



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA:
DIVERSIDADE E MANEJO DA VIDA SILVESTRE
MESTRADO

EDNA LAIS BERTIN

A IMPORTÂNCIA DAS FONTES AUTOTRÓFICAS CAMPESTRES NA TEIA
TRÓFICA DE PASSERIFORMES DO INTERIOR DE FRAGMENTOS FLORESTAIS

SÃO LEOPOLDO

2016

Edna Lais Bertin

A IMPORTÂNCIA DAS FONTES AUTOTRÓFICAS CAMPESTRES NA TEIA
TRÓFICA DE PASSERIFORMES DO INTERIOR DE FRAGMENTOS FLORESTAIS

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção de título de Mestre, pelo Programa de Pós-graduação em Biologia (Diversidade e Manejo da Vida Silvestre) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Orientador: Prof^o. Dr. Alexandro Marques Tozetti

SÃO LEOPOLDO

2016

B544i Bertin, Edna Lais
A importância das fontes autotróficas campestres na teia trófica de passeriformes do interior de fragmentos florestais / por Edna Lais Bertin. – 2016.
72 f.: il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-graduação em Biologia, São Leopoldo, RS, 2016.
“Orientação: prof. Dr. Alexandre Marques Tozetti.”

1. Isótopos estáveis. 2. Fonte alóctone. 3. Aves. 4. Paisagens fragmentadas. 5. Mata Atlântica. I. Título.

CDU: 544.02

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais por me proporcionarem a possibilidade da realização do mestrado, ainda que sem bolsa. À estes seres que sempre apoiaram e financiaram minhas escolhas e sonhos, por todo carinho, dedicação, paciência e pelas oportunidades que pude vivenciar. Amo muito vocês, são o meu porto seguro!

Minha mãe que me ajudou nos custos com materiais e saídas à campo. Sempre revendo comigo as listas para as viagens, empregando seu conhecimento com plantas medicinais para equilibrar o meu bem estar. Grata por tudo mãe!

Meu pai que foi meu engenheiro e me ajudou a desenvolver e construir alguns equipamentos. Sem contar na parceria à campo, viajando por entre as terras de São Francisco de Paula ao raiar do dia, sempre com o chimarrão cevado. Grata por tudo pai!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandro Marques Tozetti, por abrir as portas de seu laboratório e aceitar realizar esta empreitada comigo, com um grupo distinto de sua especialidade. Muito obrigada por compartilhar seus conhecimentos, pela paciência, conselhos, sugestões, pelos momentos de descontração, pela oportunidade e pela confiança.

Agradeço aos colegas do Laboratório de Ecologia de Vertebrados Terrestres (LEVERT) pela parceria de sempre. Mateus, Diogo, Fernanda, Camila, Marluci, Natália(s), Júlia, Geraldine, Renata, pelo companheirismo, risadas, trabalho em equipe e amizade.

À Prof^a. Dr^a. Maria Virgínia Petry pela disponibilidade, auxílio nos momentos de dúvida e pelas críticas e sugestões ao longo deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Alexandre Miranda Garcia por tornar o mundo dos isótopos estáveis mais tangível e pela oportunidade de realizar a disciplina sobre o tema.

Aos amigos que de uma forma ou outra sempre estiveram ao meu lado, não somente como apoio, mas também em conversas descontraídas sugerir ideias e soluções.

Por fim, quero agradecer à essas criaturas que me fascinam desde antes de decidir ser bióloga, que na graduação despertaram o meu interesse em estudá-las e por fazerem parte da minha vida de forma mais próxima nesses últimos anos. Gratidão!

SUMÁRIO

Lista de figuras	6
Lista de tabelas	7
CAPÍTULO 1	8
Introdução geral.....	8
Efeitos da fragmentação florestal sobre a avifauna.....	8
Efeitos da fragmentação do habitat sobre as interações tróficas das espécies.....	10
As florestas e os campos de cima da serra do extremo sul do Brasil	12
Análises de isótopos estáveis em ecologia trófica.....	14
Objetivo	16
Objetivos específicos	16
Hipóteses de trabalho.....	17
Referências Bibliográficas.....	17
CAPÍTULO 2	26
Contribuição de fontes autotróficas de origem campestre na teia trófica de aves em fragmentos de florestas subtropicais.....	26
Introdução.....	28
Materiais e Métodos	31
Área de estudo	31
Avaliação da trama trófica.....	33
Protocolo para processamento e análise de isótopos estáveis	34
Espécies alvo	35
Análise dos dados	36
Resultados.....	37
Conclusões.....	44
Referências	48
Anexo I - Instruções aos autores para publicação na <i>Ecological Indicators</i>	55

Lista de figuras

Figura 1. Desenho amostral - Localização das unidades amostrais em áreas de floresta subtropical no extremo sul brasileiro. O polígono indica a área com maior extensão florestal caracterizada como área de referência (3.002ha). Os triângulos indicam a localização dos seis fragmentos amostrados sendo eles Fa (6ha), Fb (9ha), Fc (97ha), Fd (32ha), Fe (44ha) e Ff (9ha).

Figura 2. *Box-Plot* da variação dos valores das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) obtidos a partir de amostras de penas de aves capturadas nos fragmentos e na área de referência de floresta subtropical no extremo sul brasileiro. A linha horizontal no interior da caixa representa a mediana; a caixa, o 1º e o 3º quartis (entre 25 e 75% dos valores observados); as linhas verticais, os valores máximos e mínimos; e o asterisco, valores discrepantes.

Figura 3. *Biplot* com valores médios da razão isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) obtidos a partir de amostras de penas de passeriformes e das fontes basais primárias (plantas) no ambiente de floresta subtropical no extremo sul brasileiro. (A) Amostras de aves agrupadas de acordo com a localidade. Legenda: fontes primárias de origem florestal=●, fontes primárias de origem campestre=○. Valores de aves de área de referência=▲, aves de fragmentos=△ e aves granívoras=□. (B) Amostras de aves agrupadas de acordo com guilda alimentar. Legenda: Valores de fontes primárias de origem florestal=● e de origem campestre=○. Valores de aves insetívoras=◇, aves onívoras=△, e aves granívoras=□.

Figura 4. Distribuição dos valores individuais de isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) em penas de passeriformes de área de referência (círculos sem preenchimento), de fragmentos (triângulos sem preenchimento) e valores médios ($\pm\text{DP}$) de isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) das fontes primárias florestal (sistema fotossintético C3) e campestre (sistema fotossintético C4) utilizadas nos modelos de mistura bayesianos – SIAR, em áreas de floresta subtropical no extremo sul brasileiro.

Figura 5. Estimativa da contribuição das fontes florestais e campestres para as espécies de passeriformes capturadas na área de referência (A) e em fragmentos (B). Resultados obtidos pelo modelo de mistura isotópico bayesiano – SIAR, mostrando os intervalos de credibilidade de 95% (cinza claro), 75% (cinza) e 50% (cinza escuro).

Lista de tabelas

Tabela 1. Valores médios (\pm desvio padrão) das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) das amostras de penas de aves e das fontes primárias (plantas) de origem campestre e florestal. As amostras de aves foram obtidas em ambientes florestais sendo eles: área de referencia (1.606ha) e os fragmentos Fa (6ha), Fb (9ha) e Fc (54ha). Os valores estão representados em valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ ($\pm\text{DP}$) e $\delta^{15}\text{N}$ ($\pm\text{DP}$).

CAPÍTULO 1

Introdução geral

As florestas tropicais estão entre os mais importantes habitats terrestres no que diz respeito a concentração de diversidade biológica mundial (Ayres *et al.*, 2005). Essas florestas abrigam mais de 60% de todas as espécies já descritas, ainda que sua extensão seja restrita a cerca de 7% da área do planeta (Ewers *et al.* 2008; Gardner *et al.* 2009). Ao longo de toda sua distribuição, algumas das maiores formações de florestas tropicais se encontram na América do Sul. Dentre elas merece destaque a Mata Atlântica, a segunda maior floresta pluvial tropical em extensão de todas as Américas, ficando atrás apenas da Floresta Amazônica. Originalmente cobria mais de 1,5 milhões de km², abrangendo o nordeste da Argentina, o leste do Paraguai e o Brasil. Vale salientar que somente o Brasil abriga 92% de toda área desse Bioma (Fundação SOS Mata Atlântica, 2011; Tabarelli *et al.*, 2005), constituindo uma região importante para a sua manutenção. Como a maioria das formações florestais tropicais, a Mata Atlântica vem sofrendo há séculos intenso processo de perda de área e fragmentação (Myers *et al.*, 2000). Estima-se que sua área atual represente apenas 11,4% a 16% de sua extensão original (Ribeiro *et al.*, 2009).

Essa intensa perda de habitat está associada à fragmentação da paisagem (Myers *et al.*, 2000; Carvalho *et al.*, 2004) gerando o isolamento de populações e/ou espécies (Lovejoy *et al.*, 1986; Gascon *et al.*, 1999). Ao longo do território brasileiro a Mata Atlântica apresenta diferentes status de conservação, sendo que as porções mais bem preservadas se encontram no sudeste e no nordeste do país, onde ela é também mais intensamente estudada. No extremo sul brasileiro por exemplo, ela representa não mais que 7,48% das formações vegetais locais, dentre elas os campos e outras formações florestais (Fundação SOS Mata Atlântica, 2011). Além disso, o nível de conhecimento sobre as comunidades animais associadas a essa porção da Mata Atlântica é proporcionalmente inferior ao das demais regiões brasileiras onde ela ocorre.

Efeitos da fragmentação florestal sobre a avifauna

Diversos estudos já avaliaram o aspecto negativo da fragmentação florestal sobre a riqueza e composição de espécies (Anjos, 2001; Marini, 2001; Fahrig, 2003; Bregman *et al.*,

2014). Estudos desenvolvidos no sudeste do Brasil, por exemplo, revelaram que a fragmentação leva a interrupção dos processos de dispersão e migração da fauna associada, declínio no *pool* genético de populações animais e uma deterioração generalizada da diversidade biológica (Chiarello, 1999; Tabarelli *et al.*, 1999; Maldonado-Coelho & Marini, 2000). Apesar da perda de habitat e da fragmentação afetarem diversos organismos, as aves têm se mostrado especialmente sensíveis a esses processos sendo boas indicadoras da funcionalidade desses ecossistemas (Schmiegeló & Mönkkönen, 2002; Fahrig, 2003).

Algumas das principais respostas à fragmentação observadas quanto a avifauna, diz respeito a mudanças na composição de espécies. Em áreas fragmentadas há uma tendência de redução no número de espécies de aves florestais e um acréscimo significativo de espécies de áreas abertas (Henle *et al.*, 2004; Mähler Jr., 2012). Tais mudanças nas comunidades podem ser geradas por processos de extinções, migrações ou colonizações. Por essas mudanças serem relativamente previsíveis é possível avaliar o nível de alteração da paisagem a partir da configuração das comunidades de aves (Gimenes & Anjos, 2000; Develey, 2004). Parte das respostas das aves frente a mudança do habitat, se deve aos diferentes tipos de associações que elas apresentam quanto aos habitats. Desse modo espécie com diferentes afinidades quanto aos habitats apresentam diferentes respostas aos efeitos da fragmentação. Alguns componentes da história de vida das espécies são relativamente bem estudados destacando-se, por exemplo, as respostas de espécies de aves “de borda” e as de “interior de mata” frente a fragmentação florestal (Aleixo & Vielliard, 1995; Marini, 2001; Anjos *et al.*, 2011).

