAL FOREST, RS

AUTHOR: Verônica Azzolin Fontanari

ADVISOR: Everton Rodolfo Behr

Frugivory and seed dispersal are examples of mutualisms, configuring a vital process for plant populations which have their reproductive cycle linked to zoochory dispersal. The set of interactions between these organisms creates a complex network and the understanding how it is structured reveals mechanisms that shape these interactions in nature. The aim of this study was to investigate the network structural pattern of the interactions between frugivorous birds and plants in the municipality of Silveira Martins, Rio Grande do Sul. Three transects were run, in areas of Deciduous Seasonal Forest, totalizing 9.1 km and 540 hours of observations. Traditional network metrics were analyzed to networks study such as Importance and Connectance Indexes, degree distribution, nestedness, modularity and robustness. The mutualistic network observed consisted of 86 species, responsible for 201 interactions. The Connectance Index was  $C = 0.10$ . Birds and plants generalists made up the dense nucleus of the network of interactions, presenting the highest values of  $k$ . Among them, we can highlight *Tachyphonus coronatus* ( $k = 14$ ), *Turdus amaurochalinus* ( $k = 13$ ), *Turdus rufiventris* ( $k = 13$ ) and *Turdus albicollis* ( $k = 12$ ), which also presented the highest Importance Indices. Among the plant species are *Cabralea canjerana* ( $k = 21$ ) and *Ficus luschnathiana* ( $k = 20$ ). The degree distribution was explained mainly by truncated power law and exponential model, which suggest extremes, where some species preferably connect to already well connected nodes, while the others make random connections. The nested pattern allows to infer that the presence of generalist species forms a dense nucleus of interactions where remaining community is connected, and also demonstrates a greater network resistance to random species extinctions. The lack of modularity indicates the lack of interactions specificity between the species in the network. The robustness index suggests that the network is more resistant to random extinctions than to selective extinctions (from highest to lowest degree). The understanding of how the mutualistic network is structured in areas of Deciduous Seasonal Forest and which its fragilities assist in the management and actions of restoration of natural areas.

Keywords: frugivory, mutualistic network, Atlantic forest, network metrics

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Delimitação do município de Silveira Martins, região central do Estado do Rio Grande do Sul (A). Delimitação dos transectos percorridos, T1: Transecto Val Fetrina; T2: Transecto Val de Buia; T3: Transecto Mais Bela (B)..... 25
- Figura 2 - Diferentes fitofisionomias e ambientes encontrados ao longo dos transectos localizadas no município de Silveira Martins, RS. Ambiente florestal (A); borda de floresta (B); ambiente antropizado (C). ..... 28
- Figura 3 - Curva do coletor para o período amostral de 13 meses nos transectos percorridos. Em linha contínua a curva do coletor e em linhas pontilhada e tracejada os limites inferior e superior (desvio padrão). ..... 33
- Figura 4 – Representação através de grafo bipartido da rede observada de interações entre aves frugívoras (retângulos cor-de-rosa) e plantas (retângulos verdes)..... 34
- Figura 5 – Número de interações das espécies vegetais e de aves para a rede observada. .... 35
- Figura 6 – Valores do Índice de Importância para as principais espécies de aves presentes na rede de interações. Tu\_am: *Turdus amaurochalinus*, Ta\_co: *Tachyphonus coronatus*, Tu\_ru: *Turdus rufiventris*, Eu\_ch: *Euphonia chlorotica*, Zo\_ca: *Zonotrichia capensis*, Tu\_al: *Turdus albicollis*, Pe\_ob: *Penelope obscura*, Sa\_si: *Saltator similis*, Ca\_ha: *Cacicus haemorrhous*, Ca\_ch: *Cacicus chrysopterus*. ..... 36
- Figura 7 – Valores do Índice de Importância para as principais espécies de plantas presentes na rede de interações. Ca\_ca: *Cabralea canjerana*, Fi\_lu: *Ficus luschnathiana*, Tr\_mi: *Trema micrantha*, Ch\_al: *Chamissoa altissima*, Ph\_pi: *Phoradendron piperoides*, Er\_ja: *Eriobotrya japonica*, Mo\_ni: *Morus nigra*, Za\_rh: *Zanthoxylum rhoifolium*, My\_um: *Myrsine umbellata*, Al\_ed: *Allophylus edulis*. ..... 36
- Figura 8 – Distribuição acumulativa do grau (número de links por espécie) para as espécies vegetais (A) e aves (B) da rede observada de interações. As linhas representam os ajustes aos diferentes tipos de distribuição. Em cinza a lei de potência, em rosa a lei de potência truncada e em verde o ajuste exponencial. .... 37
- Figura 9 – Matriz de interações representando o aninhamento da rede. Cada quadrado preto representa a presença de interação entre as espécies. As linhas e colunas representam as aves e plantas, respectivamente, e estão organizadas na ordem de maior para menor grau..... 38
- Figura 10 – Índice de Robustez (R) a extinções acumuladas de espécies: extinção seletiva de aves (ordem de extinção dada pelo grau  $k$ ) em A; extinção seletiva de plantas (ordem de

extinção dada pelo grau $k$ ) em B; extinção aleatória de aves em C; extinção aleatória de plantas em D.....	39
Figura 11 – Representação através de grafo bipartido da rede preenchida de interações entre aves frugívoras (retângulos cor-de-rosa) e plantas (retângulos verdes).....	41
Figura 12 – Número de interações das espécies vegetais e de aves para a rede preenchida. ...	42
Figura 13 – Distribuição acumulativa do grau (número de links por espécie) para as espécies vegetais (A) e aves (B) da rede observada de interações. As linhas representam os ajustes aos diferentes tipos de distribuição. Em cinza a lei de potência, em rosa a lei de potência truncada e em verde o ajuste exponencial. ....	43
Figura 14 – Matriz de interações representando o aninhamento da rede preenchida. Cada quadrado preto representa a presença de interação entre as espécies. As linhas e colunas representam as aves e plantas, respectivamente, e estão organizadas na ordem de maior para menor grau.....	44
Figura 15 – Índice de Robustez (R) a extinções acumuladas de espécies para a rede preenchida: extinção seletiva de aves (ordem de extinção dada pelo grau $k$ ) em A; extinção seletiva de plantas (ordem de extinção dada pelo grau $k$ ) em B; extinção aleatória de aves em C e extinção aleatória de plantas em D. ....	45

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Características gerais dos transectos localizadas no município de Silveira Martins, RS.....	28
--	----

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.2	OBJETIVOS.....	18
2	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	19
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	25
3.1	Área de estudo .....	25
3.2	Métodos.....	27
4	<b>RESULTADOS</b> .....	32
4.1	Espécies vegetais consumidas pela avifauna .....	32
4.2	Avifauna frugívora .....	32
4.3	Rede de interações observada .....	33
4.4	Rede de interações com matriz preenchida.....	40
5	<b>DISCUSSÃO</b> .....	46
6	<b>CONCLUSÃO</b> .....	52
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	51
	<b>APÊNDICE A</b> .....	62
	<b>APÊNDICE B</b> .....	66

## 1 INTRODUÇÃO

Relações mutualísticas interespecíficas são aquelas que resultam em benefício mútuo para as espécies participantes (HERRE et al., 1999), sendo a frugivoria e a dispersão de sementes bons exemplos. O consumo de frutos fornece sustento nutricional aos animais, enquanto a dispersão de suas sementes configura um processo vital para as populações vegetais que tem seu ciclo reprodutivo fortemente relacionado à dispersão zoocórica (JORDANO, 1992). Muitas espécies vegetais presentes nas florestas tropicais dependem da fauna para dispersar suas sementes, e 50 a 75% de suas espécies arbóreas produzem frutos carnosos que atuam na atração desses animais, principalmente aves e mamíferos (HOWE; SMALLWOOD, 1982). O conjunto de interações entre estes organismos gera uma complexa rede mutualística que permitirá a longo prazo a regeneração natural destas florestas (FORUP et al., 2008).

O estudo de redes mutualísticas tem como propósito compreender e revelar padrões estruturais, bem como agregar informações sobre os mecanismos que moldam essas interações na natureza (JORDANO; BASCOMPTE; OLESEN, 2003; GUIMARÃES et al., 2006; BASCOMPTE; JORDANO; OLESEN, 2006; BASCOMPTE; JORDANO, 2007; SILVA et al., 2007). Podem ser citadas como métricas tradicionais no estudo de redes a conectância, a distribuição do grau, o aninhamento e a modularidade.

Essas redes são descritas a partir de um grafo bipartido que demonstra as interações (*links*) entre dois conjuntos de espécies, como plantas e animais, onde cada indivíduo é um nó (BASCOMPTE; JORDANO, 2006). O número de conexões que uma espécie irá estabelecer com outras é denominado grau ( $k$ ) (GUIMARÃES JR, 2009; TYLIANAKIS et al., 2010; ARCE, 2014) e redes mutualísticas costumam apresentar uma alta frequência de nós com pouquíssimas conexões (especialistas) e alguns nós bastante conectados (generalistas) (JORDANO; VÁZQUEZ; BASCOMPTE, 2009). Os padrões de interação podem ser mediados por fatores biológicos e a abundância das espécies pode afetar a ocorrência e a frequência das interações. Portanto, espécies mais abundantes tem tendência a apresentar mais conexões do que espécies raras (VÁSQUEZ et al., 2009).

Para fins de esclarecimentos conceituais, neste estudo serão adotadas duas definições para espécies especialistas e generalistas. Quando os termos em questão forem utilizados dentro das métricas de rede, eles irão designar diferenças no número de interações entre as espécies, sendo generalistas aquelas que conseguem se conectar a muitas outras espécies, e especialistas aquelas que apresentam um número reduzido de conexões (JORDANO; VÁZQUEZ; BASCOMPTE, 2009). Com relação a ecologia e hábito alimentar das aves serão denominadas

frugívoras especialistas aquelas que se alimentam principalmente de frutos e são totalmente dependentes destes pelo menos durante uma fase de sua vida. Aves generalistas ou oportunistas apresentam dieta mista (HOWE; ESTABROOK, 1977), variando entre frutos, artrópodes, grãos e outros vertebrados (SICK, 1997). Em relação as espécies vegetais, serão diferenciadas em especialistas e generalistas de acordo com as suas características fenológicas e morfológicas, bem como pelo seu sistema de dispersão de sementes (SNOW, 1971).

O aninhamento é um padrão de destaque entre redes mutualísticas (BASCOMPTE et al., 2003). Redes aninhadas são caracterizadas por apresentarem um grupo denso de espécies generalistas, nas quais o restante da comunidade estará ligado (BASCOMPTE; JORDANO, 2006). Também possuem um padrão assimétrico, onde especialistas irão interagir somente com generalistas (TYLIANAKIS et al., 2010). Esta estrutura permite que mesmo que haja o desaparecimento de uma espécie especialista que polinizava ou dispersava determinada planta, estas espécies ainda consigam ser visitadas por outros indivíduos generalistas garantindo assim sua reprodução e dispersão (BASCOMPTE; JORDANO; OLESEN, 2006; MEMMOTT; WASER; PRICE, 2004). Portanto, o aninhamento funciona como um amortecedor a extinções secundárias (TYLIANAKIS et al., 2010).

Redes aninhadas geralmente são coesas, pois contam com pequenos conjuntos de espécies generalistas formando núcleos, que conduzem a uma grande quantidade de interações (BASCOMPTE; JORDANO, 2006). Palácio et al. (2016) ao estudarem as interações entre aves frugívoras e plantas na Colômbia, encontraram dez espécies de aves e sete de plantas formando o grupo dos “super-generalistas”, os quais representavam 60% do total de interações. A eliminação destas espécies causou um rápido declínio na robustez da rede, levando a uma avalanche de extinções secundárias e gerando um impacto na integridade de toda a comunidade.

A robustez, relacionada a fragilidade da rede, responde a dois aspectos de estrutura e funcionamento dos ecossistemas: a perda de biodiversidade associada a eliminação de espécies (extinções secundárias) e a fragmentação desta em subgrupos desconectados. Redes mutualísticas têm sido descritas como redes ecológicas muito frágeis a eliminação de nós bem conectados, e bastante robustas perante a eliminação de nós pouco conectados (MONTROYA; ROGERS; MEMMOT, 2012).

Redes mutualísticas podem ser modulares, neste caso, há a formação de subgrupos de nós estreitamente conectados (módulos), que se ligam a outros grupos por meio de espécies que interagem além de seus módulos (MELLO et al., 2011). O grau extremo de modularidade pode ser representado por um alto número de sub-redes isoladas no grafo (GUIMARÃES JR, 2009).



No Brasil diversas pesquisas investigam interações mutualísticas entre plantas e seus visitantes, no entanto, a maioria delas envolve somente uma única espécie ou família botânica (por exemplo ZIMMERMANN, 1996; CAZZETA et al., 2002; FRANCISCO; GALETTI, 2002; GRESSLER; PIZO; MORELLATO, 2006; KRÜGEL; BURGER; ALVES, 2006; D'AVILA et al. 2010). Esse conhecimento adquirido individualmente sobre os organismos envolvidos, torna mais difícil a compreensão de como está estruturada uma comunidade como um todo. O estudo em nível de comunidade é fundamental para entender tanto o processo de dispersão de sementes quanto os serviços ambientais associados a ela (MELLO, 2013). São poucos os estudos que abordam interações animal-plantas em nível de comunidade (GALETTI; PIZO, 1996; HASUI; HOFLING, 1998, SILVA et al., 2002; FADINI; MARCO JR., 2004; SCHERER; MARASCHIM-SILVA; BAPTISTA, 2007), sendo o estudo de redes de interações mutualísticas ainda menos investigado no país (BEZERRA; MACHADO; MELLO, 2009; OLIVEIRA; FRANCHIN; JUNIOR, 2015; SILVA et al., 2015). Após realizar uma compilação de estudos sobre frugivoria em ambientes urbanos, Oliveira et al. (2015) encontraram uma rede com estrutura aninhada e não modular. Silva et al. (2015) encontraram resultados similares em áreas em diferentes estágios de regeneração.

Mesmo que as interações entre diversas espécies sejam responsáveis pela dinâmica e diversidade das comunidades e sejam de grande importância para a manutenção da biodiversidade, no Rio Grande do Sul, estudos abordando redes mutualísticas são escassos. Krügel (2004) e Scherer et al. (2007) analisaram as interações entre comunidades de aves e plantas em áreas de Mata Atlântica, utilizando o Índice de Conectância (C) e Índice de Importância (I). Azambuja (2009), também calculou o Índice de Conectância dos mutualismos entre aves e plantas em área de mosaico campos e florestas na Serra do Sudeste, bioma pampa. Porém, essas pesquisas não desenvolveram os cálculos de métricas de rede. Krügel (2004) registrou 45 espécies de aves interagindo com 59 espécies de plantas. Diante das 2.655 possibilidades de interação, o autor registrou 232, obtendo um valor de  $C=0,08$ . *Turdus rufiventris* e *Turdus albicollis* foram as espécies com maior número de interações,  $n= 24$  e  $20$  respectivamente. O Índice de Importância apontou *Pyrrhura frontalis* e *T. rufiventris* como as mais significativas, e entre as plantas estão *Ficus luschnatiana* e *Cupania vernalis*. Scherer et al. (2007) registraram 18 espécies de aves interagindo com 11 espécies de plantas. *T. rufiventris* e *Turdus amaurochalinus* continuaram sendo as espécies com maior grau, sobressaindo-se também na análise do Índice de Importância. De 198 possíveis interações, 50 foram registradas resultando em um Índice de Conectância  $C= 0,25$ . *Ficus organensis* e *Myrsine* spp. foram as

espécies vegetais com maior Índice de Importância. Para Azambuja (2009) apenas 22,6% das possíveis interações foram observadas, resultando em um Índice de Conectância de  $C=0,22$ .

Estudos de redes mutualísticas no Estado, restringem-se ao trabalho de Casas (2016), onde foram apresentados todos os índices e métricas discutidos acima. Foram amostradas duas redes de interação localizadas no bioma Mata Atlântica (Ca1) e no bioma Pampa (Ca2). Para a rede Ca1, utilizando a metodologia de redes de neblina e análise de amostras fecais, foi registrado um total de 112 interações entre aves e plantas. O Índice de Conectância calculado mostrou-se próximo ao encontrado por Scherer et al (2007),  $C=0,23$ . Entre as espécies de aves mais importantes, manteve-se as aves da família Turdidae, com *T. albicollis* e *T. rufiventris* liderando o número de interações e o Índice de Importância. Entre as espécies vegetais destacaram-se *Scutia bruxifolia* e *Ilex sp.* A autora sugere que por se tratar de uma rede de interações pequena, ela manteve-se pouco aninhada e não apresentou modularidade significativa. Para a rede Ca2, a qual possuía mais espécies interagindo, o padrão manteve-se o mesmo: aninhada e não modular.

Alterações da dinâmica espacial pode ocasionar uma mudança no rol de interações do ecossistema, com efeito direto sobre a biodiversidade (THOMPSON, 1997). Os remanescentes de Floresta Estacional Decidual na encosta do Planalto Meridional, têm sofrido forte ameaça e transformação pelo desenvolvimento urbano e rural (KILKA; LONGHI, 2011).

Portanto, torna-se importante a restauração das populações e de serviços ecossistêmicos como a polinização e a dispersão de sementes, gerados pelas espécies e suas interações (MONTROYA; ROGERS; MEMMOT, 2012). Para isso, faz-se necessário o conhecimento de como as espécies interagem na natureza, facilitando e promovendo informações úteis na elaboração de projetos de conservação e restauração destes ecossistemas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Caracterizar o padrão estrutural de uma rede de interações mutualística entre aves frugívoras e plantas em área de Floresta Estacional Decidual no município de Silveira Martins, Rio Grande do Sul.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Registrar as interações de frugivoria entre aves e plantas na área de estudo.
- Determinar o Índice de Conectância e o Índice de Importância das espécies.
- Definir características estruturais da rede como distribuição do grau, aninhamento, modularidade e robustez.
- Complementar a matriz binária original com presença/ausência de interações a partir de dados da literatura, a fim de comparar se os padrões encontrados para a rede observada permanecem após o preenchimento da mesma.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A associação entre animais frugívoros e plantas pode ser considerada uma importante relação mutualística (JORDANO; BASCOMPTE; OLESEN, 2003), com grande relevância para o processo de dispersão de sementes e manutenção da dinâmica das florestas (SCHUPP; JORDANO; GÓMEZ, 2010). O consumo de frutos se desenvolveu principalmente entre os vertebrados (SILVA, 2008), sendo as aves e os mamíferos os mais adaptados a este processo (TIFFNEY, 1986).

A importância das aves manifesta-se em sua abundância, na frequência com que se alimentam de frutos e na sua capacidade de se deslocar por diferentes ambientes (JORDANO, 1994). Sua maior riqueza e abundância ocorre em áreas tropicais (FLEMING, 1991), onde cerca de 25 a 30% das aves podem incluir frutos em suas dietas (PIZO; GALETTI, 2010). O consumo de frutos ocorre com maior frequência na ordem dos Passeriformes, onde 43,3% das famílias incluem frutos em sua dieta (FLEMING, 1991).

A dispersão ocorre com o deslocamento de sementes para locais propícios a germinação. Essa ação pode resultar no sucesso reprodutivo das espécies vegetais consumidas, uma vez que sementes depositadas longe da planta mãe possuem uma maior chance de sobrevivência, seja por características do ambiente ou inerentes a própria semente (PIZO, 1996). Essa relação se torna imprescindível para as florestas tropicais, visto que nestes ambientes 50 a 75% das árvores produzem frutos carnosos, os quais atraem a fauna de aves e mamíferos que os consomem e passam a dispersá-los (HOWE; SMALLWOOD, 1982). Na Floresta Atlântica, 45 a 90% da vegetação arbórea depende dos vertebrados para dispersar suas sementes, e as aves são consideradas dispersoras exclusivas de 40% destas espécies (ALMEIDA-NETO et al., 2008). A investigação sobre a forte relação da avifauna com o processo de dispersão de sementes tiveram início na década de 1960 com estudos pioneiros de Snow (1962, 1965, 1971) e Snow e Snow (1964), McKey (1975) e Howe e Estabrook (1977). A partir destes estudos constatou-se

uma dicotomia entre estratégias de dispersão para plantas: o modelo de baixo investimento ou sistema de dispersão generalista, e o de alto investimento ou sistema de dispersão especialista. No modelo de baixo investimento, as espécies vegetais produzem frutos pequenos e abundantes, porém com pouco conteúdo nutricional. Isso atrai muitas aves oportunistas dispostas a consumi-las e dispersá-las. No modelo de alto investimento, as plantas produzem frutos grandes, com bastante polpa e em menor quantidade. Essas espécies acabam tendo sua dispersão relacionada a aves especialistas, dispostas a ir em busca deste recurso raro, mas excepcionalmente nutritivo (MCKEY, 1975; HOWE; ESTABROOK, 1977). Estes conceitos foram firmados e discutidos através de uma gama de estudos sobre frugivoria realizados no Brasil ao longo dos anos (KRÜGEL; BEHR, 1999; FRANCISCO; GALETTI, 2001; CAZETTA et al., 2002; FRANCISCO; GALETTI, 2002; PASCOTTO, 2006; COLUSSI; PRESTES, 2011; PARRINI; PACHECO, 2011; SCHÚ; MARTINEZ, 2012).