Aspectos da história de vida, como o comportamento alimentar por exemplo, é outro componente com ligação bastante direta ao tipo de resposta à perda ou fragmentação do habitat. Estudos apontam que a taxa de declínio das populações submetidas a um processo de fragmentação varia entre as diferentes guildas alimentares (Willis, 1979; Henle *et al.*, 2004). Nesse caso, representantes de guildas tróficas com dieta mais especializadas (e. g. insetívoras que forrageiam em troncos e galhos) tendem a reduzir suas populações ou até mesmo desaparecer, dependendo da pressão da fragmentação (Soares & Anjos 1999). Esse declínio é mais acentuado a medida em que há grande redução na área do fragmento (Willis 1979; Stouffer & Bierregaard 1995; Renjifo 1999; Donatelli *et al.*, 2007; Anjos *et al.*, 2011). Aparentemente, espécies com menor grau de especialização alimentar, tendem a ser menos negativamente afetadas pela fragmentação. Espécies generalistas quanto a dieta podem até mesmo se tornar dominantes em áreas fragmentadas (Aleixo, 1999; Henle *et al.*, 2004). Além dos componentes intrínsecos das espécies, como sua história de vida, os elementos

extrínsecos como a configuração do habitat dos fragmentos também influenciam as respostas das aves a essa alteração no habitat (Fahrig, 2003). Assim, além da perda de habitat, o tamanho do remanescente, o grau de isolamento e o nível de deterioração da cobertura vegetal do fragmento também potencializam a taxa de perda de espécies (Marini, 2001; Uezu *et al.*, 2005; Martensen, 2008). Fragmentos com áreas reduzidas e/ou com maior relação volume/área podem intensificar os efeitos negativos da perda de habitat sobre as populações animais gerando declínios populacionais ainda mais acentuados (Bender *et al.*, 1998; Anjos *et al.*, 2004; 2011).

É provável que fragmentos com maiores áreas sejam capazes de abrigar um maior número de indivíduos e/ou populações ao longo de diversas gerações, enquanto os de tamanho reduzidos dependeriam de altos valores de conectividade para a manutenção dessas espécies (Taylor *et al.*, 1993; Fahrig, 2001). O nível de conectividade age diretamente na estruturação de processos ecológicos, pois é quem determina a facilidade ou impedimento dos fluxos (matéria, energia, organismos, genes) entre fragmentos (Moilanen & Hanski, 2006). Desse modo, o aumento da conectividade em paisagens fragmentadas, se tornou uma questão de grande importância para a conservação da biodiversidade (Crooks & Sanjayan, 2006).

Efeitos da fragmentação do habitat sobre as interações tróficas das espécies

Fica claro que a relação entre fragmentação da paisagem e diversidade de aves foi e continua sendo explorada de forma intensa pelos ecólogos. Todavia, a compreensão do efeito da fragmentação sobre as relações tróficas entre as espécies é ainda muito limitada, particularmente com aves. Em função da sensibilidade das aves em relação a fragmentação já constatadas amplamente por meio das mudanças nos padrões de riqueza e composição de espécies (Anjos *et al.*, 2011), bem como pelo fato de essa resposta variar de acordo com as guildas alimentares (Gray *et al.*, 2007; Martensen, 2008), é plausível imaginar que a fragmentação gere uma alteração nas relações tróficas desse grupo. Assim, as aves representariam bons modelos para avaliar as relações existentes entre os processos de fragmentação, perda de habitat e fluxos tróficos (transferência de matéria e energia entre espécies e ambiente). Todavia, uma das maiores dificuldades em se estudar o funcionamento das tramas tróficas neotropicais é o fato delas serem altamente ramificadas (Dobson *et al.*, 2006). A alta biodiversidade Neotropical propicia o estabelecimento de tramas tróficas extremamente complexas em que diversas espécies estão aptas a desempenhar papéis similares ao longo dessa trama (Stotz *et al.*, 1996). Não há uma linearidade no fluxo de matéria e energia entre os organismos o que dificulta a interpretação dos dados e a constatação de

relações entre a configuração da paisagem e mudanças na rede trófica entre as espécies (Stotz *et al.*, 1996). Nesse aspecto, a configuração da Mata Atlântica no extremo sul brasileiro apresenta uma peculiaridade favorável ao desenvolvimento desse tipo de estudo, que será apresentada a seguir. Nos remanescentes florestais a diversidade de aves torna-se reduzida devido à diminuição do tamanho dos fragmentos (Anjos, 2001). Algumas espécies tem área de forrageamento restrita a determinados tipos de ambientes (Anjos *et al.*, 2011). Há, por exemplo, aves mais estreitamente relacionadas a floresta, tais como representantes de Dendrocolaptidae, Picidae e alguns Furnariidae (Sick, 1997). Para essas espécies, a fragmentação representaria uma redução da área de forrageamento uma vez que a floresta está sendo reduzida de tamanho. Esse fator costuma influenciar mais intensamente espécies de interior de mata do que nas de borda (Anjos, 2001). O tamanho do fragmento é relacionado aos tamanhos populacionais, e assim, está associado com a probabilidade de extinção de espécies no fragmento (Martensen, 2008). Segundo Kapos (1989), o tamanho do fragmento também pode ter efeito direto na sobrevivência de populações de flora e fauna. Dado que, quanto menor o fragmento, maior será a influência dos fatores externos sobre ele, afetando a dinâmica interna do ecossistema. Fragmentos de área pequena tendem a abrigar populações reduzidas de determinadas espécies, o que, muitas vezes, pode comprometer a manutenção da espécie em questão (Kapos, 1989; Taylor *et al.*, 1993; Bender *et al.*, 1998; Fahrig 2001; Carvalho *et al.*, 2004).

A autossuficiência de um sistema ecológico está diretamente relacionada a sua capacidade de suprir as necessidades tróficas de seus organismos (MacArthur & Moorehead, 1996). De um modo geral, a análise das tramas tróficas permite a compreensão dos processos que controlam a produção secundária (Hairston *et al.*, 1960) e a identificação de espécies-chave na regulação da comunidade (Paine, 1969). Por ser uma das interações mais elementares entre os organismos, as relações entre consumidores e suas fontes de alimento, sejam elas plantas ou animais, costumam ser afetadas quando há mudanças na configuração do habitat. A fragmentação da paisagem pela redução da cobertura vegetal, por exemplo, pode limitar o acesso às presas, afetar as estratégias de forrageamento e, em última análise, interferir nas taxas de predação e nos níveis de competição entre as espécies (Chiarello, 1999; 2000). Em situações de modificações da paisagem, as aves poderiam ser usadas como modelos para avaliação dos efeitos dessa mudanças sobre a fauna, pois são sensíveis às alterações e respondem rapidamente aos distúrbios em seu habitat (Soares & Anjos 1999; Gimenes & Anjos, 2003). Dessa forma, a redução da área florestal pode fazer com que a capacidade do fragmento remanescente em sustentar uma comunidade de aves, esteja

diretamente relacionada a sua área. Trabalhos sobre transporte de matéria e sua contribuição como fonte de nutrientes para uma população são amplamente estudados em peixes e invertebrados (Rounick *et al.* 1982; Garman, 1991; Garcia *et al.*, 2007; Lau *et al.* 2009; Oliveira *et al.*, 2014). Considerando a sua ampla mobilidade e diversidade de espécies, as aves apresentam vantagem sobre outros grupos na capacidade de contribuir para interações entre plantas e animais, auxiliando no fluxo de nutrientes indiretamente (Estrada & Fleming, 1986). Nesse sentido, indicar possíveis fontes alimentares de aves pode contribuir para apontar se o consumo de recursos provenientes de dentro e/ou de fora dos fragmentos por estes indivíduos estejam colaborando para processos sucessionais. A compreensão dos caminhos de nutrientes, a transferência de energia e as relações de recursos do consumidor nos ecossistemas, têm sido os principais focos de pesquisas em ecologia (Rezende & Mazzoni, 2006; Garcia *et al.*, 2007; Lau *et al.* 2009; Oliveira *et al.*, 2014). A análise dos isótopos estáveis presentes nos tecidos dos organismos pode indicar como a avifauna atua em suas de teias alimentares (Symes, 2012). Além disso, essa análise pode fornecer informações das fontes primárias de carbono e nitrogênio que sustentam o sistema (Peterson & Fry, 1987; Michener & Lajtha, 2007).

Uma vez que o tamanho dos fragmentos afeta a composição de espécies e seu nicho, é plausível que ele também interfira no fluxo de matéria e energia nas tramas tróficas associadas (Inger & Colwell, 1977; Phillips & Gregg, 2003, Brose *et al.*, 2004). É possível que espécies aves com maior nível de especialização alimentar (e.g. insetívoras) associadas a florestas fragmentadas tenham sua sobrevivência diretamente ligada à produtividade primária gerada fora dos fragmentos florestais (Anjos *et al.*, 2004; Donatelli *et al.* 2007). Nesse caso, os campos (Campos de Cima da Serra) associados ao domínio da Mata Atlântica no extremo sul brasileiro (Floresta Ombrófila Mista) estariam viabilizando a sobrevivência de espécies de aves florestais ao “exportarem” matéria e energia para o interior dos fragmentos (fontes alóctones de recurso) (Rounick *et al.* 1982; Brittain *et al.* 2012). Os mecanismos que estariam promovendo estes subsídios poderiam ser tanto vetores físicos (água, vento) como biológicos (animais) (Polis *et al.*, 1997). Essa exportação, por exemplo, se daria de forma indireta, por meio dos artrópodes que transitam nesse mosaico campo/floresta, podendo este fluxo ser bidirecional entre os ecossistemas.

As florestas e os campos de cima da serra do extremo sul do Brasil

A Mata Atlântica remanescente no sul do Brasil (Mata Atlântica *latu sensu*) é formada por uma série de fitofisionomias as quais são: Estepe, Floresta Ombrófila Mista, Floresta

Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual (Fundação SOS Mata Atlântica, 2011). A fitofisionomia conhecida por Floresta Ombrófila Mista, que possui como destaque fisionômico a *Araucaria angustifolia* (Mauhs & Backes, 2002) ocupava originalmente uma área de aproximadamente 200.000 km², restando atualmente algo em torno de 21.213 km² (Duarte, 2006). Estima-se que essa redução se deu devido à introdução de atividades agrícolas, pecuárias e da exploração da madeira (Simões & Lino, 2002; Fontana *et al.* 2003). No sul do Brasil (Planalto Meridional do Rio Grande do Sul), esta formação está naturalmente associada a uma fitofisionomia campestre localmente conhecida por “Campos de Cima da Serra”. Nessa região há um mosaico formado por fragmentos de diferentes tamanhos de floresta distribuído em extensas áreas de campo. A origem dessas “ilhas” florestais é complexa podendo ter uma causa natural ou não (Matte *et al.*, 2015).

Há uma variedade de terminologia associada a essas florestas em especial quanto ao processo que as configuram, sendo eles naturais (nucleação) e que originam manchas de matas ou antrópicos (fragmentação) e que originam fragmentos de matas (para detalhes veja Matte *et al.*, 2015). De modo simplificado, mas coerente com o objetivo desse estudo, todas essas formações florestais serão daqui em diante identificadas como “fragmentos de Floresta Ombrófila Mista” (FFOM). A dinâmica dessa paisagem aponta para duas forças antagonistas. Uma delas, a nucleação, gera a formação de manchas florestais, levaria ao avanço progressivo, e natural, das florestas sobre o campo (Oliveira & Pillar, 2004; Duarte *et al.*, 2006). Simultaneamente o avanço da floresta seria contido pela ação antrópica como a pecuária, agricultura as queimadas e a derrubada das florestas (Jacques, 2003). Assim, a redução da área florestal favoreceria a fragmentação enquanto que o avanço da mesma se caracterizaria pelo processo de nucleação (veja Matte *et al.*, 2015). Essas forças opostas geram questionamento de ordem prática sobre o direcionamento das ações básicas de manejo como a definição do foco de ação: afinal, deve-se limitar ou favorecer a expansão das florestas sobre o campo? Apesar dessa temática ter sido abordada do ponto de vista fitosociológico, não há informações suficientes sobre a fauna de vertebrados. Tampouco quanto à dependência trófica da fauna associada em relação aos sistemas campestre e florestal. A presença dessas manchas florestais confere maior heterogeneidade na paisagem e parecem ser fundamentais para a manutenção da alta riqueza de espécies de alguns grupos de vertebrados (Kwet & Di-Bernardo, 1999; Fahrig, 2001).

Desse modo, a configuração espacial dos Campos de Cima da Serra, cria uma excelente oportunidade para a avaliação de padrões ecológicos. Se o tamanho dos fragmentos interferir diretamente na teia trófica da comunidade de aves espera-se registrar diferentes níveis de

autossuficiência das tramas em fragmentos com diferentes áreas. A dependência a fontes alóctones de matéria está bem estudada para os sistemas limnico/marinho, e terrestre/aquático neotropicais (Peterson & Fry, 1987; Michener & Lajtha, 2007), mas não para campo/floresta. Assim, essa é uma abordagem inédita para o sistema de mosaico campo/floresta subtropicais do Brasil.

Análises de isótopos estáveis em ecologia trófica

O conceito de ecologia trófica é relativamente amplo e inclui a avaliação de diversos parâmetros da interação alimentar entre organismos e habitats (Polis *et al.*, 1997). Uma das formas mais básicas de se compreender as relações tróficas entre organismos é a identificação de presas e seu respectivos predadores (Paine, 1969; Huckembeck *et al.*, 2014). Estudos descritivos da dieta das espécies cumprem bem o papel de mapeamento dessa relações, todavia a compreensão do funcionamento das tramas tróficas vai além da descrição da dieta (Boecklen *et al.*, 2011). Uma importante abordagem nesse sentido é a avaliação do papel de diferentes habitats na sustentação das espécies, ou seja, a contribuição que os diferentes habitats oferecem para a sustentação das cadeias alimentares a eles associadas (Dauber *et al.*, 2006; Dobson *et al.*, 2006). Essa avaliação passa invariavelmente pela descrição dos fluxos de matéria e energia entre habitat e organismos. Uma forma de se mapear a trama trófica de um sistema é a combinação do método tradicional da análise do conteúdo estomacal (ACE) dos consumidores com a análise de isótopos estáveis (AIE). Nesta última, átomos como os de ^{13}C e ^{15}N podem fornecer informações importantes sobre a estrutura e funcionamento de tramas tróficas (Symes, 2012). A AIE tem ganhado força pois apesar da ACE fornecer informações detalhadas sobre a composição da dieta de cada consumidor, ela não permite identificar a fonte primária de carbono que sustenta o sistema (Schindler & Lubetkin, 2004). Consumidores secundários como aves insetívoras não consomem diretamente os produtores primários (Rubenstein & Hobson, 2004). Assim, a dependência de aves de alimentos/nutrientes na base de sua cadeia trófica jamais seriam identificados pela inspeção do seu conteúdo estomacal (Post, 2002; Martinelli *et al.*, 2009).

Essa ferramenta tem proporcionado uma visão distinta sobre o uso de recursos alimentares por animais que não é possível de outra forma (Kelly, 2000; Dalerum & Angerbjörn, 2005). Existem também outros métodos frequentemente utilizados para a avaliação de dieta além da ACE, como a análise fecal, análises de regurgitos e a observação direta, sendo que todos eles podem levar a interpretações equivocadas dos resultados. Uma das razões é a de que os itens consumidos possuem diferentes tempos de digestão levando a

superestimar a frequência de consumo de itens cuja digestão é mais lenta (Pearson *et al.* 2003). Além disso eles fornecem apenas informações sobre o que o indivíduo consumiu em um determinado local e período de tempo (Levey & Martínez del Rio, 2001; Post, 2002) e não permitem distinguir a real contribuição dos itens consumidos para a formação de tecidos (incorporação da matéria) por parte dos consumidores (Fry, 2006). A AIE é uma ferramenta que contribui para minimizar esses tipos de vies nos estudos de ecologia trófica. A AIE está disponível há mais de cinco décadas, mas vem sendo utilizada mais intensamente nos últimos 15 anos pelos ecólogos para resolver essas lacunas associadas com as análises tradicionais de dieta. Além disso, a AIE pode ser feita a partir de diferentes amostras como músculos, escamas, garras, sangue e penas sendo capaz de fornecer dados por meio de técnicas menos evasivas (Hobson & Bairlein, 2003; Pearson *et al.* 2003; Phillips & Gregg, 2003). Cada tipo de tecido possui uma taxa de renovação isotópica distinta (veja Dawson & Siegwolf, 2007), no entanto, tecidos metabolicamente inertes (e. g. penas, garras) não possuem esta taxa de renovação e refletem apenas o período de crescimento do tecido (Hobson & Clark, 1992; Kelly, 2000). Isótopos são átomos de um mesmo elemento que possuem o mesmo número de prótons (Z) e elétrons (e), mas que diferem em número de nêutrons (N) (Rubenstein & Hobson, 2004; Michener & Lajtha, 2007; Martinelli *et al.*, 2009). Porém, só são considerados isótopos estáveis quando ocorre a razão $N/Z \leq 1,5$ (Michener & Lajtha, 2007). A composição isotópica pode ser expressa em termos de δ (delta), que representam partes por mil (‰) de diferença da amostra em relação ao padrão: $\delta X = [(R_{amostra}/R_{padrão}) - 1] \times 10^3$, onde X é ^{13}C e R é a razão correspondente $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, por exemplo. Dessa forma, os valores δ correspondem à razão entre isótopos pesados e leves na amostra (e.g., ^{13}C e ^{12}C respectivamente) (Peterson e Fry 1987, Rubenstein & Hobson, 2004; Michener & Lajtha, 2007; Martinelli *et al.*, 2009). Pelo fato de os isótopos leves e pesados possuírem velocidades de reação distintas, ocorrem diferenças na composição isotópica dos elementos, possibilitando assim, a discriminação de um dos isótopos (Martinelli *et al.*, 2009). Ao processo de discriminação isotópica, dá-se o nome de fracionamento isotópico, que pode ser descrito simplesmente como um enriquecimento ou empobrecimento do isótopo da amostra em estudo (Fry, 2006; Michener & Lajtha, 2007; Martinelli *et al.*, 2009). Os isótopos de carbono (^{12}C) e nitrogênio (^{14}N) são abundantes no ambiente físico e representam elementos fundamentais na composição da estrutura de tecidos vivos, por consequência são os mais empregados em estudos de teias alimentares (Dawson & Brooks 2001; Fry 2006). Os isótopos estáveis de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $\delta^{13}\text{C}$) são usados principalmente para determinar as fontes primárias de alimento e para detectar a entrada destes elementos na cadeia trófica

(Kelly 2000, Dalerum & Angerbjörn, 2005). Os isótopos de nitrogênio ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ou $\delta^{15}\text{N}$) são indicadores de nível trófico, e podem ser usados para estimar a posição das espécies na cadeia alimentar (Kelly 2000, Post 2002, Fry 2006).

As diferenças nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre produtores ocorrem, principalmente, em razão do sistema fotossintético das plantas, onde espécies com o ciclo C_4 geralmente apresentam composições mais enriquecidas no isótopo mais pesado (^{13}C) do que plantas C_3 (Peterson & Fry 1987). Nas plantas C_4 , os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variam de -11% e -15% , enquanto que para plantas C_3 são observados valores entre -24% a -38% (Martinelli *et al.*, 2009). Dessa forma, ocorre uma maior discriminação isotópica dos átomos de carbono pelas plantas C_3 em relação às plantas C_4 (Michener & Lajtha, 2007; Martinelli *et al.*, 2009).

Cada tipo de formação vegetal possui uma composição diversificada onde as diferenças nas proporções de isótopos estáveis em diferentes plantas e ambientes são úteis para a compreensão de teias alimentares (Symes, 2012). Como o metabolismo fotossintético da maioria das plantas campestres (via C_4) gera um sinal isotópico distinto da maioria das plantas de florestas (via C_3) é possível rastrear as fontes de nitrogênio e carbono dos consumidores (e. g. aves) e assim inferir a participação de fontes primárias desses dois ambientes na composição de sua dieta.

Objetivo

O objetivo desse estudo foi o de verificar se o tamanho do fragmento florestal está relacionado com o nível de associação da dieta das aves quanto as fontes autotróficas associadas aos fragmentos florestais (fontes autóctone) ou aos campos adjacentes (fontes alóctones).

Objetivos específicos

Como objetivos específicos pretende-se avaliar se:

- a) a composição isotópica das aves varia de acordo com o tamanho (área) das florestas.
- b) o nível de associação das aves aos recursos alimentares de origem campestre (alóctones) varia de acordo com o tamanho da floresta.
- c) espécies de aves insetívoras e onívoras apresentam padrões diferentes na variação da sua composição isotópica entre fragmentos de diferentes tamanhos.

Hipóteses de trabalho

1 - Considerando que em florestas com menores áreas haja um maior aporte de fontes externas de nutrientes, é esperado que em manchas florestais pequenas a composição isotópica das aves tenha maior participação de fontes de origem campestre.

2 - Considerando que espécies insetívoras tenham uma dieta mais restrita do que as onívoras, elas devem apresentar uma menor variação em sua composição isotópica entre manchas florestais de diferentes tamanhos.

Referências Bibliográficas

Aleixo, A., Vieillard, J. E. 1995. Composição e dinâmica da avifauna da mata de Santa Genebra, Campinas, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 12(3): 493-511.

Aleixo, A. 1999. Effects of selective logging on a bird community in the Brazilian Atlantic Forest. *The Condor* 101: 537-548.