No entanto, essa dicotomia entre sistema especialista e generalista não foi suficiente para explicar os fatores que moldam as interações entre as plantas e seus agentes dispersores, mas serviu para apontar extremos em estratégias adotadas pelas espécies vegetais para dispersão de suas sementes (PIZO, 1996). A partir da década de 1980, pesquisas acerca do processo de coevolução entre as espécies de aves e plantas foi bastante difundido, com destaque para os trabalhos desenvolvidos por Wheelwright e Orians (1982), Howe (1984), Herrera (1985) e Fischer e Chapman (1993).

Interações entre pequenos grupos de espécies acabam formando redes maiores, as quais podem envolver dezenas de espécies de uma mesma comunidade (OLESEN et al., 2007). Em vista disso, questões como interações mutualísticas e até mesmo os processos coevolutivos entre as espécies têm sido analisados e discutidos através de um outro ponto de vista, o qual não leva em conta somente interações entre pares ou grupos de espécies. O que se tem agora é um estudo mais abrangente, onde vegetais e animais interagem formando uma grande rede complexa.

A teoria de redes está presente na ecologia desde a década de 1940, em trabalhos clássicos sobre teias alimentares e fluxos de matéria e energia nos ecossistemas (CAMERANO, 1980; MELLO, 2010). Em se tratando de redes mutualísticas, estudos pioneiros como o de Jordano (1987) e Fonseca e John (1996) foram importantes para o início da caracterização de alguns padrões analisados neste tipo de organização. A partir do ano 2000, Pedro Jordano e Jordi Bascompte foram os responsáveis por promover o retorno intenso das pesquisas sobre interações mutualísticas, integrando-as ao estudo de redes complexas (MELLO, 2010). Desde então, este é um tema bastante investigado por pesquisadores de muitos países.

Redes de interações mutualísticas são formadas por dois conjuntos de elementos (espécies) denominados vértices ou nós e as interações que ocorrem entre eles. Podem ser representadas por dois tipos distintos de grafos: unipartidos ou bipartidos. Em redes unipartidas, as interações podem se estabelecer entre qualquer um dos nós. Enquanto nas redes bipartidas, as conexões irão acontecer somente entre nós de grupos distintos (JORDANO; VÁZQUEZ; BASCOMPTE, 2009). Em grafos que descrevem interações mutualísticas, o número total de interações de uma espécie  $i$  é dado pelo grau (representado por  $k$ ), sendo definido como o número de linhas que incidem sobre o ponto que representa  $i$  (JORDANO; BASCOMPTE; OLESEN, 2003).

Jordano (1987) investigou aspectos das interações tanto para redes de polinização quanto de dispersão. Entre os principais padrões estavam a conectância das espécies, a dependência assimétrica e a coevolução. O autor observou que quando o número de espécies em uma rede mutualística aumenta, o número de interações também aumenta à medida que a conectância decai exponencialmente. Além disto, sistemas de dispersão de sementes geralmente apresentam forte assimetria nas interações, e que esse fato proporciona rotas alternativas de resposta do sistema a perturbações ambientais.

A partir destes estudos, foi observada uma forte heterogeneidade em redes mutualísticas, onde muitas espécies com poucas interações coexistem com um número pequeno de “super-generalistas”, as quais conseguem estabelecer muitas conexões na rede (JORDANO; BASCOMPTE; OLESEN, 2003; JORDANO; BASCOMPTE, 2007). Como espécies de aves “super-generalistas” pode-se citar aquelas que conseguem consumir uma vasta gama de frutos presentes na floresta e, portanto, apresentam muitas interações.

O padrão de rede heterogênea, faz com que a distribuição da frequência de  $k$  apresente um padrão leptocúrtico (JORDANO; VÁZQUEZ; BASCOMPTE, 2009). Essa distribuição provê informações importantes com relação ao processo de formação da rede. A fim de atenuá-la e torná-la comparável, utiliza-se a distribuição acumulativa do grau, a qual denota a probabilidade de uma espécie interagir com uma ou mais espécies, com duas ou mais, e assim sucessivamente (TYLIANAKIS et al., 2010).

Pesquisas com redes complexas tem apontado uma invariância no padrão de distribuição do número de ligações por espécies (distribuição do grau  $k$ ). Estes trabalhos sugerem que as distribuições são regidas ou por uma lei de potência (livre escala), pela lei de potência truncada (ampla escala) ou um modelo exponencial (rápido decaimento) (ALBERT; JEONGH; BARABÁSI, 2000; AMARAL et al., 2000). Em redes regidas por uma lei de potência, novos elementos tendem a entrar na rede e realizar ligação com outros nós já bem conectados

(BARABASI; ALBERT, 1999), mostrando-se bastante importante ao participar de processos evolutivos da rede e atuar na estabilidade e resiliência destas a perturbações (BARABÁSI; ALBERT, 1999; ALBERT; BARABÁSI, 2002). O surgimento de barreiras entre determinadas interações (por atributos biológicos, fenológicos, entre outros) causa uma restrição no crescimento da rede a qual limitará a ligação preferencial dos nós, causando a truncagem da lei de potência (JORDANO; BASCOMPTE; OLESEN, 2003). No modelo exponencial, a adição de novos nós é caracterizada como um modelo aleatório, onde estes entram e interagem com qualquer outro nó com a mesma probabilidade (ERDÖS; RENYI, 1959).

Os primeiros estudos envolvendo distribuição do grau foram realizados com teias alimentares (CAMACHO; GUIMERA; AMARAL, 2002; DUNNE; WILLIAMS, MARTINEZ, 2002; SOLÉ; MONTOYA, 2001; OTTO; RALL; BROSE, 2007), onde descobriu-se que esse tipo de rede não apresenta distribuição de livre escala. No entanto, ainda não existia um padrão básico para as redes mutualísticas. No entanto, Jordano et al. (2003) analisaram a distribuição de frequência de interações para 29 redes de polinização e 24 redes de frugivoria. Houve prevalência tanto do modelo de lei de potência, quanto da lei de potência truncada para o grupo das aves e das plantas.

A truncagem da lei de potência presente em redes mutualísticas, geralmente é interpretada como um indício da presença de características que limitarão as ligações preferenciais entre os nós (GUIMARÃES JR et al., 2007). Essas restrições podem emergir como consequência da presença de “links proibidos”, os quais ocorrem naturalmente e limitam o número de interações em comunidades biológicas (JORDANO; BASCOMPTE, OLESEN, 2003; BASCOMPTE; JORDANO, 2006). Guimarães Jr et al. (2007) revelaram que apesar da contribuição deste bloqueio entre interações advinda de características biológicas, o sistema de truncagem da lei de potência também pode surgir através de fatores alternativos, como a diferença de riqueza de espécies vegetais e animais.

Outra característica interessante descrita para redes mutualísticas é a presença do aninhamento. Consideram-se redes aninhadas aquelas que possuem um grupo de espécies especialistas, as quais estão conectadas a um grupo de espécies generalistas que se conectam a outros generalistas. Isto é, as interações se movem ao longo de um eixo, das mais especialistas para as mais generalistas. Dessa forma, tem-se espécies especialistas (com poucas interações) interagindo apenas com espécies generalistas (com muitas interações) (BASCOMPTE et al., 2003; BASCOMPTE; JORDANO, 2006).

A análise de 27 redes de frugivoria e 25 redes de polinização por Bascompte et al. (2003), buscou compreender como o aninhamento poderia influenciar a persistência a

perturbações nas redes e as interações coevolutivas entre as espécies. As médias dos valores de aninhamento encontradas para os dois tipos de redes não diferiram estatisticamente e, portanto, se pode inferir que os seus processos de montagem independem de sua natureza mutualística. Os autores ainda destacam que comunidades com mais interações do que o esperado, tendem a ser mais aninhadas do que aquelas onde o número de interações manteve-se abaixo do esperado, ilustrando que as redes se tornam mais estruturadas à medida que a complexidade destas aumenta (número de *links*). Também ressaltaram a natureza fortemente coesa das redes aninhadas, onde espécies generalistas irão interagir mais entre si formando grupos densos de interações onde o restante da comunidade estará ligado.

O padrão aninhado confere a rede mutualística uma assimetria de suas interações (BASCOMPTE et al., 2003). Isso sugere que as redes mutualísticas não são organizadas de forma aleatória, tampouco estão organizadas em compartimentos isolados, mas estabelecidas em torno de um núcleo coeso de espécies generalistas (BASCOMPTE, 2009). Acredita-se que o aninhamento e a assimetria de interações possam prover a resistência das redes a perda de espécies (BASCOMPTE; JORDANO, 2007; THÉBAULT; FONTAINE, 2010; VIDAL et al., 2014), e proporcionar alternativas para que as espécies mais raras persistam. Ao retirar um generalista da rede, todos os especialistas podem perder seu único parceiro. Porém, se um especialista é eliminado, pode acontecer de nenhuma outra espécie perder seus parceiros (SILVA et al., 2002; MEMMOT; WASER; PRICE, 2004). Adicionalmente, a estrutura aninhada tende a diminuir a competição e aumentar o número de espécies coexistentes (BASTOLLA et al., 2009).

Algumas redes de mutualismo animal-planta ainda podem se apresentar de maneira modular. Esse padrão exhibe espécies organizadas em grupos “semi-independentes” (MELLO et al., 2011), onde espécies altamente conectadas são cruciais para a organização e conexão dos módulos dentro da rede (OLESEN et al., 2007). As espécies que são detentoras da maioria das interações, fazem parte do grupo das generalistas e são conhecidas como “*hubs*”. Espécies que fazem as conexões entre dois ou mais módulos recebem o nome de conectores (GUIMÉRA; AMARAL, 2005; OLESEN et al., 2007). Em termos conservacionistas, a remoção destes *hubs* e conectores dentro das redes mutualísticas leva a perda e fragmentação de muitos compartimentos e, por conseguinte, uma extinção de espécies em cascata (OLESEN et al., 2007).

É sugerido que a formação destes módulos sofra a influência de processos coevolutivos, mais especificamente especializações tróficas (OLESEN et al., 2007; DUPONT; OLESEN, 2009). Portanto, eles têm sido utilizados para separar guildas e grupos funcionais (GUIMÉRA;

AMARAL, 2005; MELLO et al., 2011), e podem prover informações interessantes a respeito da importância e funcionalidade das espécies para a restauração de ecossistemas (KRAUSE et al., 2003).

Uma questão ainda bastante debatida entre os pesquisadores, é a relação das propriedades estruturais com a robustez das redes mutualísticas. Compreender como elas estão estruturadas é crucial para interpretar como as comunidades biológicas responderão a mudanças globais (FORTUNA et al., 2010). Muitos estudos foram conduzidos para compreender como as teias tróficas respondem a perda de espécies tanto aleatoriamente, quanto em relação ao seu número de *links*. Verificou-se que a distribuição do grau de interações acaba afetando a robustez destas redes (ALBERT; JEONGH; BARABÁSI, 2000; SOLÉ; MONTOYA, 2001; DUNNE; WILLIAMS; MARTINEZ, 2002). Bascompte e Jordano (2006) propuseram uma análise mais profunda para a estrutura de redes mutualísticas, além do grau de interações. Foi sugerido que estruturas aninhadas, por serem mais coesas, tornariam estas redes mais resistentes a perda de espécies tanto pelo processo de aleatorização quanto pela eliminação das espécies de maior grau.

Em pesquisa investigando a estabilidade de comunidades ecológicas a partir da arquitetura de redes mutualísticas e teias tróficas, foram mensurados dois índices de estabilidade: persistência e resiliência da rede. A persistência verifica a proporção de espécies que persistem após o alcance do equilíbrio. Enquanto a resiliência refere-se à velocidade com que a comunidade retorna ao seu equilíbrio após um episódio de perturbação. Os pesquisadores concluíram que a persistência e resiliência de redes mutualísticas estão conectadas a grandes índices de diversidade e de conectância. A presença de modularidade foi um fator negativo para a manutenção da persistência da rede mutualística, enquanto o aninhamento foi responsável por promover o aumento da resiliência. Para redes tróficas foram descritos padrões totalmente inversos, com a diversidade e a conectância diminuindo a persistência e resiliência, a modularidade aumentando a resiliência e o aninhamento diminuindo a persistência (THÉBAULT; FONTAINE, 2010). A modularidade também já foi descrita como uma característica que aumenta significativamente a estabilidade de redes mutualísticas, pois distúrbios em cascata atingem mais lentamente redes modulares do que não modulares (KRAUSE et al., 2003; OLESEN et al., 2007; TYLIANAKIS et al., 2010).

O conhecimento sobre os padrões estruturais das redes mutualísticas permite que se façam inferências a respeito da robustez das interações ecológicas para distúrbios ambientais (JORDANO et al., 2003), o que torna mais eficaz as ações de conservação e de restauração de ecossistemas naturais. No estudo de Silva et al. (2015) conduzido em Floresta Estacional



Semidecidual, em áreas de restauração com 15, 25 e 57 anos os autores avaliaram os efeitos do tempo na riqueza e conectividade das espécies, na estrutura das redes de aves frugívoras e o nível de especialização que estas apresentavam. Foi possível observar a eficácia das ações de restauração, uma vez que a complexidade de interações entre espécies de plantas e animais dispersores aumentou de acordo com o tempo de restauração, e conseqüentemente possibilitou o retorno da funcionalidade do ecossistema.

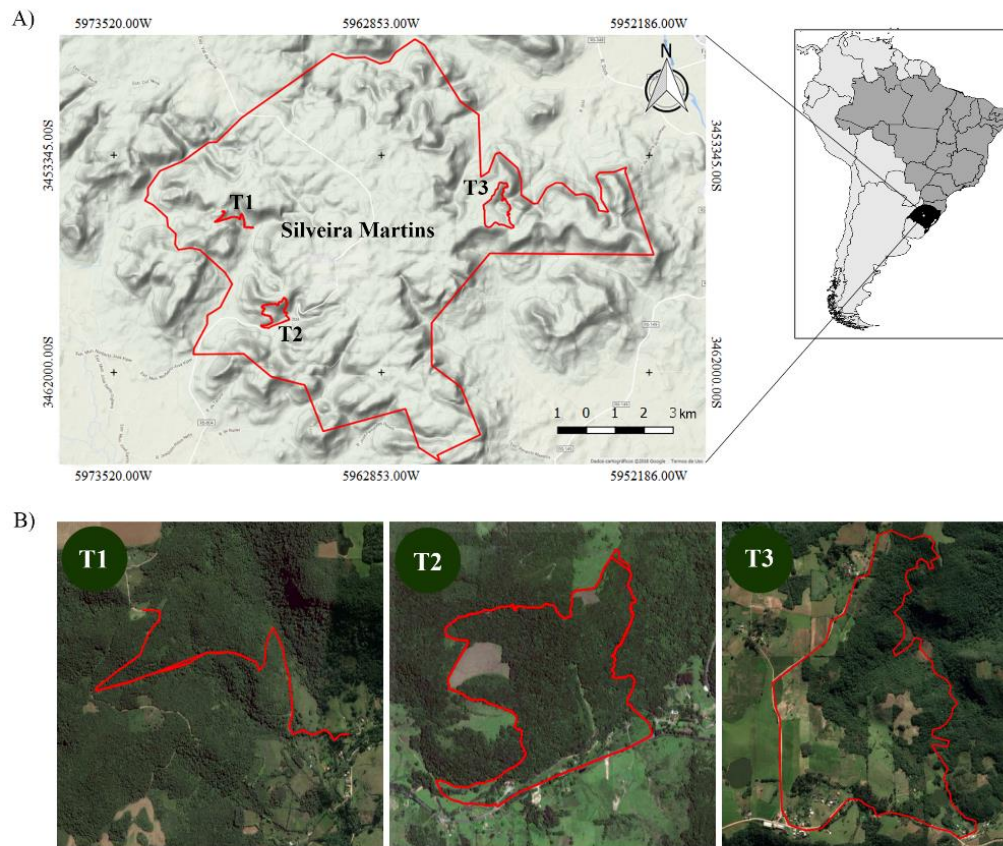
### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 ÁREA DE ESTUDO**

O município de Silveira Martins (29°38'33"S e 53°35'08"W) (Figura 1) está situado na escarpa (ou rebordo) do Planalto Meridional e compõe a Quarta Colônia de Imigração Italiana, na região central do Estado do Rio Grande do Sul. Possui 119 km<sup>2</sup> de território e conta com uma população estimada em 2.481 habitantes (IBGE, 2017). O alicerce de sua economia é a produção agrícola, sendo a batata inglesa o principal produto cultivado (BRENA; LONGHI, 2002).

A uma altitude de 500 m acima do nível do mar, apresenta relevo fortemente ondulado e montanhoso (BRASIL, 1973). De acordo com a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo Cfa, temperado e úmido. A pluviosidade está distribuída ao longo dos meses, com aumento do volume de chuvas nos meses de dezembro a fevereiro. Não possui estação seca e tem verões quentes com temperaturas acima de 22°C (ALVARES et al., 2013).

Figura 1 – Delimitação do município de Silveira Martins, região central do Estado do Rio Grande do Sul (A). Delimitação dos transectos percorridos, T1: Transecto Val Fetrina; T2: Transecto Val de Buia; T3: Transecto Mais Bela (B).



Fonte: Autora.

Desde a sua colonização em 1977 (ZANINI, 2006), a região da Quarta Colônia de Imigração Italiana vem sofrendo intensas interferências antrópicas, principalmente a transformação de áreas florestais em áreas de cultivo, especialmente de batata inglesa, feijão e milho. No início do período de colonização, os agricultores adotaram como método de plantio a rotação de cultura, onde as terras eram cultivadas por até dois anos e depois abandonadas por cerca de seis a oito anos, para que houvesse a “regeneração” natural da área (FARINATTI, 1999). Esse avanço sobre a floresta, a fim de abrir novas áreas de cultivo, acabou por deixar a região com sua cobertura florestal extremamente alterada (BRENA; LONGHI, 2002).

A área de estudo pertence ao domínio da Floresta Estacional Decidual. Esta formação florestal caracteriza-se por apresentar espécies arbóreas de médio e grande porte predominantemente caducifólias, em que 50% dos indivíduos perdem suas folhas em períodos desfavoráveis (IBGE, 2012). No Rio Grande do Sul, esta formação florestal ocorre nas regiões noroeste e central, estando presente em áreas dos rios Jacuí, Ibicuí e Ijuí, bem como na vertente sul da Serra Geral (LEITE; KLEIN, 1990). A Floresta Estacional Decidual atua na escarpa do

Planalto Meridional como um valioso corredor ecológico e significativo fator de formação e manutenção dos solos (PEDRON; DALMOLIN, 2011).

As áreas florestais têm perdido parcelas consideráveis de seus territórios devido ao avanço da agricultura, fazendo com que a paisagem seja formada por fragmentos florestais dividindo espaço com áreas de pastagens e lavouras (PEDRON; DALMOLIN, 2011). Em inventário florestal realizado nos municípios da região da Quarta Colônia de Imigração Italiana (BRENA; LONGHI, 2002), foram encontradas 151 espécies arbóreas e 13 arbustivas. Entre as famílias registradas pode-se ressaltar a maior representatividade para Myrtaceae, Mimosaceae, Rubiaceae e Lauraceae. Em áreas de regeneração natural sobressaem-se espécies como: *Actinostemon concolor*, *Allophylus edulis*, *Casearia sylvestris*, *Eugenia uniflora*, *Trichilia elegans* e *Trichilia clausenii*.

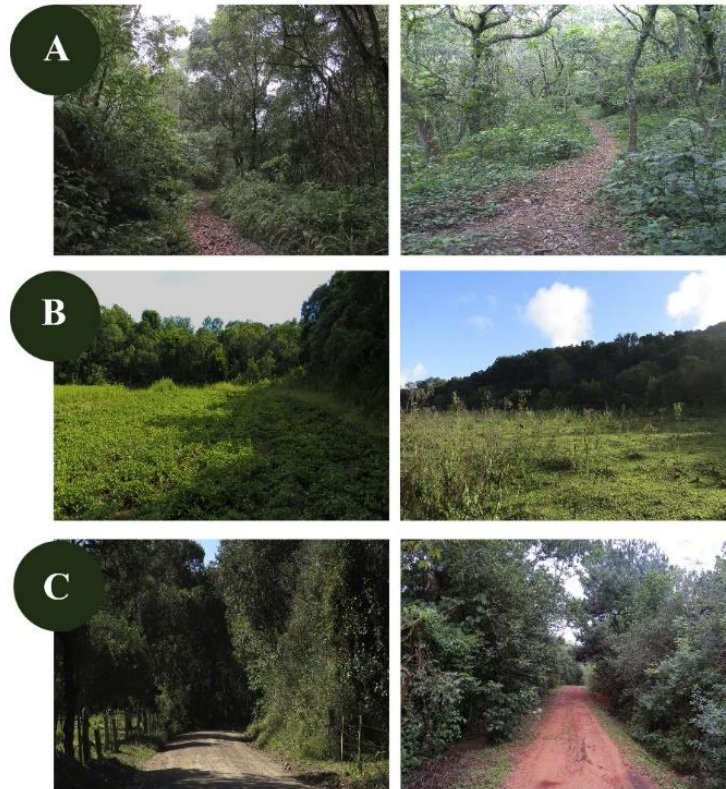
### 3.2 MÉTODOS

A coleta de dados foi conduzida no período de setembro de 2016 a agosto de 2017. Para o registro das interações utilizou-se o método de transecto que consiste em percorrer vagarosamente trilhas pré-estabelecidas, registrando cada evento de alimentação observado (PIZO; GALETTI, 2010). Foram estabelecidos três transectos, e cada um deles foi percorrido três vezes ao mês em intervalos de 10 dias, a fim de amostrar o maior número de interações possíveis.