Anjos, L. 2001. Bird communities in Five Atlantic Forest fragments in Southern Brazil. *Ornitologia Neotropical*, 12: 11-27.

Anjos, L., Zanette, L., Lopes, E. V. 2004. Species richness and relative abundance of birds in natural and anthropogenic fragments of Brazilian Atlantic Forest. *Ann. Braz. Acad. Sci.* 76: 429-434.

Anjos, L., Collins, C. D., Holt, R. D., Volpato, G. H., Mendonca, L. B., Lopes, E. V., Bocon, R., Bisheimer, M. V., Serafini, P. P., Carvalho, J. 2011. Bird species abundance occupancy patterns and sensitivity to forest fragmentation: implications for conservation in the Brazilian Atlantic forest. *Biological Conservation* 144:2213-2222.

Ayres, J.M., Fonseca, G.A.B., Rylands, A.B., Queiroz, H.L., Pinto, L.P., Masterson, D., Cavalcanti, R.B. 2005. *Os corredores ecológicos das florestas tropicais do Brasil*. Sociedade Civil Mamiurauá, Belém. 256p.

Bender, D.J., Contreras, T.A., Fahrig, L. 1998. Habitat loss and population decline: a meta-analysis of the patch size effect. *Ecology*, 79, 517-529

Boecklen, W.J., Yarnes, C.T., Cook, B.A., James, A.C. 2011. On the use of stable isotopes in trophic ecology. *Annu Rev Ecol Evol S* 42: 411-40.

- Bregman, T.P., Sekercioglu, C. H., Tobias, J. A. 2014. Global patterns and predictors of bird species responses to forest fragmentation: implications for ecosystem function and conservation. *Biol. Conserv.* 169, 372–383
- Brittain, R.A., Schimmelmann, A., Parkhurst, D.F., CRAFT, C.B. 2012. Habitat use by coastal birds inferred from stable carbon and nitrogen isotopes. *Estuaries Coast* 35:633–645
- Brose, U., Ostling, A., Harrison, K., Martinez, N.D. 2004. Unifield spatial scaling of species and their trophic interactions. *Nature* 428: 167-171.
- Carvalho, F.A., Nascimento, M.T., Oliveira, P.P., Rambaldi, D.M., Fernandes, R.V. 2004. A importância dos remanescentes florestais da Mata Atlântica de baixada costeira fluminense para a conservação da biodiversidade na APA da Bacia do Rio São João/MicoLeão-Dourado/IBAMA RJ. Pp. 106-113. In: *Anais do IV Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, vol. 1*. Curitiba, Fundação O Boticário de Proteção à Natureza: Rede Nacional Pró Unidades de Conservação.
- Chiarello, A.G. 1999. Effects of fragmentation of the Atlantic forest on mammal communities in south-eastern Brazil. *Biol. Conserv.* 89:71-82.
- Chiarello, A.G. 2000. Conservation value of a native Forest fragment in a region of extensive agriculture. *Revista Brasileira de Biologia* 6(2): 237-247.
- Crooks, K. R., Sanjayan, M. 2006. Connectivity conservation: maintaining connections for nature. 1-19 p. In: K.R. Crooks e M. Sanjayan (eds.). *Connectivity Conservation*. Cambridge Universal Press, Cambridge, NY, 448 p.
- Dalerum, F. & Angerbjörn, A. 2005. Resolving temporal variation in vertebrate diets using naturally occurring stable isotopes. *Oecologia* 144:647-658.
- Dauber, J., Bengtsson, J., Lenoir, L. 2006. Evaluating effects of habitat loss and land-use continuity on ant species Richness in seminatural grassland remnants. *Conserv Biol* 20:1150–1160.
- Dawson, T.E., Brooks, PD. 2001. Fundamentals of stable isotope chemistry and measurement. In: Unkovich M. et al. (Ed.). *Stable isotope techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher: 1-18p.
- Dawson, T.E., Siegwolf, R. T. (Eds.) 2007. *Stable Isotopes as indicators of ecological change: terrestrial ecology*. Elsevier, San Diego, California.
- Develey, P. F. 2004. Métodos para estudos com aves, p. 153-168. Em: Cullen Jr,

L., rudran, R. & Valladares-Pádua, C. (Orgs.) *Métodos de estudos em biologia da conservação & manejo da vida selvagem*. Ed. UFPR.

Dobson, A., Lodge, D., Alder, J., Cumming, G.S., Keymer, J., McGlade, J., Mooney, H., Rusak, J.A., Sala, O., Wolters, V., Wall, D., Winfree, R., Xenopoulos, M.A. 2006. Habitat loss, trophic collapse, and the decline of ecosystem services. *Ecology* 87, 1915–1924.

Donatelli, R. J., Ferreira, C. D., Dalbeto, A. C., Posso, S. R. 2007. Análise comparativa da assembléia de aves em dois remanescentes florestais no interior do Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24: 362-375.

Duarte, L. S., Hartz, S. M., Pillar, V. D. 2006. Role of nurse plants in Araucaria Forest expansion over grassland in south Brazil. *Austral Ecology*, 31:520-528.

Estrada, E., Fleming, T.H. (Ed.). *Frugivores and seed dispersal*. Dordrecht: W. Junk, 1986, p. 371-384.

Ewers, R.M., Laurance, W.F., Souza, C.M. 2008. Temporal fluctuations in Amazonian deforestation rates. *Environmental Conservation* 35:303-310.

Fahrig, L., 2001. How much habitat is enough?. *Biological Conservation* 100, 65–74.

Fahrig, L. 2003. The Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 34: 487–515.

Fontana, C. S., Bencke, G. A., Reis, R. E. 2003. *Livro vermelho da fauna ameaçada de extinção no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: EDIPUCRS.

Fry, B. *Stable isotope in ecology*. Los Angeles: Corr. Printing, 2006. 308 p.

Fundação SOS Mata Atlântica. 2011. *Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: Período 2008-2010*. Fundação SOS Mata Atlântica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São Paulo. 122 p.

Garcia, A. M., Hoeninghaus, D. J., Vieira, J. P., Winemiller, K. O. 2007. Isotopic variation of fishes in freshwater and estuarine zones of a large subtropical coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73: 399–408.

Gardner, T.A., Barlow, J., Chazdon, R.L., Ewers, R.M., Harvey, C.A., Peres, C.A., Sodhi, N.S. 2009. Prospects of tropical forest biodiversity in a human modified world. *Ecology Letters* 12:561-582.

Garman, G. C. 1991. Use of terrestrial arthropod prey by a stream-dwelling cyprinid fish. *Environmental Biology of Fishes*, Dordrecht, 30: 325-331.

- Gascon, C., Lovejoy, T.E., Bierregaard, R.O., Malcolm, J.R., Stouffer, P.C., Vasconcelos, H.L., Laurance, W.F., Zimmerman, B., Tocher, M., Borges, S. (1999) Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants. *Biological Conservation*, 91, 223–229.
- Gimenes, M. R., Anjos, L. 2000. Distribuição espacial de aves em um fragmento florestal do campus da Universidade Estadual de Londrina, norte do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 17(1): 263-271.
- Gimenes, M. R., Anjos, L. 2003. Efeitos da fragmentação florestal sobre as comunidades de aves. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 25: 391–402.
- Gray, M. A., Baldauf, S. L., Mayhew, P. J. & Hill, J. H. 2007. The response of avian feeding guilds to tropical forest disturbance. *Conservation Biology*, 21: 133-141.
- Hairston, N. G., Smith, F. E., Slobodkin, S. L. 1960. Community structure, population control, and competition. *American Naturalist* 94: 421-425.
- Henle, K., Davies, K. F., Kleyer, M., Margules, C., Settele, J. 2004. Predictors of species sensitivity to fragmentation. *Biodiversity and Conservation* 13, 207–251.
- Hobson, K.A., Clark, R.G. 1992. Assessing avian diets using stable isotopes I: Turnover of ¹³C in tissues. *Condor*, 94: 181– 188.
- Hobson, K.A., Bairlein, F. 2003. Isotopic fractionation and turnover in captive garden warblers (*Sylvia borin*) implications for delineating dietary and migratory associations in wild passerines. *Canadian Journal of Zoology*, Ottawa, v. 81, p. 1630-1635.
- Huckembeck, S., Loebmann, D., Albertoni, E.F., Hefler, S.M., Oliveira, M.C.L.M., Garcia, A.M. 2014. Feeding ecology and basal food sources that sustain the Paradoxal frog *Pseudis minuta*: a multiple approach combining stomach content, prey availability, and stable isotopes. *Hydrobiologia* 740: 253–264.
- Inger, R. F., Colwell, R. K. 1977. Organization of Contiguous Communities of Amphibians and Reptiles in Thailand. *Ecological Monographs*, Vol. 47, No. 3, pp. 229-253.
- Jacques, A.V.A. 2003. A queima das pastagens naturais: efeitos sobre o solo e a vegetação. *Ciencia Rural* 33 (1):05-21.
- Kapos, V. 1989. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology*. Cambridge, v.2, n.5, p.173-185..
- Kelly, J. F. (2000). Stable isotopes of carbon and nitrogen in the study of avian and mammalian trophic ecology. *Canadian Journal of Zoology* 78: 1-27.

Kwet, A., Di-Bernardo, M. 1999. Pró-Mata — Anfíbios. Amphibien. Amphibians. EDIPUCRS, Porto Alegre, Brazil.

Lau, D. C. P., Leung, K. M. Y., Dudgeon, D. 2009. What does stable isotope analysis reveal about trophic relationships and the relative importance of allochthonous and autochthonous resources in tropical streams? A synthetic study from Hong Kong. *Freshwater Biology* 54: 127-141.

Levey, D.J., Martínez del Rio, C. (2001). It takes guts (and more) to eat fruit: lessons from avian nutritional ecology. *Auk* 118:819–831.

Lovejoy, T. E., Bierregaard JR., Rylands, J. B. Malcolm, C. Quintela, L. H. Harper, K. S. Brown JR., Powell, G. V. N. Powell, H. O. R. Schubart, and M. B. Hays. 1986. Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments, p. 257–285. In M. A. Soule' [ED.], *Conservation biology. The science of scarcity and diversity*. Sinauer, Sunderland, MA.

MacArthur, J.V., Moorehead, K.K. 1996. Characterization of riparian species and stream detritus using multiple stable isotopes. *Oecologia* 107: 232-238.

Mähler Júnior, J. K. F. 2012. Comunidades de aves em áreas florestais fragmentadas por ação antrópica e em manchas com mosaico natural floresta-campo no sul do Brasil. Tese de Doutorado. *Programa de Pós-Graduação em Ecologia*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Maldonado-Coelho, M., Marini, M. A. 2000. Effects of forest fragment size and successional stage on mixed-species flocks in southeastern Brazil. *Condor* 102:585–594.

Marini, M. A. 2001. Effects of forest fragmentation on birds of the cerrado region, Brazil. *Bird Conservation International* 11:13-25.

Martensen, A.C., Pimentel, R.G., Metzger, J.P., 2008. Relative effects of fragment size and connectivity on bird community in the Atlantic Rain Forest: implications for conservation. *Biological Conservation* 141, 2184–2192.

Martinelli, L.A., Ometto, J.P.H.B., Ferraz, E.S., Victoria, R.L., Camargo, P.B., Moreira, M.Z. 2009. Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. São Paulo: *Oficina de Textos*. 144 p.

Matte, A. L. L., Müller, S. C., Becker, F. G. 2015. Forest expansion or fragmentation? Discriminating forest fragments from natural forest patches through patch structure and spatial context metrics. *Austral Ecology*, 40, 21-31.

- Mauhs, J., Backes, A. Estrutura fitossociológica e regeneração natural de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista exposta a Perturbações Antrópicas. *Botânica*, n. 52, p. 89-109, 2002.
- Michener, R., Lajtha, K. 2007. Stable isotopes in ecology and environmental science. 2nd Ed. Victoria: Blackwell, 594 p.
- Moilanen, A., Hanski, I. 2006. Connectivity and metapopulation dynamics in highly fragmented landscapes. Pages 44–71 in K. R. Crooks and M. Sanjayan, eds. *Connectivity conservation*. Cambridge University Press, New York.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier C.G., Fonseca G.A.B., Kent. J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-845.
- Oliveira, J. M., Pillar, V. D. 2004. Vegetation dynamics on mosaics of Campos and Araucaria forest between 1974 and 1999 in southern Brazil. *Community Ecology*, 5:197-202.
- Oliveira, M. C. L. M., Bastos, R. F., Claudino, M. C., Assumpção, C. M., Garcia, A. M. 2014. Transport of marine-derived nutrients to subtropical freshwater food webs by juvenile mullets: a case study in southern Brazil. *Aquatic Biology* 20: 91–100.
- Paine, R. T. 1969. The Pisaster-Tegula interaction: prey catches, predator food preference and intertidal community structure. *Ecology* 50: 950-961.
- Pearson, S.F., Levey, D.J., Greensberg, C.H., Martinez del Rio, C. 2003. Effects of elemental composition on the incorporation of dietary nitrogen and carbon isotopic signatures in an omnivorous songbird. *Oecologia*, Berlin, v. 135, p. 516-523.
- Peterson, B. J., Fry, B. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, v. 18, p. 293-320.
- Phillips, D. L., Gregg, J. W. 2003. Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources. *Oecologia* 136: 261-269.
- Polis, G. A., Anderson, W. B., Holt, R. D. 1997. Toward an integration of landscape and food web ecology: the dynamics of spatially subsidized food webs. *Annual Review of Ecological Systems* 28: 289–316.
- Post, D.M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods and assumptions. *Ecology* 83(3): 703-718.

- Renjifo, L. M. 1999. Composition changes in a subandean avifauna after long-term forest fragmentation. *Conservation Biology*, 13: 1124-1139.
- Rezende, C. F., Mazzoni, R. 2006. Contribuição da matéria autóctone e alóctone para dieta de *Bryconamericus microcephalus* (Miranda-Ribeiro) (actinopterygii, Characidae), em dois trechos de um riacho de Mata Atlântica, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 23 (1): 58-63.
- Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J., Hirota, M. M. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142, 1141-1153.
- Rounick, J. S., Winterbourn, M. J., Lyon, G. L. 1982. Differential utilization of allochthonous and autochthonous inputs by aquatic invertebrates in some New Zealand streams: a stable carbon isotope study. *Oikos* 39: 191-198.
- Rubenstein, D.R., Hobson, K.A. 2004. From birds to butterflies: animal movements patterns and stable isotopes. *Trends Ecol Evol* 19:256–263
- Schindler, D. E., Lubetkin, S. C. 2004. Using stable isotopes to quantify material transport in food webs. In Polis, G. A., et al. (Eds), *Food webs at the landscape level*. University of Chicago Press, Chicago: 25–42.
- Schmiegelow, F.K.A., Mönkkönen, M. 2002. Habitat loss and fragmentation in dynamic landscapes: avian perspectives from the boreal forest. *Ecol. Appl.* 12:375–89
- Sick, H. 1997. *Ornitologia brasileira*. Nova Fronteira Editora, Rio de Janeiro.
- Simões, L.L., Lino, C.F. 2002. *Sustentável Mata Atlântica. A exploração de seus recursos florestais*. São Paulo: SENAC, p.222.
- Soares, E. S., Anjos, L. 1999. Efeito da fragmentação florestal sobre aves escaladoras de tronco e galho na região de Londrina, norte do estado do Paraná, Brasil. *Ornitologia Neotropical* 10: 61-68.
- Stotz, D.F., Fitzpatrick, J.W., Parker, T.A., Moskovits, D.K. 1996. *Neotropical birds: ecology and conservation*. Chicago: University of Chicago Press. P. 417-436.
- Stouffer, P. C., Bierregaard, R. O. 1995. Use of amazonian forest fragments by understory insectivorous birds. *Ecology*, 76: 2429-2445.
- Symes, C. T. 2012. *Stable Isotope Research in Southern African Birds*, *Diversity of Ecosystems*, Prof. Mahamane Ali (Ed.), ISBN: 978-953-51-0572-5, InTech.

Tabarelli, M., Mantovani, W., Peres, C.A. 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of Southeastern Brazil. *Biological Conservation* 91: 119-127.

Tabarelli, M., Pinto, L.P., Silva, J.M.C., Hirota, M.M., Bedí, L.C. 2005. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. *Megadiversidade* 1(1): 132-138.

Taylor, P.D., Fahrig, L., Henein, K., Merriam, G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68: 571-573.

Uezu, A., Metzger, J.P., Vielliard, J.M.E. 2005. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. *Biological Conservation* 123, 507–519.

Willis, E. O. 1979. The composition of avian communities in remanescent woodlots in southern Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia* 33: 1-25.

Apresentação

O manuscrito a seguir foi formatado para envio à revista *Ecological Indicators*, que possui fator de impacto 3.444 e está classificada no extrato A2 no Qualis da área de Biodiversidade e a formatação segue a exigência da revista alvo, exceto pelo idioma que será o inglês. O manuscrito inclui dados de como o tamanho do fragmento florestal está relacionado com o nível de dependência da dieta das aves quanto a fontes de carbono e nitrogênio internas e externas aos fragmentos de Floresta Ombrófila Mista, nos Campos de Cima da Serra, no sul do Brasil.

CAPÍTULO 2

Título:

Contribuição de fontes autotróficas de origem campestre na teia trófica de aves em fragmentos de florestas subtropicais.

Autores e filiações

Edna Lais Bertin¹, Mateus de Oliveira¹ & Alexandro Marques Tozetti¹

¹Laboratório de Ecologia de Vertebrados Terrestres, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Avenida Unisinos, 950, 93022-000 São Leopoldo, RS, Brasil.

E-mail address: elb.bertin@gmail.com

Resumo

A autossuficiência de um sistema ecológico está diretamente relacionada a sua capacidade de suprir as necessidades tróficas de seus organismos. Em paisagens fragmentadas, onde há redução da área de habitats originais, a manutenção da trama trófica dos habitats remanescentes (fragmentos) pode ser subsidiada pela importação de matéria de habitats adjacentes (matriz). Nesse estudo investigamos a importância dos produtores basais da matriz campestre na sustentação de consumidores de diferentes ordens em fragmentos florestais no extremo sul brasileiro pela análise de isótopos estáveis. Avaliamos a razão isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) em amostras de tecidos dos produtores primários (plantas) mais representativos nos fragmentos e de sete espécies de aves (consumidores). De um modo geral os produtores florestais se mostraram as mais importantes fontes de matéria e energia para as aves estudadas mesmo em fragmentos com áreas inferiores a 10 ha. Esse padrão foi observado tanto para espécies que forrageiam estritamente no interior dos fragmentos (*Lathrotrincus euleri*, *Lepidocolaptes falcinellus*, *Myiothlypis leucoblephara*, *Platyrinchus mystaceus* e *Syndactyla rufosuperciliata*) quanto para as mais generalistas (*Turdus* sp.). Apenas espécies que forrageiam no campo apresentaram valores de $\delta^{13}\text{C}$ similares ao de fontes campestres (*Zonotrichia capensis* e *Sicalis flaveola*). No entanto foi registrada uma tendência de que os fragmentos florestais menores recebam uma maior contribuição de fontes campestres em suas teias tróficas. Esses dados inéditos fomentam a discussão sobre o manejo dos campos que pela expansão da agricultura e da pecuária uma vez que eles podem contribuir na sustentação das teias tróficas das florestas associadas.

Palavras chave: Isótopos estáveis, fonte alóctone, avifauna, subsídio trófico, fragmentação, aves

Introdução

As florestas úmidas estão entre os mais importantes habitats terrestres no que diz respeito a concentração de diversidade biológica mundial (Ayres *et al.*, 2005). Essas florestas abrigam mais de 60% de todas as espécies já descritas, ainda que sua extensão seja restrita a cerca de 7% da área do planeta (Ewers *et al.* 2008; Gardner *et al.* 2009). Quase que invariavelmente as florestas em todo o mundo passaram por drásticos eventos de perda de do habitat original e fragmentação (Myers *et al.*, 2000; Carvalho *et al.*, 2004), processo que continua a ocorrer em algumas regiões. Esse processo tem trazido diversas consequências, dentre elas o isolamento de populações (Lovejoy *et al.*, 1986; Gascon *et al.*, 1999), mudanças na composição de espécies das comunidades (Anjos, 2001; Marini, 2001; Fahrig, 2003), interrupção dos processos de dispersão e migração da fauna e, muito frequentemente, o declínio da diversidade genética (Chiarello, 1999; Tabarelli *et al.*, 1999; Maldonado-Coelho & Marini. 2000). Apesar da perda de habitat e da fragmentação afetarem diversos grupos animais, as aves têm se mostrado especialmente sensíveis a esses processos (Schmiegel & Mönkkönen, 2002; Fahrig, 2003). Por responderem rapidamente aos distúrbios em seu habitat elas são boas indicadoras da integridade desses ecossistemas (Soares & Anjos 1999; Gimenes & Anjos, 2003).

Dentre os efeitos da fragmentação sobre a comunidade de aves, um dos mais bem estudados é a mudança na composição de espécies (Gimenes & Anjos, 2000; Anjos *et al.*, 2011). Mesmo sendo conhecidos diversos outros efeitos da fragmentação sobre a avifauna, as respostas desses organismos nem sempre são previsíveis, em parte pela grande quantidade de fatores que atuam associadas a esse distúrbio (veja Aleixo, 1999; Fahrig, 2003). Uma consequência da fragmentação ainda pouco explorada diz respeito as alterações que ela causa nas relações tróficas entre as espécies (Gray *et al.*, 2007). Nesse sentido, o tipo de recurso alimentar que compõem a dieta de cada espécie a torna mais ou meso suscetível a mudanças na disponibilidade do habitatou outra perturbação do habitat (Moegenburg & Levey, 2003). Em termos de manutenção da biodiversidade essa a avaliação do impacto da fragmentação sob uma perspectiva da ecologia trófica das espécies é extremamente relevante uma vez que permite a identificação da atuação das espécies na trama trófica dos ecossistemas (Paine, 1969). Todavia, uma das maiores dificuldades em se estudar o funcionamento das tramas tróficas neotropicais é o fato delas serem complexas e muito ramificadas (Dobson *et al.*, 2006). Essa complexidade se deve, em parte, ao fato de que a alta biodiversidade Neotropical faz com que diversas espécies possam desempenhar “papéis

tróficos” similares ao longo da trama dificultando o estabelecimento de limites de atuação ou, em outras palavras, o papel de cada espécie nessa rede (Stotz *et al.*, 1996).