Os transectos somam um total de 9,1 km inseridos em diferentes fisionomias (Figura 2), como ambiente florestal: região do transecto localizado dentro de uma área de floresta contínua; borda de floresta: ambiente em contato com áreas campestres, pastagens ou lavouras e áreas antropizadas: área de borda próxima a residências e ligada a uma estrada vicinal ainda utilizada para locomoção dos moradores de uma região para outra no interior do município. Para cada transecto foi mensurada a extensão total dos diferentes ambientes, e os dados detalhados estão descritos na Tabela 1.

As observações iniciaram aproximadamente uma hora após o nascer do sol e estenderam-se até por cinco horas. Ao final do período amostral foram dispendidas 540 horas de observações a campo.

Figura 2 - Diferentes fitofisionomias e ambientes encontrados ao longo dos transectos localizadas no município de Silveira Martins, RS. Ambiente florestal (A); borda de floresta (B); ambiente antropizado (C).



Fonte: Autora.

Tabela 1 - Características gerais dos transectos localizados no município de Silveira Martins, RS.

	<b>Transecto Val Feltrina</b>	<b>Transecto Val de Buia</b>	<b>Transecto Mais Bela</b>
Coordenadas*	29°37'74"S e 53°36'49,46"O	29°37'51,74"S e 53°36'18,68"O	29°37'10,23"S e 53°31'17,31"O
Altitude máxima	449 m	435 m	449 m
Altitude mínima	209 m	163 m	227 m
Ambiente florestal	1.952 m	2.058 m	1.791 m
Borda de floresta	461 m	631 m	1.258 m
Ambiente antropizado	120 m	218 m	653 m
Total da trilha	2.533 m	2.907 m	3.702 m

\* Para as coordenadas foi utilizado Datum WGS84.

Fonte: Autora.

### 3.2.1 Registro das interações

Durante o percurso foram anotados os eventos de alimentação (“*feeding bouts*”) o qual é registrado toda vez que uma ave foi observada consumindo um fruto. Se a ave se deslocou para outra fonte alimentar, um novo evento de alimentação foi registrado (GALETTI, 1992). Cada registro representa uma interação entre a espécie de ave e planta envolvidas, ou seja, um *link*.

Todas as espécies vegetais consumidas pelas aves foram identificadas a nível de gênero ou espécie. Para isso, coletou-se amostras botânicas como ramos, folhas e frutos. A identificação foi baseada em literatura (LORENZI, 1992) e consulta a especialistas na área. A categorização das espécies em diferentes grupos sucessionais (pioneira, secundária inicial, secundária tardia) seguiu o proposto por Tabarelli (1992), Carvalho (2003) e Saueressig (2014). A classificação em espécies exóticas segue a lista proposta pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA (2013). A classificação dos tipos de frutos (carnoso indeiscente, carnosamente deiscente e seco deiscente) e os dados relativos ao tamanho dos mesmos, foram obtidos através da literatura (LORENZI, 1992; KRÜGEL, 2004; SAUERESSIG, 2014). Para a classificação do tamanho dos frutos, seguiu-se Ferri (1981), onde frutos pequenos possuem tamanho menor que 10 mm, frutos médios entre 10,1 e 20 mm e frutos grandes com tamanho acima de 20 mm. Os dados sobre os Valores de Importância para as espécies vegetais foram obtidos em Brena e Longhi (2002). Este índice resulta da soma da densidade relativa, frequência relativa e dominância relativa de cada espécie.

Para a observação das interações utilizou-se binóculo Bushnell 8x30. Sempre que possível registrou-se fotograficamente a ave se alimentando, com auxílio de Canon SX 50HS. Para identificação das aves utilizou-se NAROSKY e YZURIETA (2010). A classificação das espécies migratórias seguiu o proposto por Bencke (2001). A nomenclatura científica segue a lista de aves brasileiras normatizada pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (CBRO, 2015). Os dados de massa corporal e tamanho do bico das aves foram obtidos através da literatura (KRÜGEL, 2004; DUNNING, 2008) e consulta a especialistas.

### 3.2.2 Análise dos dados

Os dados obtidos a partir da interação entre aves e plantas formaram uma matriz binária (presença/ausência), na qual as espécies de aves (F) estão localizadas nas linhas e as espécies de plantas (P) nas colunas. Se a espécie de ave  $F_1$  consumiu frutos da planta  $P_1$ , então  $\alpha_{ij} = 1$ ; se

a interação não ocorreu  $\alpha_{ij} = 0$  (JORDANO; VÁZQUEZ; BASCOMPTE, 2009). Para a ilustração do grafo bipartido da rede observada utilizou-se uma matriz ponderada, onde foram atribuídos pesos as espécies (número de *feeding bouts*).

A matriz original (real) foi complementada com os dados de frugivoria de Bello et al. (2017) em áreas da Floresta Atlântica, a fim de deixá-la mais robusta visto que o registro para as lacunas de ausência de interações exige maior esforço amostral. Para esta rede preenchida apenas os dados com presença/ausência foram utilizados.

Para avaliar a suficiência amostral em relação ao número de interações registradas, realizou-se uma curva de acumulação espécies. Para isso, utilizou-se cada mês como uma unidade amostral e as interações novas que surgiram ao longo do período de estudo. A análise foi realizada utilizando-se software Estimates 9.1 (COLWELL, 2013), com 1000 aleatorizações para os meses.

A partir dos dados obtidos foram explorados para ambas as redes (real e preenchida) o número de interações de cada espécie (Grau  $k$ ), os Índices de Conectância e de Importância, bem como métricas tradicionais no estudo de redes, como distribuição acumulativa do grau, aninhamento, modularidade e robustez. Para o cálculo das métricas de rede foram eliminadas *Pyrrhura frontalis* por ser predadora de sementes (SICK, 1997) e *Psidium guajava* por ter sido consumida apenas pela ave citada. Para a rede preenchida, apenas *P. frontalis* não foi computada.

O Índice de Conectância corresponde ao número de interações observadas/número de interações possíveis, com valores variando entre 0 e 1. Para redes bipartidas este valor é calculado utilizando-se a fórmula:  $C = L / (I \times J)$ , onde  $L$  é o número de interações observadas;  $I$  e  $J$  o número de espécies de plantas e aves interagindo, respectivamente (JORDANO, 1987).

Para analisar a importância e a contribuição de cada espécie de ave e planta que compõe a rede de interação, foi utilizado o Índice de Importância, obtido pela fórmula  $I_j = \sum [(C_{ij}/T_i)/S]$ , onde  $C_{ij}$  representa a presença (1) ou ausência (0) de interação,  $T_i$  é o número total de espécies de aves alimentando-se da espécie de planta  $i$  e  $S$  o número total de espécies de plantas incluídas na amostragem. Para estimar a importância relativa das espécies vegetais utilizou-se a mesma equação, onde  $T_i$  representa o número total de espécies de plantas consumidas pela ave  $i$  e  $S$  é o número total de espécies de aves incluídas na amostragem. Os valores variam de um mínimo de 0, para espécies que não se alimentam de plantas incluídas no estudo, e o valor máximo de 1, para espécies de aves que são os únicos consumidores de todas as plantas (MURRAY, 2000), o mesmo aplica-se às espécies vegetais.

A distribuição acumulativa do grau exibe a distribuição da frequência do número de interações por espécie (TYLIANAKIS et al., 2010). Esta foi calculada para as aves e plantas e obtida através da função *degreedist* do pacote *bipartite* do software R (R CORE TEAM, 2017). Foram considerados três modelos explicativos para o melhor desempenho do teste: lei-de-potência,  $P(k) \sim k^{-\gamma}$ ; lei-de-potência truncada,  $P(k) \sim k^{-\gamma} \exp(-k/k_x)$  e exponencial,  $P(k) \sim \exp(-\gamma k)$ ; onde  $\gamma$  é a constante que descreve o decaimento da curva e  $k_x$  a constante que define o truncamento da distribuição (JORDANO; BASCOMPTE; OLESEN, 2003; GUIMARÃES JR., 2010).

Para mensurar o grau de aninhamento da rede de interações utilizou-se o software ANINHADO 3.0 (GUIMARÃES; GUIMARÃES, 2006) com a métrica NODF, a qual é baseada em duas propriedades simples: diminuição de preenchimento e sobreposição emparelhada (ALMEIDA-NETO et al., 2008). Os valores variaram de zero (não aninhados) a 100 (perfeitamente aninhados). A significância de NODF foi estimada através de procedimento de Monte Carlo com 1.000 randomizações, utilizando o modelo nulo CE, o qual assume a probabilidade de uma célula  $aij$  mostrar uma presença tanto nas linhas quanto nas colunas. O valor de p foi definido através da probabilidade de matrizes aleatórias apresentarem valor igual ou maior que a matriz real. Então, quando nenhuma matriz apresentou valor maior de NODF que a matriz real, definiu-se  $p < 0,001$  (MELLO et al., 2011; ARCE, 2014).

A presença ou ausência de modularidade (M) foi calculada através do programa MODULAR (MARQUITTI et al., 2014). Para obter a significância de M utilizou-se o modelo nulo 2 (BASCOMPTE et al., 2003) com 1.000 repetições, o qual gera redes onde a probabilidade de duas espécies interagirem depende do número de interações de ambas espécies na rede observada. Para avaliar a significância do valor encontrado, utilizou-se a mesma metodologia proposta para definir o valor de p para o aninhamento.

O Índice de Robustez (R) define quão rápido uma rede entra em colapso com extinções acumuladas, e este foi calculado para as redes real e preenchida. Valores próximos a zero indicam uma rede pouco robusta enquanto valores próximos a um apontam uma rede robusta e resistente a extinções. Foram utilizadas simulações de remoção cumulativa de vértices e também construídas curvas de extinção demonstrando o número de espécies sobreviventes na rede em relação ao número de espécies que foram removidas. As espécies de aves e plantas foram removidas da matriz real através de dois métodos: eliminação aleatória e eliminação seletiva, com 1.000 randomizações cada. Utilizou-se o grau ( $k$ ) como método para definir a ordem das remoções para extinção seletiva (das espécies com maior grau para as de menor

grau). Para o cálculo do índice, foi utilizado o pacote *bipartite* do *software* R (R CORE TEAM, 2017).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ESPÉCIES VEGETAIS CONSUMIDAS PELA AVIFAUNA

Um total de 42 espécies vegetais (APÊNDICE A) foram consumidas pelas aves frugívoras. As plantas registradas pertencem a 25 famílias botânicas, entre as quais se destacam Moraceae (n = 4) e Sapindaceae (n = 3), que representaram 16% das espécies. Dentro da família Moraceae destaca-se *Ficus luschnathiana*, a qual foi consumida por 20 espécies de aves, contribuindo com 9,5% do total de interações.

A vegetação foi dividida em três grupos sucessionais, desta maneira, 30% fazem parte do grupo de espécies pioneiras, 50% secundárias iniciais e 20% são secundárias tardias.

A maioria das espécies apresenta hábito arbóreo (n = 28), seguida pelo arbustivo (n = 7), ervas hemiparasitas (n = 4), lianas (n = 2) e ervas epífitas (n = 1). Das espécies arbóreas registradas, cinco são exóticas invasoras: *Morus nigra*, *Eriobotrya japonica*, *Hovenia dulcis*, *Melia azedarach* e *Psidium guajava*.

Frutos do tipo carnosos indeiscente (n = 30) foram mais comuns, seguido dos frutos secos deiscentes (n = 6) e carnosos deiscentes (n = 2). O diâmetro dos frutos variou entre dois mm (*Phoradendron piperoides*, *Trema micrantha* e *Chamissoa altissima*) a 21 mm. A maioria das espécies apresentou frutos pequenos (68,7%), de tamanho menor que 10 mm, seguido pelos médios com valores entre 10,1 e 20 mm (25%) e apenas uma espécie (6,2%), *Syagrus romanzoffiana*, apresentou fruto maior que 20 mm.

Os Valores de Importância para as espécies vegetais estão descritos no Apêndice A. Estes valores, que retratam o valor estrutural da floresta, variaram de 0,42 para *T. micrantha* a 15,33 para *Ocotea puberula*.

### 4.2 AVIFAUNA CONSUMIDORA DE FRUTOS

Foram registradas 46 espécies de aves alimentando-se de frutos nos três transectos (APÊNDICE B). Destas, 42 pertencem a ordem Passeriformes e quatro espécies são Não-passeriformes (Galliformes, Trogoniformes, Piciformes e Psittaciformes). Os Passeriformes



estão distribuídos em 16 famílias, destacando-se Thraupidae (n = 11 espécies), Tyrannidae (n = 7) e Turdidae (n = 5), as quais reúnem 50% das espécies presentes na rede.

A maioria das espécies é residente (78,2%) e apenas 10 (21,8%) são migratórias: *Tityra cayana*, *Pachyramphus validus*, *Pachyramphus polychopterus*, *Myiodinastes maculatus*, *Megarynchus pitangua*, *Tyrannus melancholicus*, *Empidonomus varius*, *Vireo chivi* e *Turdus subalaris*.

Houve o predomínio de aves de pequeno porte, com massa corporal de até 50 g (n = 32; 69,56%). Apenas 12 espécies (26,08%) foram consideradas de tamanho médio, com massas variando entre 51 a 300 gramas. Somente *Penelope obscura* e *Ramphastos dicolorus* representaram as aves de grande porte da área de estudo.

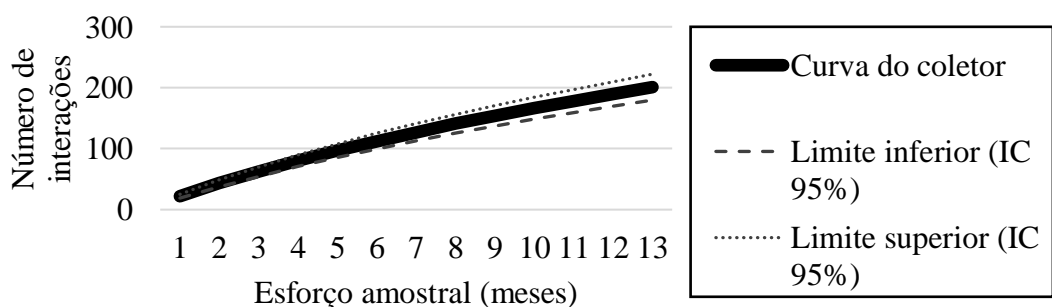
A largura do bico das aves variou de 4,02 mm a 29,8 mm. A maioria das espécies (45,7%) apresentou a largura do bico inferior a 10 mm. O restante das aves possui bico entre 10 e 20 mm (39,1%) e maior que 20 mm (4,3%). Para cinco espécies de aves essa medida não foi encontrada (10,8%).

#### 4.3 REDE DE INTERAÇÕES OBSERVADA

A rede mutualística constituiu-se de 86 espécies (com exclusão de *P. frontalis* e *P. guajava*), responsáveis por 201 interações. Foram registrados ao total 392 eventos de alimentação (“*feeding bouts*”).

A curva do coletor demonstrou que os treze meses de amostragem não foram suficientes para registrar todas as interações possíveis de ocorrer na área de estudo, uma vez que a curva do coletor tende a subir continuamente, não demonstrando tendência a estabilização (Figura 3).

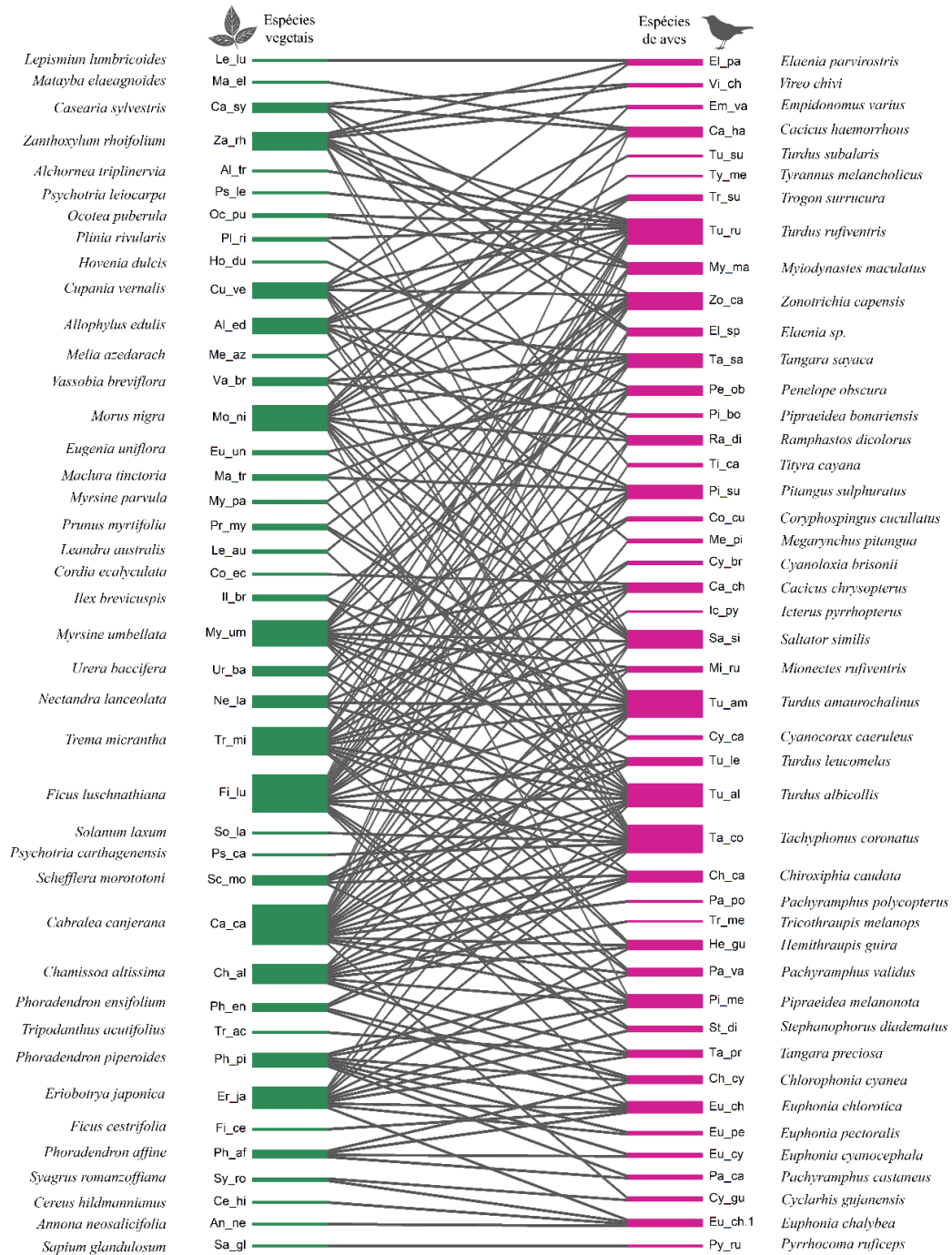
Figura 3 - Curva do coletor para o período amostral de 13 meses nos transectos percorridos. Em linha contínua a curva do coletor e em linhas pontilhada e tracejada os limites inferior e superior (desvio padrão).



Fonte: Autora.

O grafo bipartido ilustra como está formatada a rede de interações gerada para os remanescentes florestais do município de Silveira Martins. A largura dos retângulos simboliza as espécies com maior grau ( $k$ ), ou seja, com maior número de interações (Figura 4).

Figura 4 – Representação através de grafo bipartido da rede observada de interações entre aves frugívoras (retângulos cor-de-rosa) e plantas (retângulos verdes).

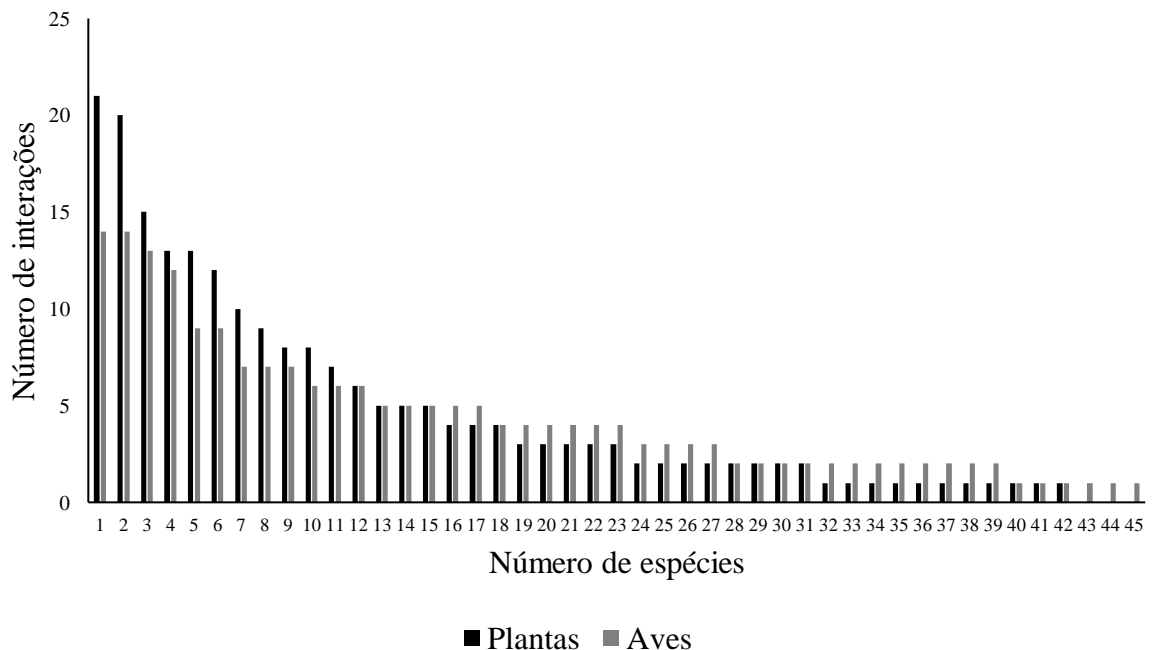


Fonte: Autora.