Por ser uma das interações mais elementares entre os organismos, as relações entre consumidores e suas fontes de alimento, sejam elas plantas ou animais, costumam ser afetadas quando há mudanças na configuração do hábitat. A fragmentação da paisagem pode limitar o acesso às presas, afetar as estratégias de forrageamento e, em última análise, interferir nas taxas de predação e nos níveis de competição entre as espécies (Chiarello, 1999; 2000). Seguindo esse raciocínio, a redução da área florestal por exemplo, pode fazer com que a capacidade do fragmento remanescente em sustentar uma comunidade de aves também diminua (Martensen, 2008; Mähler Jr., 2012). Nesse caso, habitats adjacentes, poderiam subsidiar, em termos energéticos, as cadeias alimentares estabelecidas nos fragmentos. Isso poderia ocorrer pela entrada de sedimentos carregados pelo vento, chuva ou mesmo pela movimentação de organismo entre habitats (vetores biológicos). A dependência quanto a fontes externas de matéria ao habitat foi bem estudada para os sistemas limnico/marinho e terrestre/aquático neotropicais (Peterson & Fry, 1987; Michener & Lajtha, 2007), mas não para o sistema campo/floresta. Esse tipo de investigação sobre a funcionalidade dos ecossistemas é muito importante, pois ao avaliar a capacidade de um habitat em suprir as necessidades tróficas de seus organismos, estamos compreendendo sobre sua autossuficiência (MacArthur & Moorehead, 1996). Uma vez que as variações no tamanho dos fragmentos afeta a composição de espécies, é plausível supor que ela também interfira no fluxo de matéria e energia das suas tramas tróficas associadas (Inger & Colwell, 1977; Phillips & Gregg, 2003, Brose *et al.*, 2004). Assim, é possível que em áreas altamente fragmentadas a sobrevivência dos organismos consumidores esteja diretamente ligada à produtividade primária gerada fora dos fragmentos florestais (Anjos *et al.*, 2004; Donatelli *et al.* 2007) mesmo que sejam habitats com configuração completamente distinta a deles (Oliveira *et al.*, 2014). Estes subsídios podem ser promovidos tanto por vetores físicos (água, vento) como biológicos (animais) (Polis *et al.*, 1997), direcionando o fluxo de matéria e energia entre habitats, e que inclusive ter sentido bidirecional entre esses ecossistemas.

Trabalhos sobre transporte de matéria e sua contribuição como fonte de nutrientes para uma população são amplamente estudados em peixes e invertebrados (Rounick *et al.* 1982; Garman, 1991; Garcia *et al.*, 2007; Lau *et al.* 2009; Oliveira *et al.*, 2014), mas menos intensamente para vertebrados terrestres. Algumas das maiores formações de florestas tropicais e as maiores riquezas de aves se encontram na América do Sul fazendo dessa região um celeiro para o desenvolvimento de pesquisas sobre ecologia trófica. Dentre essas

florestas merece destaque a Mata Atlântica, a segunda maior floresta pluvial tropical em extensão de todas as Américas, abrangendo o nordeste da Argentina, o leste do Paraguai e o Brasil. Como a maioria das formações florestais Neotropicais, a Mata Atlântica vem sofrendo há séculos intenso processo de perda de área e fragmentação (Myers *et al.*, 2000). Estima-se que sua área atual represente não mais que 11,4% a 16% de sua extensão original (Ribeiro *et al.*, 2009). Ela apresenta enorme heterogeneidade sendo que a porção que se estende no extremo sul brasileiro apresenta uma peculiaridade ainda mais favorável ao delineamento de estudos sobre subsídios laterais em tramas tróficas (sensu Polis *et al.*, 1997): nela, a paisagem é formada por um mosaico de fragmentos de floresta inseridos em uma matriz campestre. Uma das principais forças promotoras da manutenção da fragmentação são as atividades agrícolas, pecuárias e a exploração da madeira (Simões & Lino, 2002; Fontana *et al.* 2003). Como resultado disso a paisagem apresenta um mosaico formado por fragmentos de diferentes tamanhos de floresta subtropical distribuídos em extensas áreas de campo.

Essa configuração favorece o estudo desse processo em condições naturais e em uma larga escala espacial. Por sua ampla extensão e alta produtividade, a matriz campestre poderia estar subsidiando a sobrevivência de espécies de aves florestais ao “exportarem” matéria e energia para o interior dos fragmentos (fontes alóctones de recurso) (Rounick *et al.* 1982; Brittain *et al.* 2012). Nesse sentido a configuração espacial de mosaico de matas e campos sulinos constitui um laboratório a céu aberto para o teste de hipóteses ecológicas.

Análise de isótopos estáveis

A análise de isótopos estáveis (AIE) é uma técnica que permite mapear a trama trófica de um sistema relacionando-a com as fontes primárias de sustentação dessa cadeia (Garcia *et al.*, 2007; Symes, 2012; Rebelato, 2014). Os isótopos dos átomos de carbono (^{13}C) e nitrogênio (^{15}N) por exemplo, podem fornecer informações importantes sobre a estrutura e funcionamento de tramas tróficas (Symes, 2012). A AIE tem ganhado força sobre métodos tradicionais como a análise de conteúdo estomacal (ACE), pois ela permite identificar a fonte primária de matéria e energia que sustenta o sistema (Schindler & Lubetkin, 2004) o que não pode ser feito pela simples descrição da dieta (Post, 2002; Martinelli *et al.*, 2009). Outros métodos de avaliação de dieta além da ACE como a análise fecal e a observação direta podem levar a equívocos pois os tempos de retenção e digestão dos componentes alimentares diferem entre si (Pearson *et al.* 2003). Além disso, eles fornecem apenas informações sobre

o que o indivíduo tenha consumido recentemente (Levey & Martínez del Rio, 2001; Post, 2002).

Assim a AIE é uma ferramenta utilizada para resolver essas lacunas normalmente associadas com as análises tradicionais de dieta e são capazes de fornecer uma interpretação do assunto através de meios menos evasivos (Hobson & Bairlein, 2003; Pearson *et al.* 2003; Phillips & Gregg, 2003). Os isótopos estáveis de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $\delta^{13}\text{C}$) são usados principalmente para determinar as fontes primárias de alimento e para detectar a entrada destes elementos na cadeia trófica (Kelly 2000, Dalerum & Angerbjörn, 2005). Os isótopos de nitrogênio ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ou $\delta^{15}\text{N}$) são indicadores de nível trófico, permitindo estimar a posição das espécies na cadeia alimentar (Kelly 2000, Post 2002, Fry 2006).

As diferenças nos valores de ^{13}C entre produtores ocorrem, principalmente, em razão do sistema fotossintético das plantas, onde espécies com o ciclo C_4 geralmente apresentam composições mais enriquecidas em ^{13}C do que plantas C_3 (Peterson & Fry 1987). Como o metabolismo fotossintético da maioria das plantas campestres gera um sinal isotópico distinto da maioria das plantas de florestas é possível rastrear as fontes de nitrogênio e carbono dos consumidores (e. g. aves) e assim inferir a participação de fontes primárias desses dois ambientes na composição de sua dieta. Com o apoio dessa ferramenta, o presente estudo teve o objetivo de avaliar o papel dos produtores primários de campo e floresta na sustentação da teia trófica de aves em fragmentos florestais. Nosso objetivo foi o de testar as seguintes hipóteses: (a) considerando que a autossuficiência da trama trófica de um fragmento está diretamente relacionada ao seu tamanho, a redução da área florestal pela fragmentação, gerará um maior aporte de fontes campestres (externas) de nutrientes para a teia trófica de suas aves; (b) considerando que espécies de aves insetívoras tenham uma dieta mais especializada do que as onívoras, elas devem ser menos influenciadas por fontes externas (e.g entrada de insetos) de nutrientes em função do tamanho de seu habitat florestal.

Materiais e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado em área de domínio da Mata Atlântica formada por um mosaico de campos naturais associados a fragmentos de Floresta Ombrófila Mista. As unidades amostrais foram distribuídas entre as coordenadas 29°14' e 29°26' S e 50°18' e 50°30' W

situadas no município de São Francisco de Paula, extremo sul do Brasil (Figura 1). Segundo o sistema de classificação de Köppen (1936), o clima da região é do tipo mesotérmico subtropical úmido com temperatura média anual de 18,5°C. As chuvas são distribuídas uniformemente durante o ano e a precipitação média anual é de 2.252 mm por ano. Como unidade amostrais foram definidos seis fragmentos com tamanhos (áreas) variando entre 6ha e 97ha e uma caracterizada como de referência (Figura 1). Essa área de referência é uma unidade de conservação federal (Floresta Nacional, em São Francisco de Paula) e apresenta uma área contínua de floresta com aproximadamente 3.002ha de extensão.

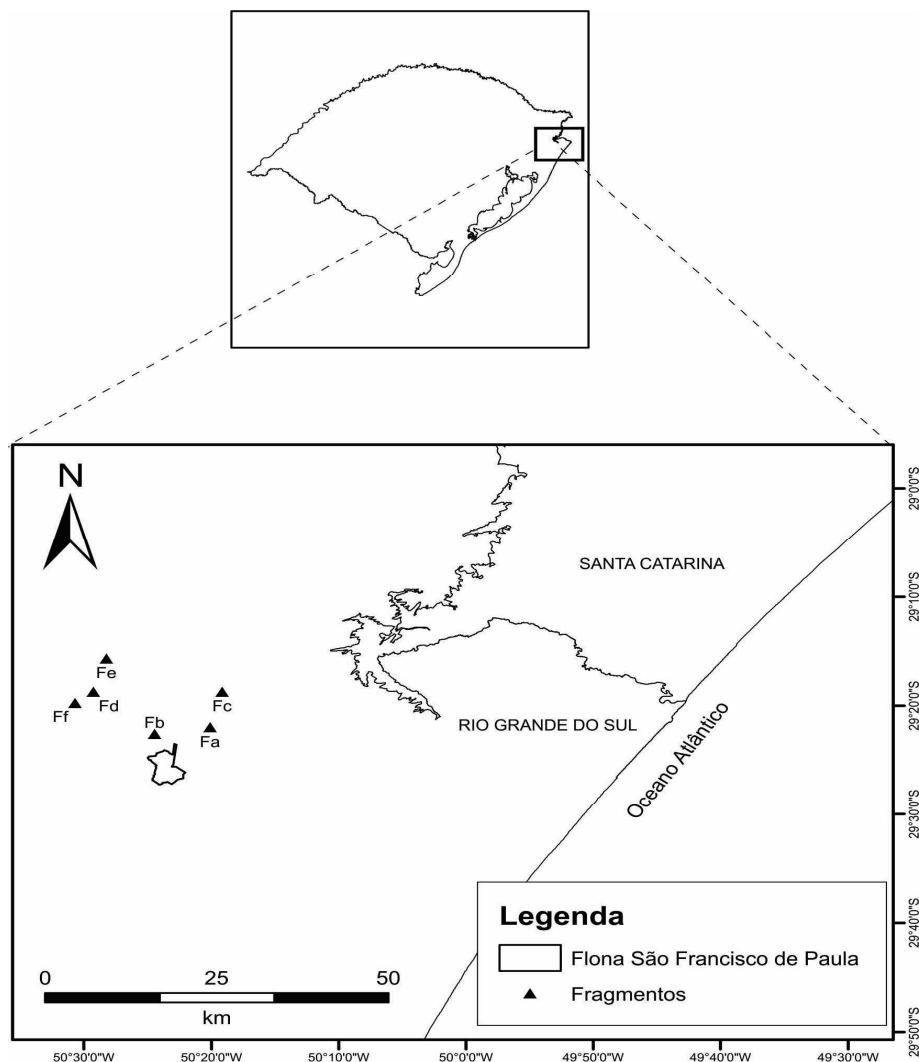


Figura 1. Desenho amostral - Localização das unidades amostrais em áreas de floresta subtropical no extremos sul brasileiro. O polígono de indica a área com maior extensão florestal caracterizada como área de referência (3.002ha). Os triângulos indicam a