Espécies das famílias Thraupidae e Tyrannidae foram responsáveis por 39% dos eventos de alimentação e 38% das interações registradas. A família Turdidae, representada pelo gênero *Turdus* (*T. rufiventris*, *T. albicollis*, *T. amaurochalinus*, *T. leucomelas* e *T. subalaris*), foi responsável por 29% dos eventos de alimentação e 20% do total de interações, demonstrando a sua importância na dispersão de sementes na área de estudo. Juntas, estas três famílias foram responsáveis por 68% dos eventos e 58% das interações ocorridas. Espécies migratórias foram responsáveis por 6,37% dos eventos de alimentação e 9,95% das interações.

Dentre as 45 espécies de aves encontradas consumindo frutos (com exclusão de *P. frontalis*), destacam-se com maiores valores de grau  $k$  *Tachyphonus coronatus* ( $k=14$ ), *T. amaurochalinus* ( $k=13$ ), *T. rufiventris* ( $k=13$ ) e *T. albicollis* ( $k=12$ ). Entre as espécies vegetais com mais interações estão *Cabralea canjerana* ( $k=21$ ) representando 9,95% do total de interações da rede, *F. luschnathiana* ( $k = 20$ ), *T. micrantha* ( $k = 15$ ) e *Myrsine umbellata* ( $k = 13$ ) (Figura 5).

Figura 5 – Número de interações das espécies vegetais e de aves para a rede observada.

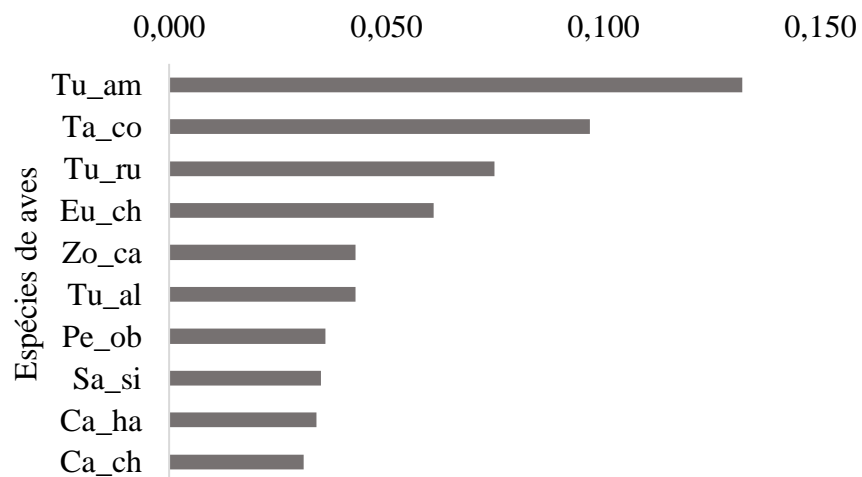


Fonte: Autora.

A rede observada tem um potencial para 1.845 interações entre as espécies de aves e plantas. Dessas, foram registradas 201, originando um Índice de Conectância de 0,10. *T. amaurochalinus* teve destaque no Índice de Importância ( $I = 0,13$ ), seguido por *T. coronatus* ( $I$

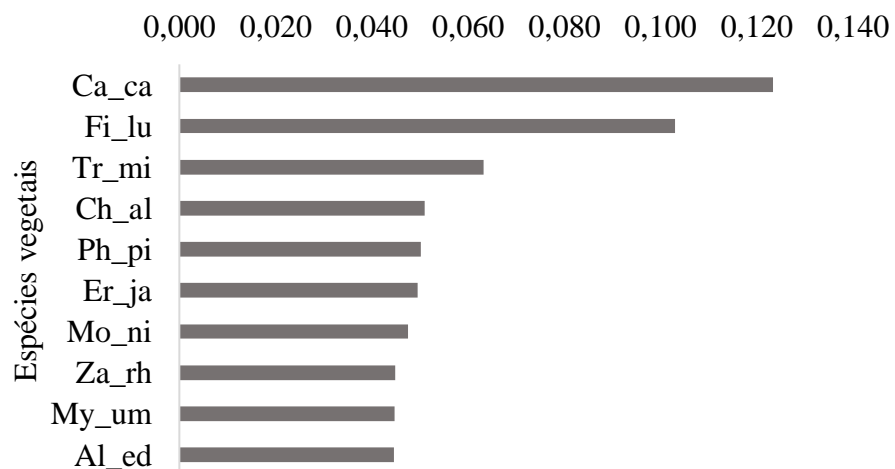
= 0,09) (Figura 6). Para as espécies vegetais, destaca-se *Cabrlea canjerana* (I = 0,12) e *Ficus luschnathiana* (I = 0,10) como importantes fornecedores de frutos para as aves (Figura 7).

Figura 6 – Valores do Índice de Importância para as principais espécies de aves presentes na rede de interações. Tu\_am: *Turdus amaurochalinus*, Ta\_co: *Tachyphonus coronatus*, Tu\_ru: *Turdus rufiventris*, Eu\_ch: *Euphonia chlorotica*, Zo\_ca: *Zonotrichia capensis*, Tu\_al: *Turdus albicollis*, Pe\_ob: *Penelope obscura*, Sa\_si: *Saltator similis*, Ca\_ha: *Cacicus haemorrhous*, Ca\_ch: *Cacicus chrysopterus*.



Fonte: Autora.

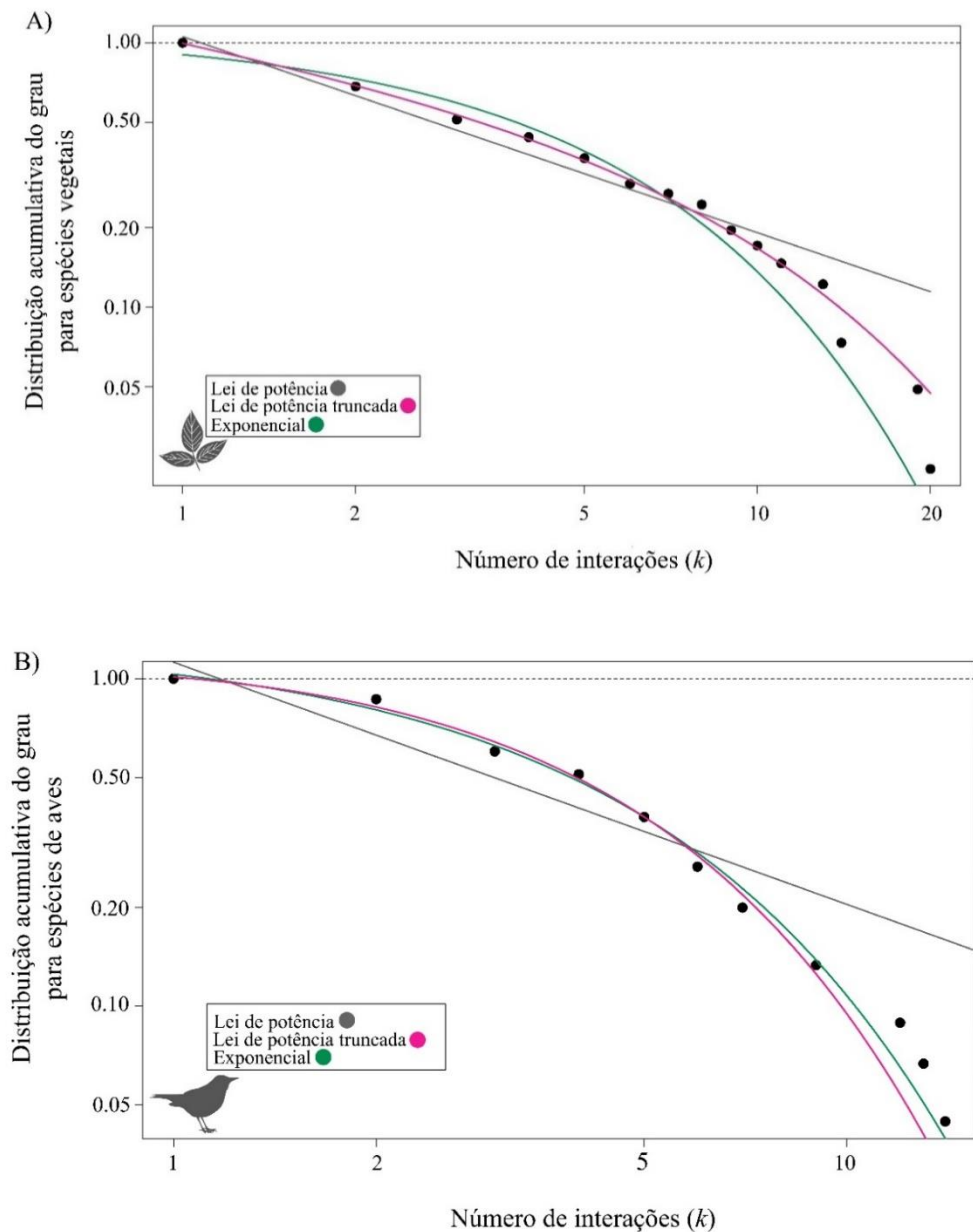
Figura 7 – Valores do Índice de Importância para as principais espécies de plantas presentes na rede de interações. Ca\_ca: *Cabrlea canjerana*, Fi\_lu: *Ficus luschnathiana*, Tr\_mi: *Trema micrantha*, Ch\_al: *Chamissoa altissima*, Ph\_pi: *Phoradendron piperoides*, Er\_ja: *Eriobotrya japonica*, Mo\_ni: *Morus nigra*, Za\_rh: *Zanthoxylum rhoifolium*, My\_um: *Myrsine umbelatta*, Al\_ed: *Allophylus edulis*.



Fonte: Autora.

A distribuição acumulativa do grau está representada pelas figuras 8A e B. A distribuição das plantas foi melhor explicada pelo modelo de lei de potência truncada (AIC = -79,36) (Lei de potência: AIC = -41,85; Exponencial: AIC = -44,96), enquanto a distribuição da frequência de interações das aves pelo modelo exponencial (AIC = -41,24) (Lei de potência: AIC = 12,39; Lei de potência truncada: AIC = 41,19).

Figura 8 – Distribuição acumulativa do grau (número de links por espécie) para as espécies vegetais (A) e aves (B) da rede observada de interações. As linhas representam os ajustes aos diferentes tipos de distribuição. Em cinza a lei de potência, em rosa a lei de potência truncada e em verde o ajuste exponencial.



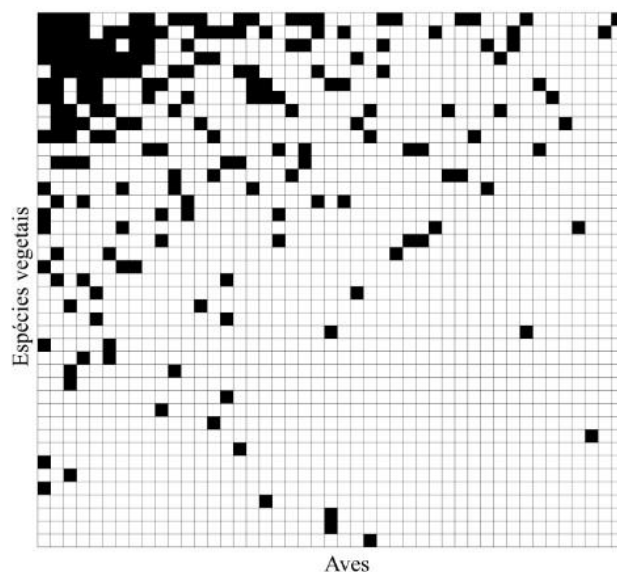
Fonte: Autora.

Embora a rede observada tenha apresentado baixo valor de NODF, os dados apresentaram aninhamento significativo (NODF = 24,96;  $p < 0,001$ ) onde nenhuma rede aleatória exibiu valor de NODF maior do que a rede observada. Pode ser observado na Figura 9 o aparecimento de um núcleo denso de interações na região superior esquerda, uma forte característica do aninhamento. O núcleo generalista foi formado pelas espécies de maior grau como *C. canjerana* ( $k = 21$ ) e *F. luschnathiana* ( $k = 20$ ) em interação com *T. coronatus* ( $k = 14$ ), *T. amaurochalinus* ( $k = 14$ ), *T. rufiventris* ( $k = 13$ ), *T. albicollis* ( $k = 12$ ).

Ao retirar as quatro espécies de aves com maior valor de grau da matriz de interações (*T. coronatus*, *T. amaurochalinus*, *T. rufiventris* e *T. albicollis*) e realizar novamente o cálculo do Índice NODF obteve-se um valor muito menor, embora ainda significativo (NODF = 18,91;  $p < 0,001$ ) indicando que essas são espécies chaves importantes neste grupo coeso de interações. Ao retirar as espécies vegetais mais conectadas (*C. canjerana* e *F. luschnathiana*), a rede também se manteve aninhada (NODF = 19,44;  $p < 0,001$ ). Porém, se retirarmos estas seis espécies ao mesmo tempo, a rede perde seu padrão aninhado (NODF = 12,19;  $p = 0,13$ ), podendo ter sua distribuição de interações explicada ao acaso. Isso sugere que estas espécies são importantes mantenedoras do grupo coeso de generalistas, onde as demais espécies estarão ligadas.

Embora a análise de modularidade tenha encontrado a presença de sete módulos na rede, o valor deste índice não apresentou resultado estatisticamente significativo ( $M = 0,38$ ;  $p = 0,77$ ).

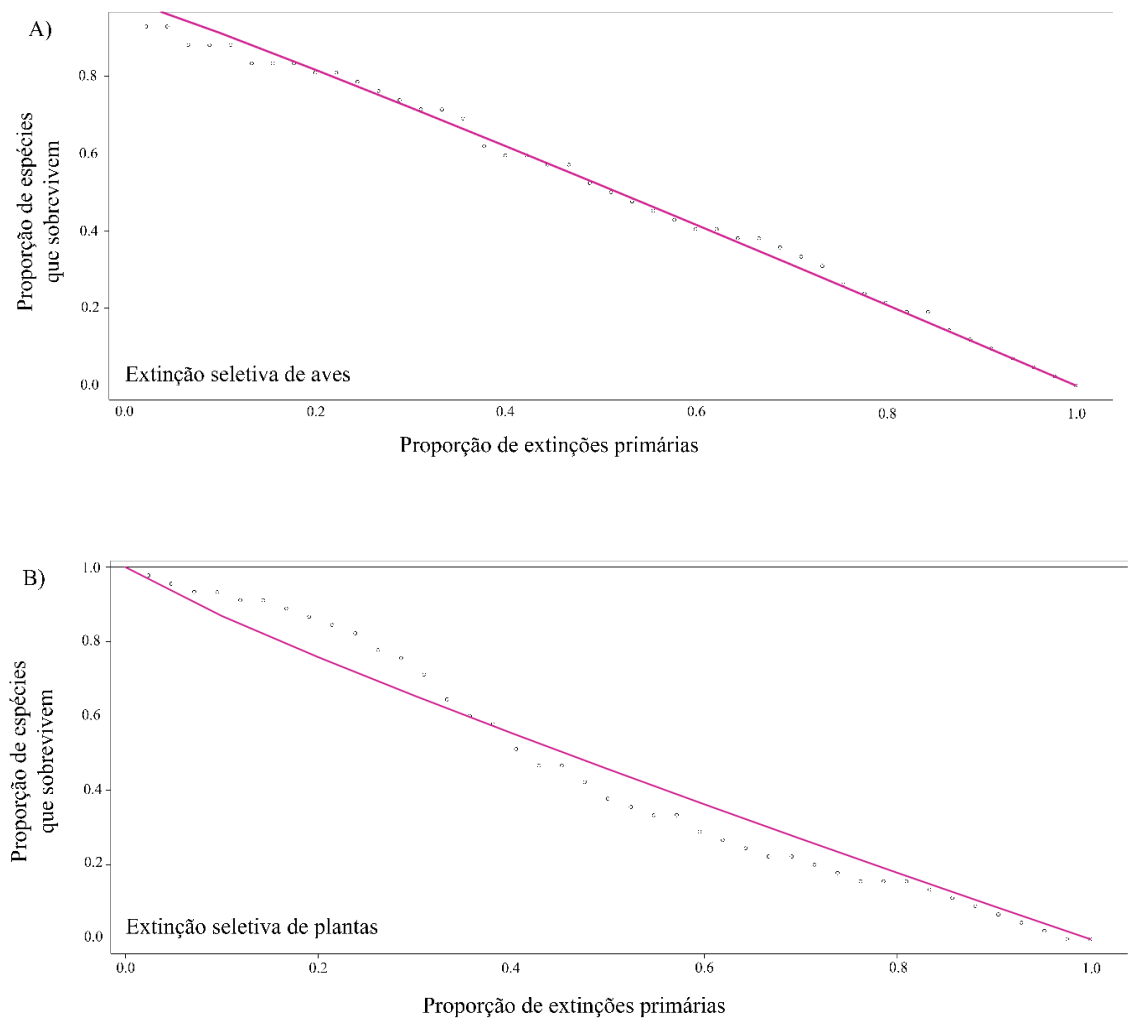
Figura 9 – Matriz de interações representando o aninhamento da rede. Cada quadrado preto representa a presença de interação entre as espécies. As linhas e colunas representam as aves e plantas, respectivamente, e estão organizadas na ordem de maior para menor grau.

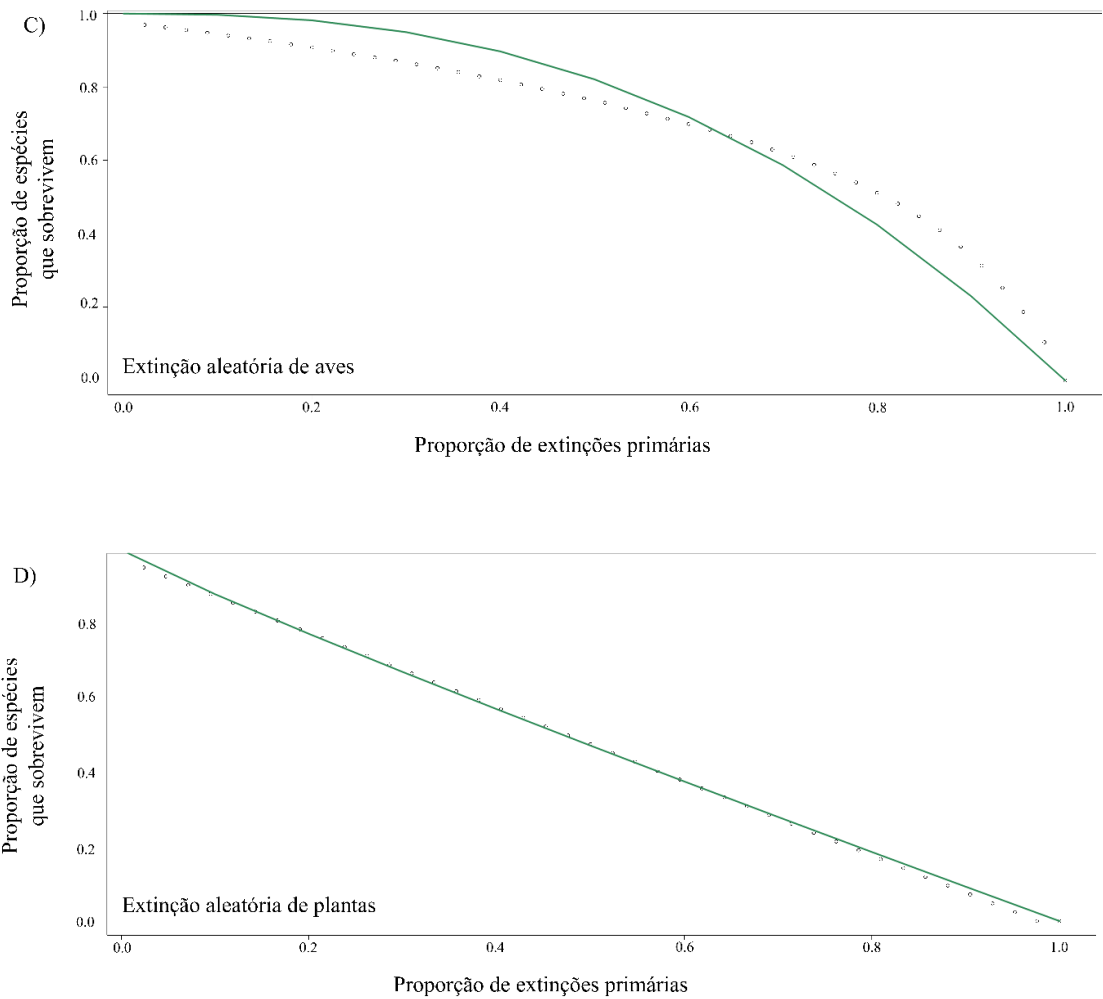


Fonte: Autora.

A retirada seletiva dos vértices com maior grau de interações gerou extinções secundárias em uma proporção maior, tornando a rede observada menos robusta à extinção tanto de plantas ( $R=0,45$ ) quanto de aves ( $R=0,50$ ). No entanto, a rede mostrou-se consideravelmente robusta quando utilizado o método de retirada aleatória dos vértices, tanto para plantas ( $R=0,73$ ) quanto para a remoção das aves ( $R=0,70$ ) (Figura 10).

Figura 10 – Índice de Robustez ( $R$ ) a extinções acumuladas de espécies: extinção seletiva de aves (ordem de extinção dada pelo grau  $k$ ) em A; extinção seletiva de plantas (ordem de extinção dada pelo grau  $k$ ) em B; extinção aleatória de aves em C; extinção aleatória de plantas em D.





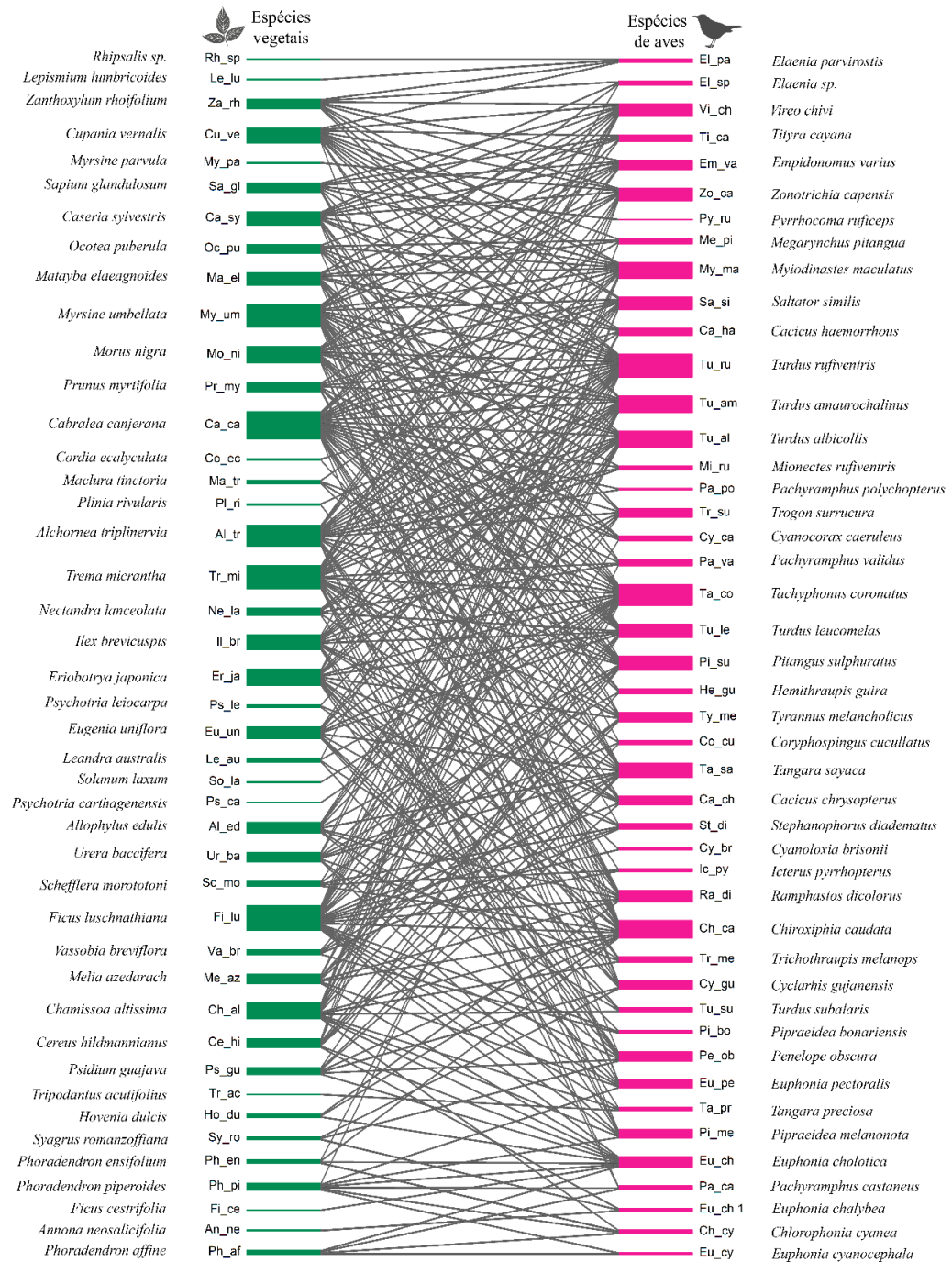
Fonte: Autora.

#### 4.4 REDE DE INTERAÇÕES COM MATRIZ PREENCHIDA

O preenchimento da matriz binária real com os dados retirados da literatura aumentou em 161 *links* entre as aves e as plantas, totalizando 362 interações (Figura 11). O número de espécies de aves com grandes valores de  $k$  também aumentou (Figura 12), sendo agora composto por 14 espécies que conseguem interagir com 10 ou mais plantas. Dentro deste grupo pode-se destacar: *T. rufiventris* ( $k = 22$ ), *T. coronatus* ( $k = 20$ ), *T. amaurochalinus* ( $k = 16$ ), *Chiroxiphia caudata* ( $k = 17$ ), e *Myiodinastes maculatus* ( $k = 15$ ).



Figura 11 – Representação através de grafo bipartido da rede preenchida de interações entre aves frugívoras (retângulos cor-de-rosa) e plantas (retângulos verdes).

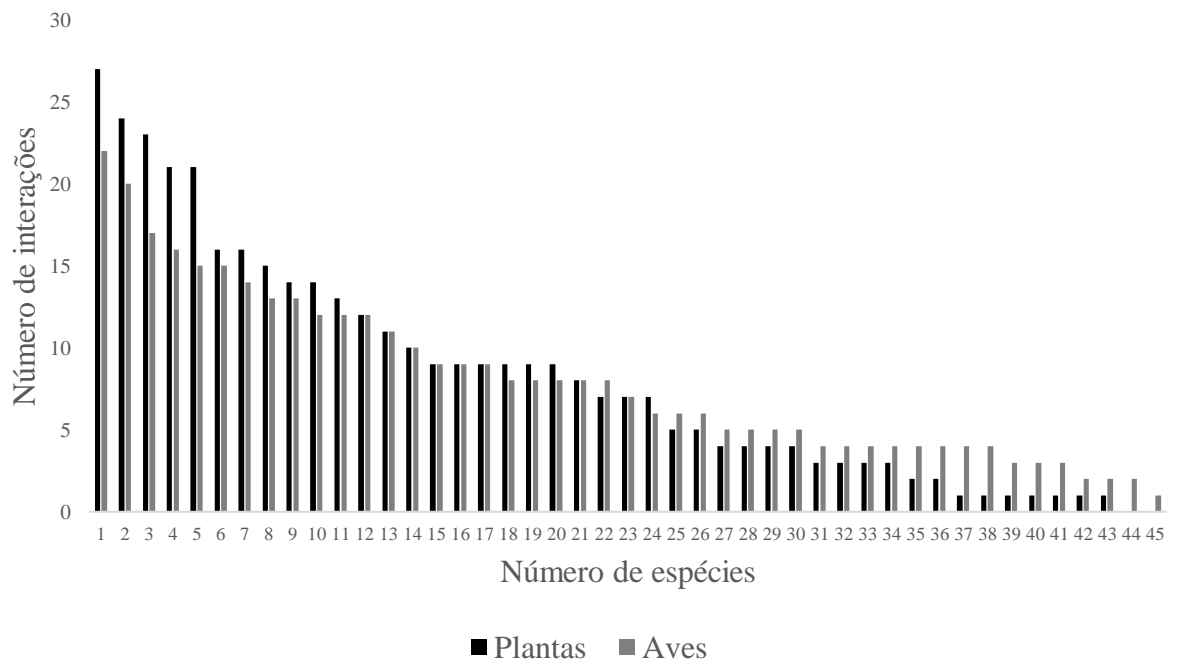


Fonte: autora.

Entre as espécies vegetais que apresentaram maior grau, permanecem *C. canjerana* ( $k = 27$ ), *F. luschnathiana* ( $k = 24$ ), *Trema micrantha* ( $k = 23$ ) e *Myrsine umbellata* ( $k = 21$ ). Entre as dez principais espécies, as modificações ocorridas foram a substituição de *Morus nigra* ( $k = 13$ ) por *Alchornea triplinervia* ( $k = 21$ ), de *Zanthoxylum rhoifolium* ( $k = 9$ ) por *Morus nigra* ( $k =$

= 16), de *Allophylus edulis* ( $k = 8$ ) por *Cupania vernalis* ( $k = 14$ ) e *Cupania vernalis* ( $k = 8$ ) por *Ilex brevicuspis* ( $k = 14$ ). Mesmo com a adição de novas interações, algumas continuaram com pequeno valor de grau como *Plinia rivularis* ( $k = 3$ ), *Psychotria leiocarpa* ( $k = 3$ ), *Cordia ecalyculata* ( $k = 2$ ), *Myrsine parvula* ( $k = 1$ ), *Psychotria carthagenesis* ( $k = 1$ ) e *Annona neosalicifolia* ( $k = 1$ ).

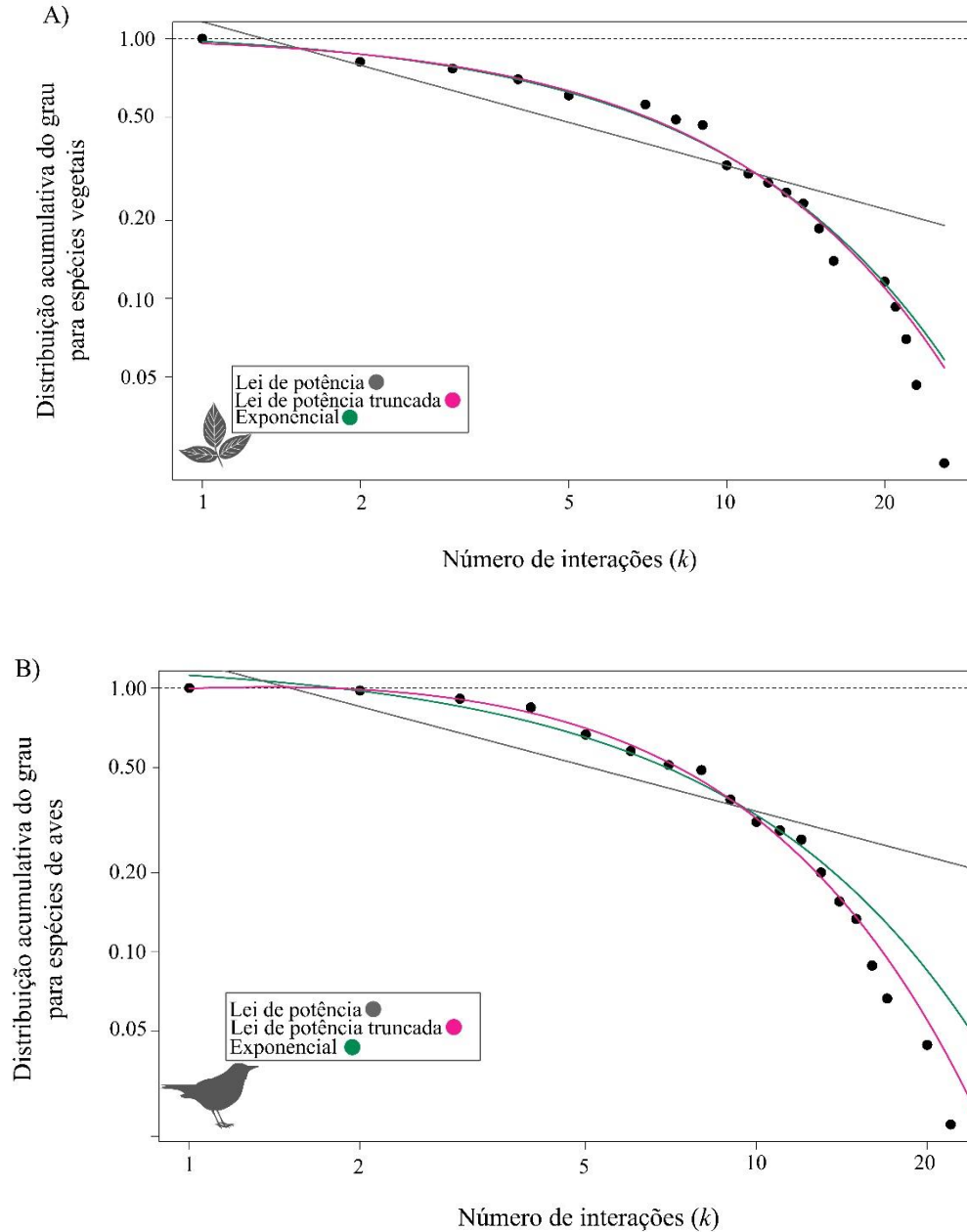
Figura 12 – Número de interações das espécies vegetais e de aves para a rede preenchida.



Fonte: Autora.

Com o preenchimento da matriz real o Índice de Conectância da rede ficou em  $C = 0,19$ . A distribuição do grau para a rede preenchida apresentou resultado inverso ao da rede observada, com a distribuição da frequência das plantas pelo ajuste exponencial (AIC = -74,46) (Lei de potência: AIC = -24,03; Lei de potência truncada: AIC = -73,10) e as aves sendo explicada por uma lei-de-potência truncada (AIC = -82,00) (Lei de potência: AIC = -10,88; Exponencial: AIC = -54,90) (Figura 13).

Figura 13 – Distribuição acumulativa do grau (número de links por espécie) para as espécies vegetais (A) e aves (B) da rede observada de interações. As linhas representam os ajustes aos diferentes tipos de distribuição. Em cinza a lei de potência, em rosa a lei de potência truncada e em verde o ajuste exponencial.



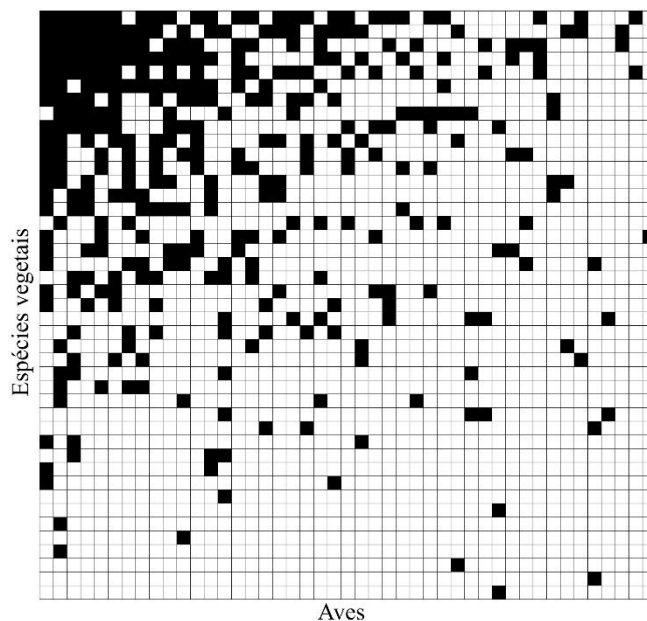
Fonte: Autora.

Mesmo com o aumento no número de interações a rede mutualística continua pouco aninhada, no entanto, significativa (NODF = 35,61;  $p < 0,001$ ) (Figura 14). O núcleo generalista permaneceu com a mesma constituição da rede observada, havendo acréscimos nos valores de  $k$ . Ao excluir as quatro espécies de aves com maior grau (*T. rufiventris*, *T. amaurochalinus*, *T. coronatus* e *C. caudata*), a rede manteve-se aninhada (NODF = 27,89;  $p < 0,001$ ). Eliminando

as duas espécies de plantas com maior grau (*C. canjerana* e *F. luschnathiana*), a alteração do valor de aninhamento foi sutil (NODF = 31,31;  $p < 0,001$ ). Porém, se retiradas as seis espécies ao mesmo tempo, assim como na rede observada, ela perde sua característica aninhada (NODF = 23,83;  $p = 0,01$ ). Independentemente do aumento do número de interações para a rede preenchida, pode-se inferir que as espécies do gênero *Turdus* listadas acima junto com *T. coronatus*, formaram o grupo de espécies generalistas que aninha a rede de interações, destacando sua importância para a manutenção desta característica.

A análise de modularidade encontrou a formação de seis módulos para a rede de interações, embora esta característica continue apresentando resultado estatisticamente não significativo ( $M = 0,28$ ;  $p = 0,72$ ).

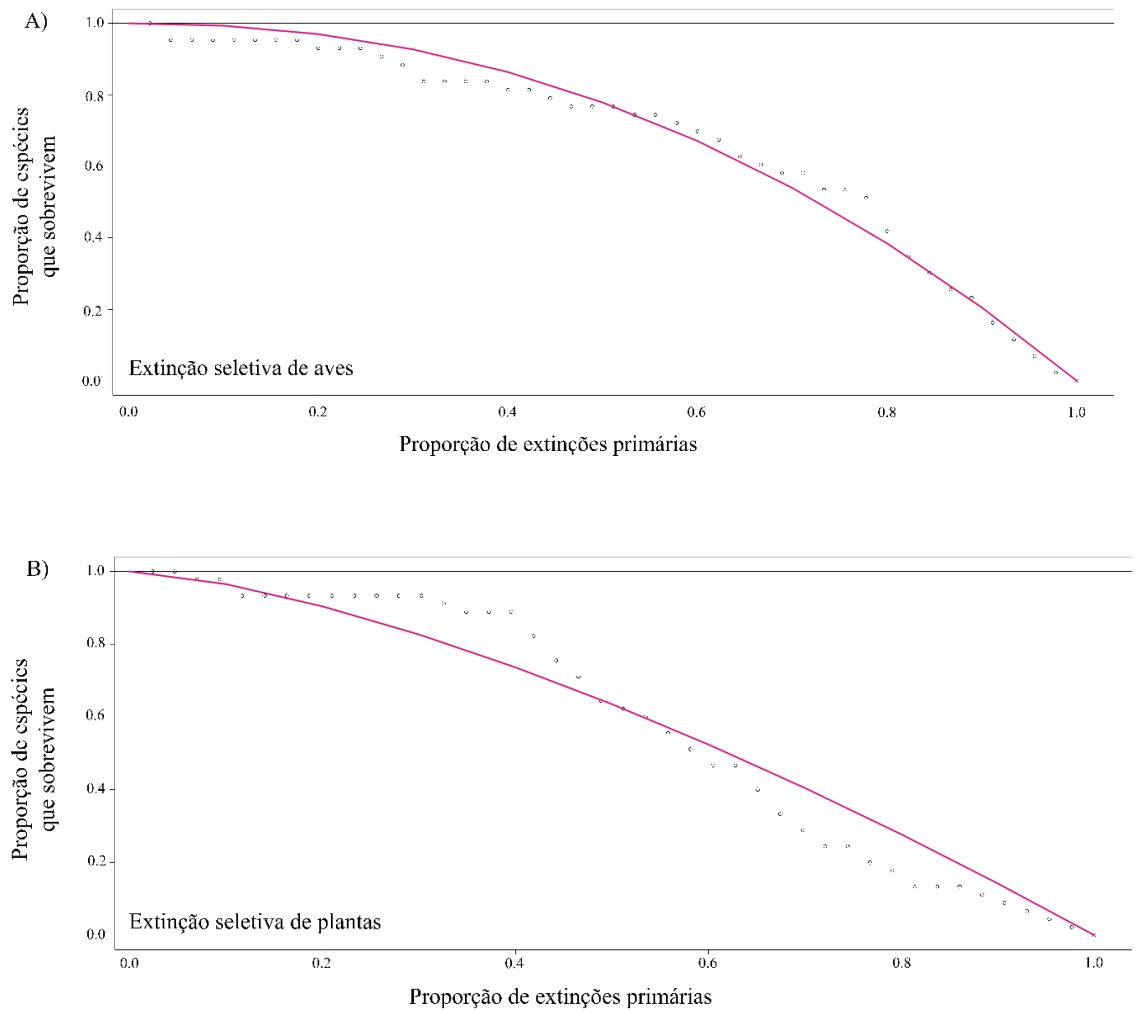
Figura 14 – Matriz de interações representando o aninhamento da rede preenchida. Cada quadrado preto representa a presença de interação entre as espécies. As linhas e colunas representam as aves e plantas, respectivamente, e estão organizadas na ordem de maior para menor grau.