localização dos seis fragmentos amostrados sendo eles Fa (6ha), Fb (9ha), Fc (97ha), Fd (32ha), Fe (44ha) e Ff (9ha).

Avaliação da trama trófica

A trama trófica foi avaliada por meio da análise de isótopos estáveis (AIE) feitas a partir de amostras de penas de aves capturadas no interior das florestas e de plantas consideradas como os principais produtores primários das florestas e da matriz campestre. Como o objetivo foi o de mapear o habitat de origem da matéria que compõem os tecidos das aves foram usadas espécies de plantas com a maior representatividade nas cadeias alimentares dos dois habitats examinados (campo e floresta). Desse modo pretende-se comparar a contribuição em termos de produtividade primária desses dois habitats na sustentação das aves das florestas. Foram selecionadas as espécies vegetais mais representativas em termos de biomassa em cada habitat e com maior potencial de contribuir para a produtividade primária da cadeia alimentar dos respectivos habitats, técnica corrente em estudos desse tipo (Garcia *et al.*, 2007). As plantas selecionadas também possuíam mecanismo fotossintético distintos (C4 para as plantas de campo e C3 para as de floresta) pois possuem diferentes níveis de enriquecimento de carbono o que favorece sua discriminação nas análises isotópicas. É importante ressaltar que o delineamento da amostragem não visava a busca de uma associação direta entre planta e seus consumidores (herbívoros ou frugívoros), mas sim ao mapeamento da contribuição dessas plantas em diferentes níveis tróficos ocupados por aves das mais variadas dietas. Isso é factível e coerente em estudos isotópicos uma vez que a razão isotópica de carbono é conservativa entre os diferentes níveis tróficos, sendo os valores dos produtores semelhantes aos dos consumidores finais. Com isso a amostragem de plantas é uma ferramenta útil para rastrear o habitat de origem da matéria dos tecidos de diferentes consumidores (Fry, 2006; Oliveira *et al.*, 2014).

A obtenção das amostras de tecido de aves foi feita simultaneamente com as coletas de amostras fontes basais (produtores) e nas mesmas localidades entre novembro de 2014 e fevereiro de 2015. A razão isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) das aves foi avaliada a partir de amostras de suas penas. Para as plantas foram usadas suas folhas. As aves foram capturadas com auxílio de redes de neblina (Keyes & Grue, 1982) instaladas no interior referenciadas formações florestais segundo a metodologia padrão da técnica (Straube *et al.*, 2010; Keyes & Grue 1982). Em cada unidade amostral foram abertas pequenas trilhas para a instalação de seis redes de neblina (3x6 m, com malha de 15 mm) dispostas duas a duas, por dois dias seguidos.

Cada par de redes foi disposto no mínimo à 200 m um do outro e à no mínimo 50 m da borda da floresta avaliada. A abertura das redes se deu entre 15-20 minutos antes do amanhecer, permanecendo assim por um período de quatro horas. Em seguida foram fechadas e somente reabertas quatro horas antes do anoitecer. Cada par de rede foi verificado em intervalos de 30 minutos para minimizar o tempo de exposição das aves. Logo que uma ave foi capturada, foram coletas ao todo seis penas do indivíduo, sendo estas armazenadas em sacos plásticos herméticos e preservadas em refrigeração até o processamento para análise de isótopos estáveis. Apenas penas do dorso e ventre foram removidas de modo a não afetar o vôo dos indivíduos e também porque essas penas sofrem muda gradual (uma vez por ano). Foram selecionadas penas em bom estado e com idade similar de modo a representar a mesma janela temporal de formação, ou seja, antes da muda, que ocorre no final do verão. Para não ocorrerem recapturas, a ponta da 9ª e 8ª rêmige da asa esquerda foi marcada com tinta atóxica, de cor discreta, para distinguir possíveis recapturados, as quais não ocorreram. Para a nomenclatura e sequência taxonômica, seguiu-se a proposição do Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (CBRO, 2014) e para as guildas alimentares seguiu-se a proposição de Volpato (2010).

Para mapear as origem das fontes primárias de matéria e energia para os consumidores, foram coletadas amostras de fontes basais (plantas) sendo selecionadas as espécies mais representativas em termos de biomassa e com maior potencial de sustentação de herbívoros (Fry, 2006), sendo elas: Apiaceae, Araucariaceae, Bromeliaceae, Myrtaceae e Poaceae (observ.pess.) do interior da floresta e do campo. As plantas foram coletadas com auxílio de tesoura de poda sempre em triplicata, sendo armazenadas em sacos plásticos herméticos e preservadas em refrigeração até o processamento de isótopos estáveis. Em todos fragmentos, assim como na área de referencia foram coletadas as mesmas espécies de plantas.

Protocolo para processamento e análise de isótopos estáveis

Depois de descongeladas, cada amostra de tecido animal e vegetal foi examinada para remoção de qualquer material aderido como poeira e detritos. As amostras foram subdivididas em frações de aproximadamente 5g para plantas e 1g para aves. Cada amostra de penas foi alocada em tubos tipo *falcon*, lavada com água deionizada cinco vezes, colocadas dentro de envelopes de papel e alocadas em estufa para secar à 60°C por um período mínimo de 24 horas. Após a secagem foram fragmentadas com auxílio de uma tesoura e maceradas com cadinho e pistilo até se tornarem pó. Sub-amostras com massa

variando entre 1.3 mg e 1.5 mg foram acondicionadas em cápsulas de estanho, e enviadas para laboratório especializado, para determinação da razão isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) através de espectrômetro de massa. Os resultados da abundância de isótopos estáveis foram expressos em notação delta (δ): $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N} = [(R_{\text{amostra}}/R_{\text{padrão}}) - 1] * 1000$, onde $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ ou ${}^{14}\text{N}/{}^{15}\text{N}$, em partes por mil (‰) (Peterson e Fry, 1987). O material padrão internacional para o carbono foi *Pee Dee Belemnite* (PDB) e para o nitrogênio foi o nitrogênio atmosférico (N^2). O desvio padrão utilizado seguiu Hobson & Bairlein (2003), onde o desvio (DP) das amostras indicam a precisão das análises, foi de $\pm 0,1\text{‰}$ para $\delta^{13}\text{C}$ e $\pm 0,3\text{‰}$ para $\delta^{15}\text{N}$.

Espécies alvo

Foram selecionadas espécies de aves com maior nível possível de associação com o interior de floresta pois forrageiam predominantemente no interior das florestas. Desse modo, a presença de sinais campestres em seus tecidos sugeriria o aporte de matéria desse habitat para os fragmentos uma vez que elas forrageiam exclusivamente na floresta. A amostragem das espécies alvo ocorreu no menor intervalo de tempo possível e que inclui seu período reprodutivo para reunir amostras de uma mesma janela temporal e tornar assim os dados comparáveis. Obtivemos amostras representativas para sete espécies de passeriformes, sendo elas: (1) *Myiothlypis leucoblephara* (Vieillot, 1817) (Parulidae), conhecido popularmente como pula-pula-assoviador, mede cerca de 14cm. É insetívoro e vive no interior da mata bem sombreada, é semiterrícola onde se locomove a pouca altura do solo (Sick, 1997); (2) *Platyrinchus mystaceus* (Vieillot, 1818) (Platyrinchidae), conhecido como patinho, mede cerca de 10cm. Insetívoro comum nos domínios da Mata Atlântica, em matas de araucária, matas subtropicais e matas mesófilas. Vive no sub-bosque e no estrato médio, frequentando o interior de florestas (Sigrist, 2009); (3) *Lepidocolaptes falcinellus* (Cabanis & Heine, 1859) (Dendrocolaptidae), conhecido como arapaçu-escamado-do-sul, mede 20cm. É uma espécie escaladora de tronco e insetívora quase exclusiva do sul do Brasil, sua família é muito sensível a alterações em seu habitat. É encontrado em matas de araucária, matas mesófilas (Sigrist, 2009); (4) *Sclerurus scansor* (Ménétrières, 1835) (Scleruridae), conhecido como vira-folhas, mede 20cm. É uma espécie insetívora que caça insetos junto ao solo no substrato da floresta e ocasionalmente seguem bandos mistos pelo sub-bosque porém apenas dentro dos limites de seus territórios (Sigrist,

2009); (5) *Turdus rufiventris* (Vieillot, 1818) (Turdidae), conhecido como sabiá-laranjeira, mede cerca de 25cm. É onívoro e vive em áreas semi-abertas e bordas de matas, frequentemente se alimenta junto ao solo (Sick, 1997; Sigrist, 2009); foi incluído nesse estudo em função de sua alta abundância e pela possibilidade de obtenção de sinais isotópicos de uma espécie menos restrita à floresta e que traria uma contribuição em termos de comparação com as demais; o mesmo raciocínio se aplica a *T. amaurochalinus* descrito a diante; (6) *Turdus albicollis* (Vieillot, 1818) (Turdidae) conhecido como sabiá-coleira, mede 22cm, onívoro. É um sabiá de interior de mata, de vasta distribuição, frequente em matas subtropicais com sub-bosque e em matas de araucária (Sick, 1997; Sigrist, 2009); *Turdus amaurochalinus* (Cabanis, 1850) (Turdidae), conhecido como sabiá-poca, mede 22cm. Onívoro comum em paisagens semi-abertas e bordas de mata, parques e quintais (Sick, 1997; Sigrist, 2009).