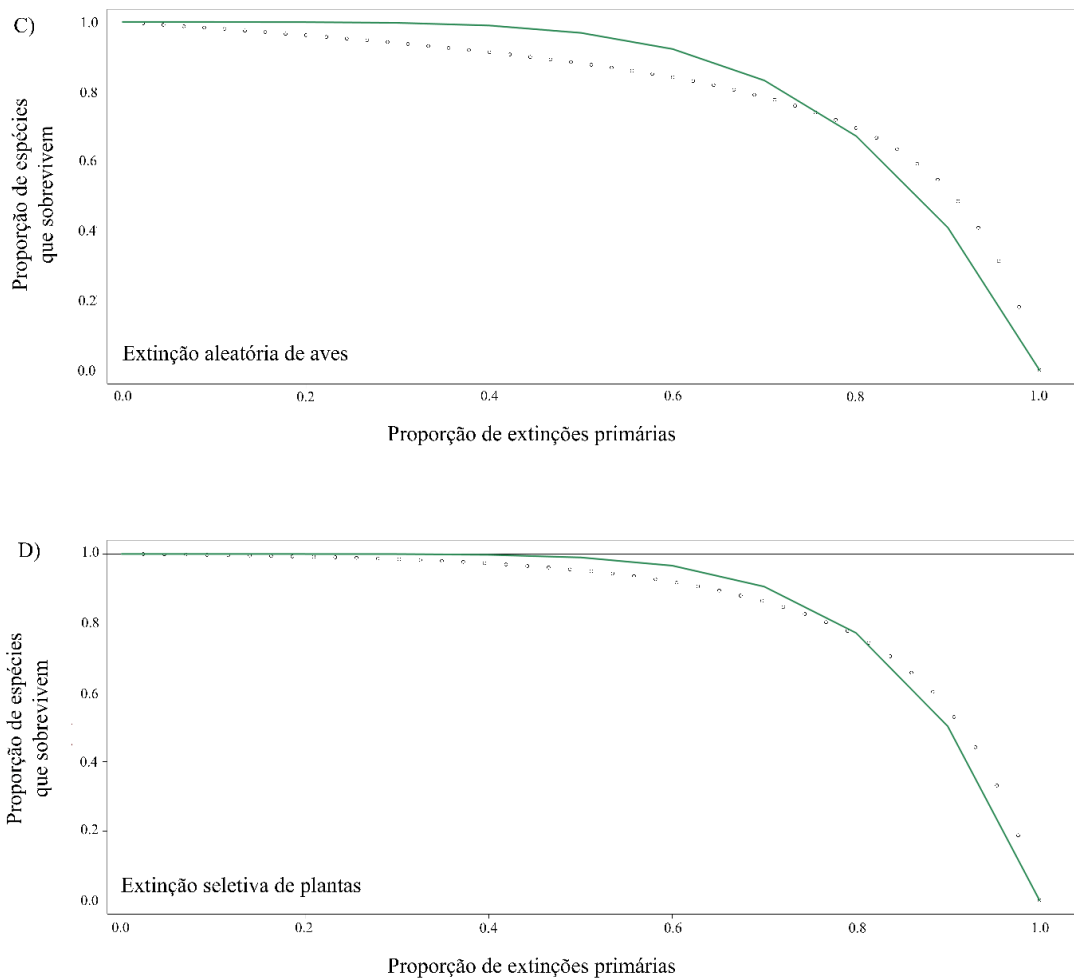


Fonte: Autora

A retirada seletiva dos vértices com maior grau de interações gerou extinções secundárias mais rapidamente, porém a rede preenchida ainda assim manteve-se robusta à extinção tanto de plantas ( $R=0,58$ ) quanto de aves ( $R=0,66$ ). A rede se mostrou robusta quando utilizado o método de retirada aleatório dos vértices, tanto para plantas ( $R=0,85$ ) quanto para a remoção das aves ( $R=0,80$ ) (Figura 15).

Figura 15 – Índice de Robustez ( $R$ ) a extinções acumuladas de espécies para a rede preenchida: extinção seletiva de aves (ordem de extinção dada pelo grau  $k$ ) em A; extinção seletiva de plantas (ordem de extinção dada pelo grau  $k$ ) em B; extinção aleatória de aves em C e extinção aleatória de plantas em D.





Fonte: Autora.

## 5 DISCUSSÃO

A rede mutualística descrita para as áreas de Floresta Estacional Decidual do município de Silveira Martins se mostrou heterogênea, à medida que apresentou muitas espécies com poucas conexões e poucas espécies interagiram mais do que o esperado ao acaso (BASCOMPTE, 2007). Essa característica é comum a redes mutualísticas animal-plantas, sendo descrita tanto para sistemas de polinização quanto de dispersão de sementes (BASCOMPTE et al., 2003; ARCE, 2014; OLIVEIRA et al., 2015; CASAS, 2011).

Geralmente apenas uma fração das interações que ocorrem na natureza são amostradas. Essa fração é dada pelo número de interações observadas em relação ao número de possibilidades existentes e define a Conectância da rede (JORDANO; VÁZQUEZ;

BASCOMPTE, 2009). Os valores descritos para o Índice de Conectância (rede observada,  $C = 0,10$ ; rede preenchida,  $C = 0,19$ ) mantiveram-se próximos ao encontrado por outros dois estudos no Estado do Rio Grande do Sul. Krügel (2004) com um tamanho de rede de 106 espécies verificou um índice de  $C = 0,08$  em áreas de Floresta Estacional Decidual no município de Santa Maria. Na região dos Campos de Cima da Serra, Casas (2015), com rede de 16 espécies encontrou um índice de  $C = 0,23$ .

Em uma comparação entre a rede observada e a preenchida (86 espécies) com a rede de Krügel (2004), observou-se uma queda no valor de Conectância conforme foram adicionadas novas espécies à rede mutualística. Esse fato também foi registrado por Jordano (1987), ao revisar 36 estudos de polinização e 19 de dispersão de sementes. O autor encontrou que o Índice de Conectância seguia um decaimento exponencial à medida que novas espécies eram inseridas nas redes, com uma diminuição mais acentuada para sistemas de polinização do que de dispersão. Foi sugerido pelo autor que essa diferença se daria pela alta especificidade dos processos de polinização. A disparidade entre o número de interações que são registradas e as possíveis de acontecer, pode ter como causa a existência de “*links proibidos*”, os quais impedem que as interações ocorram em sua totalidade devido a restrições de atributos biológicos das espécies tanto vegetais quanto animais (por exemplo, fenologia das plantas e características morfológicas de aves e plantas) (JORDANO, 1985). A massa corporal e a largura do bico das aves, o diâmetro dos frutos e o tamanho das sementes podem vir a ser limitadores de interação e dispersão dos diásporos (FONSECA; ANTUNES, 2007; ARCE, 2014; BELLO et al., 2017).

Na rede estudada, tem-se como exemplo de *links proibidos* a impossibilidade de interação entre aves de pequeno porte como *Hemithraupis guira* (peso: 10g; largura do bico: 4,66mm) e *Mionectes rufiventris* (peso: 13 g; largura do bico: 3,92 mm) com frutos de *Ocotea puberula* (diâmetro: 5,85 mm); *Nectandra lanceolata* (diâmetro: 15 mm) e *Prunus myrtifolia* (diâmetro: 8 mm), que além de possuírem diâmetros maiores são frutos com semente única e pouco carnosos.

Além do obstáculo pelas características morfológicas, a etologia da espécie também pode ser fator influenciador da escolha dos frutos pelas aves. *Pyrrhocomma ruficeps* costumeiramente é encontrado no estrato inferior de florestas secundárias e bordas de florestas primárias. Portanto, consome frutos que também ocuparão o estrato inferior, não interagindo com os disponíveis nos estratos médio e superior. Em uma situação inversa, *Myiodynastes maculatus* ocupa os estratos médio e superior, onde costuma permanecer por mais tempo (SIGRIST, 2014).

Estudos revelam que a distribuição do grau  $k$  tem seguido um padrão similar tanto para redes de polinização quanto para dispersão de sementes, sendo caracterizadas por se aproximarem a uma lei de potência ou lei de potência truncada (JORDANO; BASCOMPTE; OLESEN, 2003). No entanto, para ambas as redes foi observada a prevalência da lei de potência truncada e do modelo exponencial.

Com a truncagem da lei de potência, a frequência de nós com grandes valores de  $k$  se torna menor (JORDANO; VÁZQUEZ; BASCOMPTE, 2009). Essa característica pode se manifestar devido a presença dos “links proibidos” presentes na rede, os quais impedem que todos os nós possuam um elevado valor de  $k$ , uma vez que certas interações não são passíveis de acontecer devido a fatores biológicos, fenológicos, morfológicos e até mesmo etológicos (JORDANO; BASCOMPTE; OLESEN, 2003).

O modelo exponencial caracteriza-se como um modelo aleatório, onde um novo nó entra na rede com tendência a interagir com qualquer outro nó, com a mesma probabilidade (ERDÖS; RENYI, 1959). A presença deste tipo de ajuste explicando certas distribuições dentro da rede, pode manifestar-se devido a ausência de especificidade entre as espécies que compõe a rede de interações, o que sugere que as espécies interagem de forma aleatória dentro da rede, sem preferências por determinadas espécies.

As duas redes apresentaram padrão pouco aninhado e significativo, onde as espécies com mais conexões (generalistas) formaram um núcleo denso de interações onde o resto da comunidade (espécies menos conectadas; especialistas) ficaram ligadas. O aninhamento também apresentou uma organização assimétrica de rede, assim como encontrado por Bascompte et al. (2003) e Lewinsohn e Prado (2006).

O núcleo generalista permaneceu com a mesma constituição nas duas redes (real e preenchida) (com as plantas *C. canjerana* e *F. luschnathiana*, e as aves *T. amaurochalinus*, *T. rufiventris*, *T. albicollis* e *C. caudata*, esta última somente para a rede preenchida). Essas espécies se mostraram fundamentais na manutenção da estrutura aninhada tanto da rede observada, quanto da preenchida. Dado que, ao eliminá-las da matriz, essas redes acabaram perdendo essa característica. Pode-se dizer que essas espécies mais conectadas acabam atuando como elementos chave dentro da rede mutualística. Solé e Montoya (2001) discutem que a perda destes elementos provoca grandes efeitos sobre a estabilidade dos padrões estruturais das mesmas.

Embora as redes estudadas estejam aninhadas, tanto a rede observada quanto a preenchida apresentaram um Índice NODF não muito expressivo, propondo que espécies especialistas não sejam extremamente dependentes das generalistas. Esse resultado reforça a



característica generalista das redes de interações ave-plantas, também podendo estar relacionado ao estado de conservação dos ambientes amostrados.

Visto que a formação de módulos nas redes mutualísticas pode indicar uma distinção entre diferentes guildas e grupos funcionais (GUIMERA; AMARAL, 2005; MELLO et al., 2011), a ausência de uma estrutura modular na rede de interações de áreas florestais em Silveira Martins, pode ter sido influenciada pela baixa especialização tanto de plantas quanto de aves, característica comum a redes de interação ave-planta. A ausência de módulos pode estar relacionada ao menor grau de especificidade entre as espécies, bem como com o pequeno tamanho de rede.

No Rio Grande do Sul os remanescentes de Floresta Estacional Decidual, localizados na encosta do Planalto Meridional, tem sofrido profundas alterações pelo desenvolvimento urbano e rural. A floresta apresenta predominantemente formação secundária, encontrando-se altamente fragmentada, com poucas áreas maiores que 1.000 ha (KILKA; LONGHI, 2011). Os transectos percorridos apresentaram diferentes fitofisionomias, porém, áreas de florestas secundárias se sobressaíram em relação aos locais com vegetação em melhor estado de conservação do entorno. Portanto, a vegetação encontrada na maioria do percurso apresentou características de ambientes alterados, uma vez que os frutos consumidos foram de espécies vegetais típicas de formações secundárias.

A maioria das espécies presentes em florestas secundárias, caracteriza-se pelo rápido crescimento e por apresentar frutos pequenos e produzidos em grande quantidade (SNOW, 1971; CHAZDON, 2012). A oferta de pequenos frutos permite que muitas espécies de aves com diferentes larguras de bico consigam consumi-los (FOSTER, 1996), fazendo com que sejam dispersos principalmente por aves generalistas (CHAZDON; GUARIGUATA, 2016).

Considerando apenas a largura do bico e o diâmetro dos frutos, constatou-se que 39,1% das espécies de aves poderiam consumir 68,7% dos frutos de pequeno tamanho. As espécies com maior número de interações pertencem as famílias Thraupidae, Turdidae e Tyrannidae, respectivamente. Este resultado é esperado visto que Thraupidae (30 espécies) e Tyrannidae (66 espécies) estão entre as famílias de Passeriformes melhor representadas no estado (BENCKE et al., 2010) e que incluem espécies regularmente consumidoras de frutos (SICK, 1997). Soma-se a isso o fato de serem comumente registradas em ambientes alterados (PIZO, 2007). Sendo assim, a composição de aves e de plantas, bem como as interações estabelecidas, podem refletir a qualidade do ambiente amostrado.

Por outro lado, o consumo e a dispersão de frutos com sementes grandes são bastante afetados pela fragmentação florestal, visto que aves de grande porte são as responsáveis por

este serviço (PIZO, 2004) e estas são as primeiras a desaparecer em ecossistemas alterados (WILLIS, 1979). As maiores aves frugívoras são consideradas dispersores chave (GALETTI et al., 2013), sendo representadas nessa rede apenas por *Penelope obscura* e *Ramphastos dicolorus*.

Embora tenham sido registradas poucas interações com espécies de aves migratórias neste estudo, elas se mostram importantes por apresentarem hábitos alimentares generalistas e desempenharem um importante papel na dispersão de sementes de muitas plantas (GALETTI; PIZO, 1996). A presença sazonal destas aves pode conferir vantagem a uma série de espécies vegetais a medida que aumentam o número de potenciais dispersores.

Apresentando diásporo de tamanho pequeno ( $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ ) (PIZO, 1997) *C. canjerana* constituiu o núcleo denso da rede de interações. Pizo (1997) observou 35 espécies de aves utilizando partes de seu fruto como alimento. Dentre elas, 27 foram responsáveis pela dispersão efetiva das sementes e seis apenas consumiram o arilo. Do total de espécies de aves encontrado pelo autor, 15 foram registradas na rede mutualística neste estudo. Destas 15 espécies, dez podem ser consideradas boas dispersoras, quatro consumidoras de arilo e apenas *P. frontalis* predadora de semente.

Assim como a canjerana, *F. luschnathiana* também compõe o núcleo denso e apresentou o segundo maior valor do Índice de Importância. Mesmo que *F. luschnathiana* apresente menor Valor de Importância ( $VI = 2,25$ ) dentro das florestas estacionais (BRENA; LONGUI, 2002), a produção assincrônica de frutos tanto entre indivíduos da mesma espécie quanto de espécies diferentes (RAGUSA-NETO, 2002), as tornam recursos chave dentro das florestas tropicais (PERES, 2000; LAPATE, 2009), uma vez que ajudam na sustentação da avifauna frugívora em épocas de escassez de recursos (LAMBERT; MARSHALL, 1991).

Vale ressaltar a presença de espécies exóticas invasoras ocupando posição de destaque dentro do Índice de Importância, como *E. japonica* e *M. nigra*. Essas espécies, foram importantes componentes na dieta da avifauna, apresentando maiores valores de  $k$ . A maioria dos estudos sobre o consumo de espécies exóticas por aves geralmente é realizado em áreas urbanas (FONSECA; ANTUNES, 2007; GUIX, 2007; GÓES-SILVA; CORRÊA; MOURA, 2012). Dentro destes espaços, essas espécies mostram-se bastante importantes no fornecimento de frutos para a avifauna, uma vez que seus períodos de frutificação se distribuem ao longo das estações e são fáceis de serem encontradas e capturadas (GUIX, 2007). Pouco se sabe sobre o consumo e a dispersão de sementes de espécies exóticas em áreas naturais, menos ainda em ambientes de Floresta Estacional Decidual.

No entanto, a relevante participação destas espécies na rede de interações pode ser um elemento preocupante, visto que há o risco de serem dispersas em ambientes naturais, e iniciar um movimento de competição e eliminação da flora nativa. O Ministério do Meio Ambiente (2009) aponta inúmeros impactos negativos que espécies exóticas invasoras podem causar, entre eles modificações em ciclos biogeoquímicos (ex.: água e nutrientes), na estrutura das florestas, no acúmulo de serrapilheira, nas taxas de decomposição, na cadeia trófica, incluindo alterações nas relações plantas x polinizadores e plantas x dispersores.

Assim como registrado neste estudo algumas aves que compõe o núcleo denso da rede, como *T. rufiventris* e *T. coronatus*, também foram citadas por Silva et al. (2002) como espécies de grande importância dentro da rede de interações do Parque Estadual Intervales, região de Floresta Atlântica no Estado de São Paulo, pelo grande número de *links* estabelecidos.

Embora *T. coronatus* seja uma ave que apresenta dieta predominantemente granívora (SICK, 1997), ela mostrou-se um participante ativo no consumo de frutos de diversas espécies vegetais podendo atuar como um possível dispersor das mesmas.

Aves do gênero *Turdus*, costumam apresentar altos valores para o Índice de Importância (SCHERER; MARASCHIN-SILVA; BAPTISTA, 2007; CASAS, 2015). Além disso, essas espécies vêm sendo consideradas eficientes dispersoras, visto que consomem os frutos inteiros preservando a integridade das sementes (FRANCISCO; GALETTI, 2002; SILVA et al., 2002; GASPERIN; PIZO, 2009). Também apresentam capacidade de forrageio em diferentes estratos da floresta, possibilitando o aumento da oferta de frutos para essas aves (GASPERIN; PIZO, 2009). Destacam-se como importantes contribuintes para o movimento das sementes em paisagens fragmentadas, pelo número de frutos removidos e por conseguirem se deslocar entre fragmentos de florestas, árvores isoladas e pastagens carregando os diásporos para estas diferentes fisionomias (PIZO, 2004).

Mudanças nos padrões de redes mutualísticas podem gerar consequências na dinâmica das comunidades ecológicas. A perda de espécies de aves pode causar uma série de extinções secundárias locais devido ao colapso reprodutivo conduzido pela remoção de polinizadores e dispersores (JORDANO; BASCOMPTE; OLESEN, 2003). De maneira geral, o Índice de Robustez aumentou para a rede preenchida. A análise de robustez tanto para a rede observada quanto para a preenchida mostrou que essas permanecem mais resistentes ao colapso quando as espécies são extintas aleatoriamente. Entretanto, ao dirigir as remoções das espécies mais conectadas para as menos conectadas, verificou-se uma queda brusca no índice de robustez, o que indica que a rede se tornou mais suscetível a extinções.

Esta robustez de redes mutualísticas tem sido fortemente associada ao padrão aninhado da mesma (BASCOMPTE; JORDANO, 2007; THÉBAULT; FONTAINE, 2010; VIDAL et al., 2014), visto que a assimetria presente nas redes aninhadas provê meios de espécies mais raras persistirem (BASCOMPTE et al., 2003). Ao retirar uma espécie generalista da rede todos os especialistas podem perder seu único parceiro. Por outro lado, se um especialista for eliminado pode acontecer de nenhuma outra espécie perder seus parceiros (SILVA et al., 2002; MEMMOT et al., 2004). Portanto, as redes se tornam pouco sensíveis a remoção aleatória de espécies, porém sensíveis a eliminação de espécies muito conectadas (DUNNE, WILLIAMS; MARTINEZ, 2002; MELIÁN, BASCOMPTE, 2002), como o detectado para as redes deste estudo.

Os padrões observados para a rede mutualística entre aves frugívoras e plantas segue basicamente o encontrado por outros pesquisadores da área. Como o esperado para uma rede aninhada, aves e plantas generalistas acabam compondo o núcleo denso de espécies com mais interações, podendo também este fato estar relacionado a predominância de formações florestais secundárias na área de estudo. À falta de especificidade entre as espécies pode ter sido a responsável pelo não aparecimento de módulos na rede de interações. A eliminação aleatória de espécies mostrou-se mais robusta, enquanto a seletiva causou um declínio mais rápido das interações devido a geração de extinções secundárias dentro da rede. Portanto, conhecer os padrões estruturais desta rede mutualística e como ela responde a uma perturbação ambiental (extinções) trará maiores alicerces a ações de manejo e restauração destas áreas naturais.

## 6 CONCLUSÃO

- A rede de interações mutualísticas apresentou muitas características comuns a outros estudos com redes de interação animal-planta, como alta heterogeneidade, menor valor para o Índice de Conectância, distribuição do grau regidos por lei de potência truncada e exponencial, presença de aninhamento e ausência de modularidade.

- O tamanho da rede e a presença dos *links* proibidos, restringindo potenciais interações, ocasionou um menor Índice de Conectância a rede de interações.

- O padrão de distribuição do grau  $k$  pelo modo exponencial demonstra que algumas espécies fazem ligações de forma aleatória, não seguindo regras. A lei de potência truncada, sugere que outras acabam se conectando preferencialmente aos nós já bem conectados. Porém,

a presença dos *links* proibidos, faz com que esta rede apresente poucas espécies com muitos *links*.

- Tanto a rede observada quanto a preenchida apresentaram um padrão aninhado. Ambas tiveram a formação de um núcleo denso de espécies generalistas, as quais se mostraram fundamentais na manutenção dessa característica.

- A presença do aninhamento e assimetria da rede, sugerindo que possa existir uma maior estabilidade em relação a extinções aleatórias, foi confirmada através do cálculo de Índice de Robustez. O índice revelou que a rede apresentou maior resistência a eliminações aleatórias, do que a eliminação seletiva de aves e plantas com maior valor de  $k$ .

- A falta de modularidade na rede de interações pode ser associada ao menor grau de especificidade entre as espécies, bem como com o pequeno tamanho de rede.

A rede está constituída principalmente por espécies vegetais e animais presentes em formações florestais secundárias.

- Entre as espécies vegetais mais importantes destacam-se aquelas pertencentes aos grupos sucessionais das pioneiras e secundárias iniciais, com síndrome de dispersão zoocórica. O consumo e a possível dispersão de frutos e sementes pequenas, foram favorecidos pelo domínio de aves de pequeno e médio porte, com dieta generalista.

- Entre as aves que compuseram a rede, destacaram-se as espécies do gênero *Turdus* e *T. coronatus*, pelo maior número de interações e valor do Índice de Importância. Espécies do gênero *Turdus*, mostraram-se como os principais dispersores de sementes na área de estudo. Por outro lado, *T. coronatus* por apresentar o hábito de mandibular o fruto, não se caracteriza por um bom dispersor.

- Os resultados obtidos através do estudo com métricas de rede permitiu compreender como a rede mutualística está estruturada e quais são suas fragilidades.

## REFERÊNCIAS

ALBERT, R.; BARABÁSI, A. Statistical mechanics of complex networks. **Reviews of modern physics**, v. 74, n. 1, 2002.

AMARAL, L. A. N.; SCALA, A.; BARTHÉLÉMY, M.; STANLEY, H. E. Classes of small-world networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 97, n. 22, p. 11149-11152, 2000.

ALBERT, R.; JEONG, H.; BARABÁSI, A. Error and attack tolerance of complex networks. **Nature**, v.406, 2000.

ALMEIDA, D. S. Alguns princípios de sucessão natural aplicados ao processo de recuperação. In: ALMEIDA, D. S. **Recuperação Ambiental da Mata Atlântica**. 3. ed. Ilhéus: Editus, 2016. 200p.

ALMEIDA-NETO, M.; GUIMARÃES, P.; GUIMARÃES JR, R.; LOYOLA, R. D.; ULRICH, W. A consistent metric for nestedness analysis in ecological systems: reconciling concept and measurement. **Oikos**, Copenhagen, v. 117, n. 8, p. 1227-1239, 2008.

AMARAL, L. A. N.; SCALA, A.; BARTHÉLÉMY, M.; STANLEY, H. E. Classes of small-world networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 97, n. 21, p. 11149-11152, 2000.

ARCE, R. D. **Estructura de la red de interacciones mutualísticas entre plantas y aves frugívoras em el bosque nublado de San Antonio – km 18, valle del cauca**. 2014. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidad Icesi, Santiago de Cali, CO, 2014.

BARABÁSI, A.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. **Science**, Washington, v. 286, p. 509-512, 1999.

BARBER, M. J. Modularity and community detection in bipartite networks **Physical Review**, New York, v. 76, n. 6, p. 1-11, 2007.

BASCOMPTE, J. Networks in ecology. **Basic and Applied Ecology**, v. 8, n. 3, p. 485-490, 2007.

BASCOMPTE, J.; JORDANO, P. Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. **Annual Review of Ecology Evolution and Systematics**, v. 38, p. 567-593, 2007.

BASCOMPTE, J.; JORDANO, P. The Structure of Plant-Animal Mutualistic Networks. In: PASCUAL, M.; DUNNE, J. A. (Org.). **Ecological Networks: Linking Structure to Dynamics in Food Webs** (Santa Fe Institute Studies on the Sciences of Complexity). Oxford, US, 2006, p. 143-159.

BASCOMPTE, J.; JORDANO, P.; MÉLIAN, C. L.; OLESEN, J. The nested assembly of plant-mutualistic networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. USA, v. 100, n. 16, p. 9383- 9387, 2003.

- BASCOMPTE, J.; JORDANO, P.; OLESEN, J. M. Asymmetric coevolutionary networks facilitate biodiversity maintenance. **Science**, Washington, v. 312, n. 5772, p. 431-433, 2006.
- BELLO, C.; GALETTI, M.; MONTAN, D.; PIZO, M. A.; MARIGUELA, T. C.; CULOT, L.; BUFALO, F.; LABECCA, F.; PEDROSA, F.; CONSTANTINI, R.; EMER, C.; SILVA, W. R.; SILVA, F. R.; OVASKAINEN, O.; JORDANO, P. Atlantic-frugivory: a plant-frugivore interaction dataset for the Atlantic Forest. **Ecology**, New York, v. 98, n. 6, p. 1729-1775, 2017.
- BEZERRA, E. L. S.; MACHADO, I. S.; MELLO, M. R. Pollination networks of oil-flower: a tiny world within the smallest of all words. **Journal of Animal Ecology**, v. 78, n. 1, p. 1096-1101. 2009.
- BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Inventário Florestal. In: ITAQUI, J. (Org.). **Quarta Colônia: Inventários Técnicos**. Santa Maria, RS: Condesus Quarta Colônia, 2002. 256 p.
- CAMACHO, J.; GUIMERÀ, R.; AMARAL, L. A. N. Robust Patterns in Food Web Structure. **Physical Review Letters**, USA, v. 88, n. 22, p. 1-4, 2002.
- CAMERANO, L. Desequilibrio dei viventi merc la reciproca distruzione. **Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino**. v. 15, p. 393-414, 1880.
- CARVALHO, P. E. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003.
- CASAS, G. **Padrões de diversidade de aves e rede de interação mutualística ave-planta em mosaico floresta-campo**. 2015. 132 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- CAZETTA, E.; RUBIM, P.; LUNARDI, V. O.; FRANCISCO, M. R.; GALETTI, M. Frugivoria e dispersão de sementes de *Talauma Ovata* (Magnoliaceae) no sudeste brasileiro. **Ararajuba**, Seropédica, v. 10, n. 1, p.199-206, 2002.
- CHAZDON, R. L.; GUARIGUATA, M. R. Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. **Biotropica**, Malden, v. 48, n. 6, p. 716-730, 2016.
- CHAZDON, R. Regeneração de florestas tropicais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, Belém, v. 7, n. 3, p. 195-218, 2012.

COLUSSI, J.; PRESTES, N. P. Frugivoria realizada por aves em *Myrsiaria trunciflora* (Mart) O. Berg. (Myrtaceae), *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) e *Ilex paraguariensis* St. Hil. no norte do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ornitologia**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 48-55, 2011.

COLWELL, R. K. **EstimateS**: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9, 2013. Disponível em <<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/index.html>> Acesso em: 26 dez. 2017.

COMITÊ BRASILEIRO DE REGISTROS ORNITOLÓGICOS – CBRO. Annotated Checklist of the Birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee/ Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. **Revista Brasileira de Ornitologia**, Belém, v. 23, n. 2, p. 91-298, jun. 2015.

CORLETT, R. T. Frugivory and seed dispersal in degraded tropical east Asian landscapes. In: LEVEY, D. J.; SILVA, W. R.; GALETTI, M (Org.). **Seed dispersal and frugivory: Ecology, Evolution and Conservation**. CAB International, UK, 2002. 511p.

D'AVILA, G.; GOMES-JR, A.; CANARY, A. C.; BUGONI, L. The role of avian frugivores on germination and potential seed dispersal of the Brazilian Pepper *Schinus terebinthifolius*. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 10, n. 3, p. 45-51, 2010.

DUNNE, J. A.; WILLIAMS, R. J.; MARTINEZ, N. D. Network structure and biodiversity loss in food webs: robustness increases with connectance. **Ecology Letters**, Montpellier, v. 5, p. 558-567, 2002.

DUNNING, J. B. **Handbook of avian body masses**. 2. ed. Boca Raton, CRC Press: Taylor & Francis Group, 2008.

DUPONT, Y. L.; OLESEN, J. M. Ecological modules and roles of species in heathland plant–insect flower visitor networks. **Journal of Animal Ecology**, Winchelsea, v. 78, n. 2, p. 346-353, 2009.

ERDÖS, P.; RÉNYI, A. On random graphs, i. **Publicationes Mathematicae**, Debrecen, v. 6, p. 290–297, 1959.

FADINI, R. F.; MARCO JR, P. Interações entre aves frugívoras e plantas em um fragmento de mata atlântica de Minas Gerais. **Ararajuba**, Rio Claro, v. 12, n. 2, p.97-103, 2004.

FISCHER, K. E.; CHAPMAN, C. A. Differences in Patterns at the Genus and Species Level. **Oikos**, Copenhagen, v. 66, n. 3, p. 472-482, 1993.



- FLEMING, T.H. Fruiting plant–frugivore mutualism: the evolutionary theater and the ecological play. In: PRICE, P. W.; LEWINSOHN, T. M.; FERNANDES, G. W.; BENSON, W. W.(Org.). **Plant–Animal Interactions: Evolutionary Ecology in Tropical and Temperate Regions**. New York: John Wiley and Sons, 1991.
- FONSECA, F. Y.; ANTUNES, A. Z. Frugivoria e predação de sementes por aves no parque estadual Alberto Löfgren, São Paulo, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 81-91, 2007.
- FORTUNA, M. A.; STOUFFER, D. B.; OLESEN, J. M.; JORDANO, P.; MOUILLOT, D.; KRASNOV, B. R.; POULIN, R.; BASCOMPTE, J. Nestedness versus modularity in ecological networks: two sides of the same coin? **Journal of Animal Ecology**, Winchelsea, v. 79, n. 1, p.811-817. 2010.
- FORUP, M. L.; HENSON, K.; CRAZE, P.; MEMMOTT, J. The restoration of ecological interactions: plant–pollinator networks on ancient and restored heathlands. **Journal of applied ecology**, London, v. 45, n. 3, p. 742-752, jun. 2008.
- FRANCISCO, M. R.; GALETTI, M. Frugivoria e dispersão de sementes de *Rapanea lancifolia* (Myrsinaceae) por aves numa área de cerrado do Estado de São Paulo, sudeste do Brasil. **Ararajuba**, Londrina, v. 9, n. 1, p. 13-19, 2001.
- FRANCISCO, M. R.; GALETTI, M. Aves como potenciais dispersoras de sementes de *Ocotea pulchella* Mart. (Lauraceae) numa área de vegetação de cerrado do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.25, n. 1, p.11-17, 2002.
- GALETTI, M. **Sazonalidade na dieta de vertebrados frugívoros em uma floresta semidecídua no Brasil**. 1992. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas: Ecologia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.
- GALETTI, M.; PIZO, M. A. Fruit eating by birds in a forest fragment in southeastern Brazil. **Ararajuba**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p. 71-79, 1996.
- GALLETTI, M.; GUEVARA, R.; CORTES, M. C.; FADINI, R.; VON MATTER, S.; LEITE, A. B.; LABECCA, F.; RIBEIRO, T.; CARVALHO, C. S.; COLLEVATTI, R. G.; PIRES, M. M.; GUIMARÃES-JR. P. R.; BRANCALION, P. H.; RIBEIRO, M. C.; JORDANO, P. Functional extinction of birds drives rapid evolutionary changes in seed size. **Science**, Washington, v. 340, p. 1086-1093, 2013.

- GASPERIN, G.; PIZO, M. A. Frugivory and habitat use by trushes (*Turdus* spp.) in a suburban area in south Brazil. **Urban Ecosystems**, Amsterdam, v.12, p.425-436, 2009.
- GODOI, M. N.; SOUZA, F. L.; LAPS, R. R.; RIBEIRO, D. B. Composition and structure of bird communities in vegetational gradients of Bodoquena Mountains, western Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 88, n. 1, p. 211-225, 2016.
- GÓES-SILVA, L. R.; CORRÊA, B. S.; MOURA, A. S. Potencial de árvores frutíferas para a atração de aves. **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, v. 4, n. 1, p.51-59, 2012.
- GRESSLER, E.; PIZO, M. A.; MORELLATO, P. C. Polinização e dispersão de sementes em Myrtaceae do Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 509-530, 2006.
- GUIMARÃES JR, P. R. A estrutura e a dinâmica evolutiva das redes mutualísticas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 39, p. 137-148, 2009.
- GUIMARÃES JR, P. R.; RICO-GRAY, V.; REIS, S.; THOMPSON, J. Asymmetries in specialization in ant-plant mutualistic networks. **The Royal Society**, v. 273, p. 2041-2047, 2006.
- GUIMARÃES, P. R.; RICO-GRAY, V.; OLIVEIRA, P. S.; IZZO, T. J.; REIS, S. F.; THOMPSON, J. N. Interaction intimacy affects structure and coevolutionary dynamics in mutualistic networks. **Current Biology**, v. 17, p. 1797-1803, 2007.
- GUIMERÁ, R.; AMARAL, L. A. N. Functional Cartography of complex metabolic networks. **Nature**, London, v. 433, p. 895-900, 2005.
- GUIX, J. C. The role of alien plants in the composition of fruit-eating bird assemblages in Brazilian urban ecosystems. **Orsis**, Barcelona, v. 22, n. 1, p. 87-104, 2007.
- HASUI, E.; HÖFLING, E. Preferência alimentar das aves frugívoras de um fragmento de floresta estacional semi-decídua secundária, São Paulo, Brasil. **Iheringia**, Série Zoologia, Porto Alegre, v. 84, n. 1, p.43-64, 1998.
- HERRE, E. A.; KNOWLTON, N.; MUELLER, U.; REHNER, S. The evolution of mutualisms: exploring the paths between conflict and cooperation. **Trends in Ecology and Evolution**, Cambridge, v. 14, p. 49-53, 1999.
- HERRERA, J. Determinants of plant-animal coevolution: the case of mutualistic dispersal of seeds by vertebrates. **Oikos**, Copenhagen, v. 44, p. 132-141, 1985.

HOWE, H. F. Constraints on the evolution of mutualisms. **American Naturalist**, Chicago, v. 123, p. 764-777, 1984.

HOWE, H. F.; ESTABROOK, G. F. On intraespecific competition for avian dispersers in tropical trees. **The American Naturalist**, Chicago, v. 111, n. 1, p. 817-832, 1977.

HOWE, H. F.; SMALLWOOD, J. Ecology of seed dispersal. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, California, v. 13, p.201-228, 1982.

JANZEN, D. H. How to be a fig. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 10, p. 13-51, 1979.

JORDANO, P. El ciclo anual de los passeriformes frugívoros en el matorral mediterráneo del sur de España: importancia de su invernada y variaciones interanuales. **Ardeola**, España, v.32, p.69-94. 1985.

JORDANO, P. Fruits and frugivory. In: FENNER, M. (Org.). **Seeds: the ecology of regeneration in natural plant communities**. 1. ed. Common wealth Agricultural Bureau International, Wallingford, UK, 1992.

JORDANO, P. Patterns of Mutualistic Interactions in Pollination and Seed Dispersal: Connectance, Dependence Asymmetries, and Coevolution. **American Naturalist**, Chicago, v.129, n. 5, p. 657-677, 1987.

JORDANO, P. Spatial and temporal variation in the avian-frugivore assemblage of *Prunus mahaleb*: patterns and consequences. **Oikos**, Copenhagen, v. 71, p. 479-491, 1994.

JORDANO, P.; BASCOMPTE, J.; OLESEN, J. M. Invariant properties in coevolutionary networks of plant-animal interactions. **Ecology Letters**, Montpellier, v. 6, p. 69-81, 2003.

JORDANO, P.; VÁZQUEZ, D.; BASCOMPTE, J. Redes complejas de interacciones mutualísticas planta-animal. In: MEDEL, R.; AIZEN, M.; ZAMORA, R. (Org.). **Ecología y evolución de interacciones planta-animal**. Santiago de Chile: Universitaria, 2009. 399 p.

KILKA, R. V.; LONGHI, S. J. A composição florística e a estrutura das florestas secundárias no rebordo do Planalto Meridional. In: SCHUMACHER, M. V.; LONGHI, S. J.; BRUN, E. J.; KILCA, R. V (Org.). **A Floresta Estacional Subtropical: Caracterização e Ecologia no Rebordo do Planalto Meridional**. 2011, 320 p.

KRAUSE, A. E.; FRANK, K. A.; MASON, D. M.; ULANOWICZ, R. E.; TAYLOR, W. W. Compartments revealed in food-webs structure. **Nature**, London, v. 426, p. 282-285, 2003.

- KRÜGEL, M. M.; BEHR, E. R. Consumo dos frutos de *Alchornea triplinervia* (Euphorbiaceae) por aves em fragmentos florestais urbanos de Maringá, Paraná. **Biotemas**, Florianópolis, v. 12, n. 1, p. 149-155, 1999.
- KRÜGEL, M. M. **Interações entre aves e plantas em uma floresta estacional decidual do Rio Grande do Sul, Brasil**. 2004. 110 f. Tese (Doutorado em Biociências – Zoologia) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- KRÜGEL, M. M.; BURGER, M. I.; ALVES, M. A. Frugivoria por aves em *Nectandra megapotamica* (Lauraceae) em uma área de Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia**, Série Zoologia, Porto Alegre, v. 96, n. 1, p.17-24, 2006.
- LAMBERT, F. R.; MARSHALL, A. G. Keystone characteristics of bird-dispersed *Ficus* in malaysian lowland rain forest. **Journal of Ecology**, v. 79, n. 3, p. 793-809, 1991.
- LAPATE, M. E. **Frugivoria de *Ficus* (Moraceae) por aves em paisagens com diferentes níveis de fragmentação florestal no Estado de São Paulo**. 2009. 52 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, 2009.
- LEWINSOHN, T. M.; PRADO, I. P. Structure in plant-animal interaction assemblages. **Oikos**, Copenhague, v.113, n.1, p.174-184, 2006.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. v. 1.
- MARQUITTI, F. M. D.; GUIMARÃES JR, P.; MISTRETTA, M.; BITTENCOURT, L. F. MODULAR: Software for the autonomous computation of modularity in large network sets. **Ecography**, Lund, v. 37, n. 3, p. 221-224, 2014.
- MCKEY, D. The ecology of coevolved seed dispersal systems. In: GILBERT, L. E.; RAVEN, P. H. (Org.) **Coevolution of animals and plants**. Austin: University Texas, p. 159-191, 1975.
- MELIÁN, C. J.; BASCOMPTE, J. Food web structure and habitat loss. **Ecology Letters**, Montpellier, v. 5, n. 1, p. 37-46, 2002.
- MELLO, M. A. Pequenos mundos de interações entre animais e plantas mutualísticas. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 47, n. 277, p. 32-37, 2010.
- MELLO, M. A. R. Redes de dispersão de sementes: pequenos mundos mutualísticas. In: NOGUEIRA, F. C. et al. (Org.). **A teoria ecológica: perspectivas e avanços futuros nos últimos dez anos de pesquisa no Brasil**. Fortaleza: Artes Gráficas Quadricolor, 2013.

- MELLO, M. A. R.; MARQUITTI, F. M. D.; GUIMARÃES JR., P. R. KALKO, E. K. V.; JORDANO, P.; AGUIAR, M.A.M. The modularity of seed dispersal: differences in structure and robustness between bat–and bird–fruit networks. **Oecologia**, Heidelberg, v. 161, n. 1, p. 131-140, 2011.
- MEMMOT, J.; WASER, N. M.; PRICE, M. V. Tolerance of pollination networks to species extinctions. **Proceedings of the Royal Society**, v. 271, p. 2605-2611, 2004.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Resolução CONABIO nº 5, de 21 de outubro de 2009. Dispõe sobre a Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF.
- MONTOYA, J. M.; ROGERS, L.; MEMMOT, J. Emerging perspectives in the restoration of biodiversity-based ecosystem services. **Trends in Ecology and Evolution**, Cambridge, v. 27, n. 12, p. 666-672, 2012.
- MURRAY, K. G.; NADKARNI, N. M.; WHEELWRIGHT, N. T. The importance of different bird species as seed dispersers. In: NALINI, N. M. et al. (Org.). **Monteverde: ecology and conservation of a tropical cloud forest**. New York, 2000.
- NAROSKY, T.; YZURIETA, D. **Aves de Argentina y Uruguay: guía de identificación**. Buenos Aires: Vázquez Mazzini Editores, 2010.
- OLESEN, J. M.; BASCOMPTE, J.; DUPONT, Y. L.; JORDANO, P. The modularity of pollination networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 50, p. 19891-19896, 2007.
- OLIVEIRA, D. S.; FRANCHIN, A. G.; JÚNIOR, O. M. Rede de interações ave-planta: um estudo sobre frugivoria em áreas urbanas do Brasil. **Biotemas**, Florianópolis, v. 28, n. 4, p. 83-97, dez. 2015.
- OTTO, S. B.; RALL, B. C.; BROSE, U. Allometric degree distributions facilitate food-web stability. **Nature**, London, v. 450, p. 1226-1229, 2007.
- PALÁCIO, R. D.; VALDERRAMA-ARDILA, C.; KATTAN, G. H. Generalist Species Have A Central Role In The Higly Diverse Plant-Frugivore Networks. **Biotropica**, Malden, v. 48, n. 3, p. 349-355, 2016.
- PARRINI, R.; PACHECO, J. R. Frugivoria por aves em seis espécies arbóreas do gênero *Miconia* (Melastomataceae) na Mata Atlântica no Parque Nacional Serra dos Órgãos, Região Sudeste do Brasil. **Atualidades ornitológicas on-line**, n. 159, 2011.

- PASCOTTO, M. C. Avifauna dispersora de sementes de *Alchornea glandulosa* (Euphorbiaceae) em uma área de mata ciliar no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ornitologia**, São Leopoldo, v. 14, n. 3, p. 291-296, 2006.
- PERES, C. A. Identifying keystone plant resources in tropical forests: the case of gums from *Parkia* pods. **Journal of Tropical Ecology**, Winchelsea, v. 16, p. 287-317, 2000.
- PIZO, M. A. Frugivoria e dispersão de sementes por aves. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ORNITOLOGIA. 5. 1996, Campinas/SP. **Anais V Congresso Brasileiro de Ornitologia**. Campinas/SP: Universidade Estadual de Campinas, 1996.
- PIZO, M. A. Seed dispersal and predation in two populations of *Cabralea canjerana* (Meliaceae) in the Atlantic Forest of southeastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, Winchelsea, v.13, p.559-578, 1997.
- PIZO, M. A. Frugivory and habitat use by fruit-eating birds in a fragmented landscape of southeast Brazil. **Ornitologia Neotropical**, Montreal, v. 15, p. 117-126, 2004.
- PIZO, M. A. Frugivory by birds in degraded areas of Brazil. In: DENNIS, A. J.; SCHUPP, E. W.; GREEN, R. J.; WESTCOTT, D. A. (Org.). **Seed dispersal: theory and its application in a changing world**. CAB International, UK, 2007. 684 p.
- PIZO, M. A.; GALETTI, M. Métodos e perspectivas do estudo da frugivoria e dispersão de sementes por aves. In: MATTER, S. V. (Org.). **Ornitologia e Conservação**. Rio de Janeiro: Technical Books, 2010.
- R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 6 abr. 2016.
- RAGUSA-NETO, J. Fruting phenology and consumption by birds in *Ficus calyptroceras* (MIQ.) MIQ. (Moraceae). **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 62, n. 2, p. 339-346, 2002.
- RICHARDSON, D. M.; REJMÁNEK; M. Trees and shrubs as invasive alien species—a global review. **Diversity and Distributions**, v. 17, n. 5, p. 788-809, 2011.
- SCHERER, A.; MARASCHIN-SILVA, F.; BAPTISTA, L. R. Padrões de interações mutualísticas entre espécies arbóreas e aves frugívoras em uma comunidade de Restinga no Parque Estadual de Itapuã, RS, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, MG, v. 21, n. 1, p. 203-212, 2007.

- SCHERER, A.; MARASCHIN-SILVA, F.; BAPTISTA, L. R. M. Padrões de interações mutualísticas entre espécies arbóreas e aves frugívoras em uma comunidade de Restinga no Parque Estadual de Itapuã, RS, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, MG, v. 21, p. 203-212, 2007.
- SCHÚ, A.; MARTINEZ, J. Frugivoria por Aves de Duas Espécies Arbóreas Nativas do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica de Biologia**, v. 5, n. 2, p. 31-39, 2012.
- SCHUPP, E. W.; JORDANO, P.; GÓMEZ, J. M. Seed dispersal effectiveness revisited: a conceptual review. **New Phytologist**, v. 188, n. 1, p. 333-353, 2010.
- SICK, H. **Ornitologia Brasileira**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. 912 p.
- SILVA, F. R.; MONTOYA, D.; FURTADO, R.; MEMMOTT, J.; PIZO, M. A.; RODRIGUES, R. R. The restoration of tropical seed dispersal networks. **Society for Ecological Restoration**, v. 23, n. 6, p. 852-860, 2015.
- SILVA, W. R. A importância das interações planta-animal nos processos de restauração. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F.; ENGEL, V. L. GANDARA, F. B. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF. 2008.
- SILVA, W. R.; GUIMARÃES JR, P. R.; REIS, S. F.; GUIMARÃES, P. Investigating Fragility in Plant-Frugivore Networks: A Case of Study of the Atlantic Forest in Brazil. In: DENNIS, A. J.; SCHUPP, E. W.; GREEN, R. A.; WESTCOTT, D. A. (Org.). **Seed Dispersal: Theory and its Application in a Changing World**. Oxfordshire, UK: CAB International, 2007. cap. 26.
- SILVA, W. R.; MARCO JUNIOR, P.; HASUI, E.; GOMES, V. S. M. Patterns of fruit-frugivore interactions in two Atlantic Forest bird communities of south-eastern Brazil: implication for conservation. In: LEVEY; SILVA, W. R.; GALETTI, M. (Org.). **Seed dispersal and frugivory: ecology, evolution and conservation**. New York: CAB International, 2002. cap. 28.
- SNOW, D. W. The natural history of the Oilbird, *Steatornis caripensis*, in Trinidad, W. I. Population, breeding ecology and food. **Zoologica**, New York, v. 46, n. 3, p. 27-48, 1962.
- SNOW, D. W.; SNOW, B. K. Breeding seasons and annual cycles of Trinidad land-birds. **Zoologica**, New York, v. 49, p. 1-39, 1964.

- SNOW, D. W. A possible selective factor in the evolution of fruiting seasons in tropical forest. **Oikos**, Copenhagen, v. 15, p. 274-281, 1965.
- SNOW, D. W. Evolutionary aspects of fruit-eating by birds. **Ibis**, v.113, p.194-202, 1971.
- SOLÉ, R. V.; MONTOYA, J. M. Complexity and fragility in ecological networks. **Proceedings of the Royal Society of London**, London, v. 268, p. 2039-2045, 2001.
- TABARELLI, M. Flora arbórea da floresta estacional baixo-montana no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v.4, n.1, p.260-68, 1992.
- THÉBAULT, E.; FONTAINE, C. Stability of Ecological Communities and the Architecture of Mutualistic and Trophic Networks. **Science**, Washington, v. 329, p. 853-856, 2010.
- THOMPSON, J. N. Conserving interaction biodiversity. In: PICKETT, S.; OSTFELD, R. S.; SHACHAK, M.; LIKENS, G. (Org.). **The ecological basis of conservation: heterogeneity, ecosystems, and biodiversity**. New York: Chapman & Hall, 1997, p. 285-293.
- THOMPSON, J. N. **The Geographic Mosaic of Coevolution**. Chicago: The University of Chicago, 2005. 425 p.
- TIFFNEY, B. H. Evolution of seed dispersal syndromes according to the fossil record. In: MURRAY, D. R. (Org.). **Seed Dispersal**. Sydney: Academic Pr., 1986, p. 273-305.
- TYLIANAKIS, J.; LALIBERTÉ, E.; NIELSEN, A.; BASCOMPTE, P. Conservation of species interactions networks. **Biological Conservation**, Boston, v. 143, n. 10, p. 2270–2279, 2010.
- VÁZQUEZ, D. P.; BLÜTHEGEN, N.; CAGNOLO, L.; CHACOFF, N. P. Uniting pattern and process in plant-animal mutualistic networks: a review. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, p. 1445-1457, 2009.
- VIDAL, M. M.; HASUI, E.; PIZO, M. A.; TAMASHIRO, J. Y.; SILVA, W. R.; GUIMARÃES, P. R. Frugivores at higher risk of extinction are the key elements of a mutualistic network. **Ecology**, New York, v. 95, p. 3440-3447, 2014.
- WHEELWRIGHT, N. T.; ORIAN, G. H. Seed dispersal by animals: contrasts with pollen dispersal, problems of terminology, and constraints on coevolution. **American Naturalist**, Chicago, v. 119, p. 402-413, 1982.
- WILLIS, E. O. The composition of avian communities in remanescent woodlots in Southern Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, v.33, n.1, p.1-25, 1979.



ZIMMERMANN, C. E. Observações preliminares sobre a frugivoria por aves em *Alchornea glandulosa* (End. & Poepp.) (Euphorbiaceae) em vegetação secundária. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 13, n. 1, p. 533-538, 1996.

ZIMMERMANN, C. E. O uso da grandíúva, *Trema micrantha* Blume (Ulmaceae), na recuperação de áreas degradadas: o papel das aves que se alimentam de seus frutos. **Tangara**, Belo Horizonte, v. 1, n. 4, p. 177-182, 2001.

**APÊNDICE A** - Relação das espécies vegetais consumidas por aves ao longo dos transectos percorridos no município de Silveira Martins, RS. (\*) Espécie exótica invasora segundo a Resolução CONABIO nº 5, de 21 de outubro de 2009 (MMA); (-) ausência de informação; **VI**: Valor de importância; **HB** (hábito): AV= Árvore (acima de 3 m de altura); AB= Arbusto (entre 1-3 m); EE= Erva epífita; EH= Erva hemiparasita, LI= Liana; **TF**: Tipo de fruto: CD: carnosu deiscente; CI: carnosu indeiscente; SD: seco deiscente; **TFR**: Tamanho do fruto: dados em comprimento (mm) x largura (mm) ou apenas diâmetro do fruto. **K** (grau): Total de interações observadas entre a espécie de planta e a comunidade de aves frugívoras; **GS** (Grupo sucessional): P: pioneira; Si: secundária inicial; St: secundária tardia; Nc: não classificada.

Família Espécie	Código	VI <sup>1</sup>	HB <sup>2</sup>	TF <sup>3</sup>	TFR <sup>4</sup> (mm)	Grau (K) <sup>5</sup>	GS
Amaranthaceae <i>Chamissoa altissima</i> (Jacq.) Kunth	Ch_al	-	LI	CD	3,23x2,84	10	Nc
Annonaceae <i>Annona neosalicifolia</i> H. Rainer	An_ne	1,89	AV	CI	30	1	Si
Aquifoliaceae <i>Ilex brevicuspis</i> Reissek	Il_br	0,72	AV	CI	3	3	Si
Araliaceae <i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyer. & Frodin	Sc_mo	2,12	AV	CI	8,93x13,68	5	St
Arecaceae <i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	Sy_ro	6,67	AV	CI	24,0x21,0	2	P
Boraginaceae <i>Cordia ecalyculata</i> Vell.	Co_ec	1,19	AV	CI	12	1	Si
Cactaceae <i>Lepismium lumbricoides</i> (Lem.) Barthlott	Le_lu	-	EP	CI	-	1	Nc
<i>Cereus hildmannianus</i> K. Schum.	Ce_hi	-	AB	CI	-	1	Nc

Família Espécie	Código	VI <sup>1</sup>	HB <sup>2</sup>	TF <sup>3</sup>	TFR <sup>4</sup>	Grau (K) <sup>5</sup>	
Cannabaceae							
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Tr_mi	0,42	AV	CI	3,35x2,82	15	P
Euphorbiaceae							
<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	Sa_gl	0,51	AV	SD	5,45x5,31	1	P
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) M. Arg.	Al_tr	4,84	AV	SD	10,5	2	Si
Lauraceae							
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	Ne_la	12,92	AV	CI	15	6	Si, St
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	Oc_pu	15,33	AV	CI	7,46x5,85	2	Si
Loranthaceae							
<i>Tripodanthus acutifolius</i> Thieg.	Tr_ac	-	HP	CI	-	1	Nc
Melastomataceae							
<i>Leandra australis</i> (Cham.) Cogn.	Le_au	-	AB		-	2	Nc
Meliaceae							
<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	Ca_ca	6,66	AV	SD	30	21	Si, St
<i>Melia azedarach</i> L.*	Me_az	-		CI	-	3	Nc
Moraceae							
<i>Ficus cestrifolia</i> Schott1	Fi_ce	-	AV	CI	5 a 10	2	Nc
<i>Ficus luschnathiana</i> (Miq.) Miq.	Fi_lu	2,25	AV	CI	10 a 20	20	Si
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) Don ex Steud.	Ma_tr	4,14	AV		20	3	Si
<i>Morus nigra</i> L.*	Mo_ni	-	AV	CI	-	13	Nc

Família Espécie	Código	VI <sup>1</sup>	HB <sup>2</sup>	TF <sup>3</sup>	TFR <sup>4</sup>	Grau (K) <sup>5</sup>	
<b>Myrtaceae</b>							
<i>Eugenia uniflora</i> L.	Eu_un	1,66	AV	CI	7,86x10,66	2	Si
<i>Psidium guajava</i> Linnaeus, Carl von*	Ps_gu	-	AV		-	1	P
<i>Plinia rivularis</i> (Cambess.) Rotman	Pl_ri	-	AV	CI	10,6x11,19	3	St
<b>Primulaceae</b>							
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	My_um	3,03	AV	CI	6,5	13	P, Si
<i>Myrsine parvula</i> (Mez) Otegui	My_pa	-	AV	CI	-	2	Nc
<b>Rhamnaceae</b>							
<i>Hovenia dulcis</i> Thunb.*	Ho_du	1,8	AV		8	2	Nc
<b>Rosaceae</b>							
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.*	Er_ja	-	AV	CI	-	12	Nc
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	Pr_my	4,40	AV	CI	8	3	Si
<b>Rubiaceae</b>							
<i>Psychotria leiocarpa</i> Cham. & Schltldl.	Ps_le	-	AB	CI	-	1	P
<i>Psychotria carthagenensis</i> Jacq.	Ps_ca	-	AB	CI	-	1	P
<b>Rutaceae</b>							
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Za_rh	1,38	AV	SD	4	9	Si
<b>Salicaceae</b>							
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Ca_sy	11,93	AV	CD	4,44x4,65	5	Si

Família Espécie	Código	VI	HB	TF	TFR	Grau (K)	
<b>Santalaceae</b>							
<i>Phoradendron ensifolium</i> (Pohl ex DC.) Eichler	Ph_en	-	HP	CI	-	4	Nc
<i>Phoradendron affine</i> (Pohl ex DC.) Engl. & Krause	Ph_af	-	HP	CI	-	4	Nc
<i>Phoradendron piperoides</i> (Kunth) Trel.	Ph_pi	-	HP	CI	-	7	Nc
<b>Sapindaceae</b>							
<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk.	Al_ed	8,11	AV	CI	6,38x6,19	8	Si
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	Cu_ve	12,70	AV	SD	13,50x8,01	8	Si, St
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	Ma_el	10,68	AV	SD	12,21x8,24	1	St
<b>Solanaceae</b>							
<i>Vassobia breviflora</i> (Sendtn.) Hunz.	Va_br	-	AB	CI	7,83x9,21	4	P
<i>Solanum laxum</i> Spreng.	So_la	-	AB	CI	-	1	Nc
<b>Urticaceae</b>							
<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich.	Ur_ba	1,4	AB	CI	3,50x3,58	5	P

Fonte: Autora.

**APÊNDICE B** – Relação das espécies de aves registradas alimentando-se de frutos ao longo dos transectos percorridos no município de Silveira Martins, RS. (\*) Espécies migratórias de acordo com Bencke (2001); (-) Ausência de informação; **Código:** utilizado para identificar as espécies de aves no grafo bipartido (figuras 4 e 10); **Dieta:** classificada de acordo com o principal tipo de dieta apresentada pela espécie segundo Sick (1997). Insetívoros (IN), consumo de artrópodes adultos ou em forma larval; frugívoros (FR), que consomem os frutos e/ou sementes ariladas; granívoros (GR), consumo de grãos; onívoros (ON), dieta baseada em frutos, folhas, flores, sementes, pequenos e grandes invertebrados; **Massa:** o valor pode ser informado através de uma média ou o intervalo entre mínimo e máximo; **LB:** Largura do bico (mm). **K:** Grau - número total de interações da espécie; **IMP:** Índice de Importância para cada espécie.

Família Espécie	Código	Dieta <sup>1</sup>	Massa (g)	LB <sup>1</sup>	K <sup>3</sup>	IMP <sup>4</sup>
Cracidae <i>Penelope obscura</i> Temminck 1815	Pe_ob	FR	1.200	24,3	5	0,036
Trogonidae <i>Trogon surrucura</i> Vieillot, 1817	Tr_su	IN	70 - 78	18,61	3	0,012
Ramphastidae <i>Ramphastos dicolorus</i> Linnaeus, 1766	Ra_di	FR	265 - 400	29,80	5	0,015
Psittacidae <i>Pyrrhura frontalis</i> (Vieillot, 1817)	Py_fr	GR	72 - 94	11,53	10	0,081
Pipridae <i>Chiroxiphia caudata</i> (Shaw & Nodder, 1793)	Ch_ca	FR	25,6	9,31	6	0,017
Tityridae <i>Tityra cayana</i> (Linnaeus, 1766)*	Ti_ca	FR	69	14,73	2	0,005

Família Espécie	Código	Dieta <sup>1</sup>	Massa (g)	LB <sup>1</sup>	K <sup>3</sup>	IMP <sup>4</sup>
<i>Pachyramphus validus</i> (Lichtenstein, 1823)*	Pa_va	IN	43	13	4	0,010
<i>Pachyramphus castaneus</i> (Jardine & Selby, 1827)	Pa_ca	IN	17,3	-	2	0,009
<i>Pachyramphus polychopterus</i> (Vieillot, 1818)*	Pa_po	IN	19 – 21,5	10,97	1	0,001
<b>Rhyncocyclidae</b>						
<i>Mionectes rufiventris</i> Cabanis, 1846	Mi_ru	FR	13,3	3,92	3	0,004
<b>Tyrannidae</b>						
<i>Pitangus sulphuratus</i> (Linnaeus, 1766)	Pi_su	IN	60	13,62	7	0,018
<i>Myiodynastes maculatus</i> (Statius Muller, 1776)*	My_ma	IN	48 - 57	14,01	6	0,027
<i>Tyrannus melancholicus</i> Vieillot, 1819*	Ty_me	IN	32 – 42,5	12,8	1	0,005
<i>Empidonomus varius</i> Vigors, 1825*	Em_va	IN	24,5 - 29	9,75	2	0,004
<i>Megarynchus pitangua</i> (Linnaeus, 1766)*	Me_pi	IN	70	16,2	2	0,004
<i>Elaenia parvirostris</i> Pelzeln, 1868*	El_pa	FR	15,5 - 16	11,4	3	0,029
<i>Elaenia sp.</i>	El_sp	FR	-	-	4	0,001
<b>Vireonidae</b>						
<i>Vireo chivi</i> (Vieillot, 1817)*	Vi_ch	IN	14 – 18	8,29	2	0,007
<i>Cyclarhis gujanensis</i> (Gmelin, 1789)	Cy_gu	IN	25 – 30	12,1	2	0,013
<b>Corvidae</b>						
<i>Cyanocorax caeruleus</i> (Vieillot, 1818)	Cy_ca	ON	127- 158	16,6	2	0,009
<b>Turdidae</b>						
<i>Turdus rufiventris</i> Vieillot, 1818*	Tu_ru	ON	68 – 78	11,60	13	0,075
<i>Turdus amaurochalinus</i> Cabanis, 1850*	Tu_am	ON	48,5 – 67	10,56	14	0,132
<i>Turdus leucomelas</i> Vieillot, 1818	Tu_le	ON	61,5 – 78	5,10	4	0,008
<i>Turdus albicollis</i> Vieillot, 1818*	Tu_al	ON	54	11,12	12	0,043

Família Espécie	Código	Dieta	Massa (g)	LB	K	IMP
<i>Turdus subalaris</i> (Seebohm, 1887)*	Tu_su	ON	44 - 55	4,76	1	0,002
Passerelidae						
<i>Zonotrichia capensis</i> (Statius Muller, 1776)	Zo_ca	GR	21.9	4.97	9	0.043
Icteridae						
<i>Cacicus chrysopterus</i> (Vigors, 1825)	Ca_ch	ON	41	9,3	5	0,031
<i>Cacicus haemorrhous</i> (Linnaeus, 1766)	Ca_ha	ON	62 - 96	12,5	5	0,034
<i>Icterus pyrrhopterus</i> (Vieillot, 1819)	Ic_py	ON	30 - 33,3	4,02	1	0,001
Thraupidae						
<i>Tachyphonus coronatus</i> (Vieillot, 1822)*	Ta_co	GR	29	5,77	14	0,097
<i>Saltator similis</i> d'Orbigny & Lafresnaye, 1837	Sa_si	GR	37 - 48	11,20	9	0,035
<i>Tangara sayaca</i> (Linnaeus, 1766)	Ta_sa	FR	28 - 34	7,76	7	0,026
<i>Pipraeidea bonariensis</i> (Gmelin, 1789)	Pi_bo	FR	36	6,55	2	0,007
<i>Stephanophorus diadematus</i> (Temminck, 1823)	St_di	FR	41,5	6,31	3	0,007
<i>Trichothraupis melanops</i> (Vieillot, 1818)	Tr_me	GR	23	8,68	1	0,002
<i>Pipraeidea melanonota</i> (Vieillot, 1819)	Pi_me	GR	18 - 25	7,4	7	0,013
<i>Hemithraupis guira</i> (Linnaeus, 1766)	He_gu	FR	10	4,66	5	0,012
<i>Tangara preciosa</i> (Cabanis, 1850)	Ta_pr	FR	22,8	8,13	4	0,029
<i>Coryphospingus cucullatus</i> (Statius Muller, 1776)	Co_cu	GR	11 - 18	6,55	2	0,006
<i>Pyrrhocomma ruficeps</i> (Strickland, 1844)	Py_ru	GR	15,6	7,23	1	0,023
Cardinalidae						
<i>Cyanoloxia brissonii</i> (Lichstenstein, 1823)	Cy_br	GR	27,5	10,8	2	0,002
Fringilidae						
<i>Chlorophonia cyanea</i>	Ch_cy	FR	14	-	4	0,017



Família Espécie	Código	Dieta	Massa (g)	LB	K	IMP
<i>Euphonia chalybea</i> (Mikan, 1825)	Eu_ch.1	FR	19	-	4	0,030
<i>Euphonia chlorotica</i> (Linnaeus, 1766)	Eu_ch	FR	8	4,32	6	0,061
<i>Euphonia cyanocephala</i> (Vieillot, 1818)	Eu_cy	FR	14	4,04	2	0,009
<i>Euphonia pectoralis</i> (Latham, 1801)	Eu_pe	FR	16,5	-	2	0,005

Fonte: autora.