Para fins de validação da resolução das assinaturas isotópicas e do caráter conservativo da razão isotópica de carbono dos produtores aos consumidores de topo, foram amostradas duas espécies granívoras e que forrageiam predominantemente no campo (*Zonotrichia capensis* e *Sicalis flaveola*). Estas espécies de passeriformes de pequeno porte deveriam apresentar valores de carbono próximos aos dos produtores desse habitat. As amostras obtidas a partir dessa espécies foram usadas apenas para uma avaliação exploratória das razões isotópicas e para estabelecer um contraste entre estas e aquelas espécies que forrageiam exclusivamente no interior das florestas e são o foco principal desse estudo.

Análise dos dados

As variações nos valores médios (\pm DP) das razões isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) das principais fontes autotróficas de carbono (plantas C_3 de floresta, C_4 de campo) e aves foram comparadas visualmente através de ‘*biplots*’, onde as posições relativas das fontes de carbono orgânico assimiladas pelos consumidores (aves) foram indicadas no eixo X e a posição relativa do nível trófico foi indicada no eixo Y (Fry, 2006; Garcia et al., 2007; Oliveira et al., 2014). As diferenças nas variações dos valores médios das razões isotópicas entre área referencia e fragmento, bem como entre insetívoros e onívoros foram testadas por teste de Mann-Whitney pelo programa SYSTAT versão 13, com nível de significância igual a 0,05. Para determinar a contribuição das fontes basais florestais e campestres e a dieta dos passeriformes, foram gerados modelos de mistura bayesianos no programa R (SIAR, versão

3.0.1). (Parnell *et al.*, 2010, R Development Core Team 2012). As fontes basais florestal e campestre foram agrupadas de acordo com suas vias fotossintéticas, C₄ e C₃ respectivamente.

Os valores de discriminação isotópica consumidor-fonte usados no modelo foram $\delta^{13}\text{C} = 2,7 \pm 0,1\text{‰}$ e $\delta^{15}\text{N} = 4,0 \pm 0,3\text{‰}$ (Hobson & Bairlein, 2003), o qual indica a mudança esperada nos valores de cada isótopo a cada nível trófico. Foram utilizados os valores de isotópicos originários de *Sylvia borin* (Boddaert, 1783) testados por Hobson & Bairlein (2003), pois estes se ajustaram melhor aos dados.

Resultados

Foram analisadas 105 amostras de fontes basais (cinco espécies vegetais) e 61 amostras de consumidores (17 espécies de passeriformes) (Tabela 1). Os valores médios da razão isotópica de carbono das fontes basais de origem florestal ($\delta^{13}\text{C} = -29.29\text{‰} \pm 1.51$) foram menores do que as de origem campestre ($\delta^{13}\text{C} = -12.13\text{‰} \pm 0.47$) sendo essa diferença estatisticamente significativa (U=1560,000; p<0,001; N=105). Diferentemente do observado para o carbono, não houve diferença significativa entre os valores médios da razão isotópica de nitrogênio entre as fontes basais de origem florestal e campestre (U=665,000; p= 0,311; N=105).

Tabela 1. Valores médios (\pm desvio padrão) das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) das amostras de penas de aves e das fontes primárias (plantas) de origem campestre e florestal. As amostras de aves foram obtidas em ambientes florestais sendo eles: área de referencia (1.606ha) e os fragmentos Fa (6ha), Fb (9ha) e Fc (54ha). Os valores estão representados em valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ ($\pm\text{DP}$) e $\delta^{15}\text{N}$ ($\pm\text{DP}$).

	n	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Guilda	Unidade amostral
Consumidores					
Aves					
THAMNOPHILIDAE					
<i>Thamnophilus caerulescens</i>	2	-26,47 \pm 0,23	6,47 \pm 0,20	Insetívoro	Ref
DENDROCOLAPTIDAE					
<i>Lepidocolaptes falcinellus</i>	10	-23,75 \pm 1,09	7,81 \pm 0,84	Insetívoro	Ref, Fa, Fb, Fc, Fd, Fe, Ff
FURNARIIDAE					
<i>Syndactyla rufosuperciliata</i>	3	-24,65 \pm 1,04	8,36 \pm 0,71	Insetívoro	Fc, Fd
PIPRIDAE					
<i>Chiroxiphia caudata</i>	1	-26,29 \pm 0	5,98 \pm 0	Onívoro	Ref
TITYRIDAE					
<i>Pachyramphus polychopterus</i>	1	-23,47 \pm 0	7,04 \pm 0	Insetívoro	Fc
PLATYRINCHIDAE					
<i>Platyrinchus mystaceus</i>	1	-24,97 \pm 0	9,51 \pm 0	Insetívoro	Ref
TYRANNIDAE					
<i>Elaenia mesoleuca</i>	7	-24,49 \pm 0,96	6,30 \pm 0,70	Insetívoro	Ref, Fb, Fc
<i>Lathrotrincus euleri</i>	1	-25,91 \pm 0	8,96 \pm 0	Insetívoro	Ref
TURDIDAE					
<i>Turdus rufiventris</i>	6	-23,08 \pm 0,97	8,82 \pm 1,00	Onívoro	Ref, Fe
<i>Turdus amaurochalinus</i>	2	-22,98 \pm 0,03	7,58 \pm 0,71	Onívoro	Fa
<i>Turdus albicollis</i>	2	-24,19 \pm 0,39	9,05 \pm 0,79	Onívoro	Ref
PASSERELLIDAE					

<i>Zonotrichia capensis</i>	7	-19,69±2,09	8,19±0,82	Granívoro	Fa, Fc, Ff
PARULIDAE					
<i>Myiothlypis leucoblephara</i>	10	-24,36±0,58	8,36±0,59	Insetívoro	Ref, Fd, Fe
ICTERIDAE					
<i>Cacicus chrysopterus</i>	2	-23,98±0,03	7,25±0,21	Onívoro	Fb, Fc
THRAUPIDAE					
<i>Saltator similis</i>	1	-20,10±0	8,55±0	Onívoro	Ref
<i>Poospiza cabanisi</i>	3	-23,48±1,48	8,65±0,21	Onívoro	Fb, Fe
<i>Sicalis flaveola</i>	2	-9,69±0,50	6,47±0,52	Granívoro	Fa

Fontes Basais

Fonte Florestal

ARAUCARIACEAE

<i>Araucaria angustifolia</i>	15	-28,90±0,14	1,41±0,32		Ref, Fa, Fb, Fc, Fd, Fe, Ff
-------------------------------	----	-------------	-----------	--	-----------------------------

APIACEAE

<i>Eryngium sp.</i>	15	-28,42±0,21	2,09±0,85		Ref, Fa, Fb, Fc, Fd, Fe, Ff
---------------------	----	-------------	-----------	--	-----------------------------

MYRTACEAE

<i>Myrcia sp.</i>	15	-31,36±0,28	1,93±0,53		Ref, Fa, Fb, Fc, Fd, Fe, Ff
-------------------	----	-------------	-----------	--	-----------------------------

BROMELIACEAE

<i>Vriesea sp.</i>	15	-28,19±0,30	-0,68±0,78		Ref, Fa, Fb, Fc, Fd, Fe, Ff
--------------------	----	-------------	------------	--	-----------------------------

Fonte Campestre

Poaceae	15	-12,14±0,28	0,67±0,97		Ref, Fa, Fb, Fc, Fd, Fe, Ff
---------	----	-------------	-----------	--	-----------------------------

Total	136				
--------------	-----	--	--	--	--

A composição isotópica de carbono das aves florestais se mostrou sensível ao tipo de paisagem. As aves capturadas na área de referência apresentaram valor médio da razão isotópica do carbono ($\delta^{13}\text{C} = -24.53\text{‰} \pm 1.66$) menor do que as capturadas nos fragmentos ($\delta^{13}\text{C} = -23.86 \pm 1.03$) sendo essa variação estatisticamente significativa ($U = 400,000$; $p < 0,05$; $N = 52$; Figura 2). Aparentemente a fragmentação não interfere na posição trófica das aves uma vez que não foi detectada variação significativa quanto ao nível de enriquecimento de nitrogênio entre as áreas ($U = 278,000$; $p = 0,843$; $N = 52$). Foi registrada uma diferença significativa das razões isotópicas de carbono entre as três guildas de consumidores ($H = 26,80651$; $p < 0,001$; $N = 61$) sendo que as aves insetívoras apresentaram valores menores ($\delta^{13}\text{C} = -24.40\text{‰} \pm 1.05$) do que as onívoras ($\delta^{13}\text{C} = -23.39\text{‰} \pm 1.40$), e em ambas elas foram inferiores ao das aves granívoras ($\delta^{13}\text{C} = -17.47\text{‰} \pm 4.77$). Considerando o aspecto conservativo do sinal de carbono ao longo da cadeia alimentar, o resultado sugere que dentre as espécies florestais são as aves onívoras as que apresentam uma maior contribuição de fontes campestres na formação dos seus tecidos. O relativamente alto nível de enriquecimento de carbono registrado nas aves granívoras era esperado uma vez que ele é similar ao das plantas campestres, habitat em que predomina o forrageio das duas espécies analisadas. Além disso esse resultado reforça nossa hipótese de que este seja um bom parâmetro para avaliar a contribuição da produtividade primária do habitat campestre na formação dos tecidos das aves. Não houve diferença significativa entre as guildas no que diz respeito ao nitrogênio (insetívoros: $\delta^{15}\text{N} = 7.70\text{‰} \pm 1.10$; onívoros: $\delta^{15}\text{N} = 8.30\text{‰} \pm 1.60$; granívoros: $\delta^{15}\text{N} = 7.81\text{‰} \pm 1.06$) ($H = 3,937413$ $p = 0,1396$ $N = 61$).

Em uma avaliação visual do *biplot* de dispersão dos valores médios das razões isotópicas, observa-se a distribuição das amostras em relação as proporções de nitrogênio e carbono sendo que este último é o principal responsável pela segregação dessas amostras. Nota-se uma associação estreita da assinatura de carbono entre plantas de floresta e as aves que forrageiam no interior nesses habitats. Por sua vez, as aves granívoras possuem valores de enriquecimento de carbono mais próximos aos das fontes basais campestres (Figura 3A). Esses resultados reforçam a similaridade entre razões isotópicas de carbono e afinidade quanto ao habitat de forrageio das espécies.

Espécies insetívoras capturadas nos fragmentos apresentaram razões isotópicas com valores superiores ($\delta^{13}\text{C} = -24.15 \pm 0.91$) em relação aquelas capturadas na área de referência ($\delta^{13}\text{C} = -25.0 \pm 1.18$) sugerindo uma maior contribuição de fontes campestres na formação de seus tecidos ($U = 64$; $p = 0,02$; $N = 35$) (Figura 3A). Por outro lado os valores

das razões isotópicas das espécies onívoras não variou significativamente entre as aves capturadas nos fragmentos ($\delta^{13}\text{C} = -23.20 \pm 0.99$) e na área referencial ($\delta^{13}\text{C} = -23.74 \pm 2.02$) ($U = 21$; $p = 0,23$; $N = 17$).

Isso reforça a hipótese de que a fragmentação das florestas afeta as relações tróficas das aves, favorecendo a assimilação de matéria originada na matriz campestre (nesse caso indicada por valores de $\delta^{13}\text{C}$ médios) (Figura 3B).

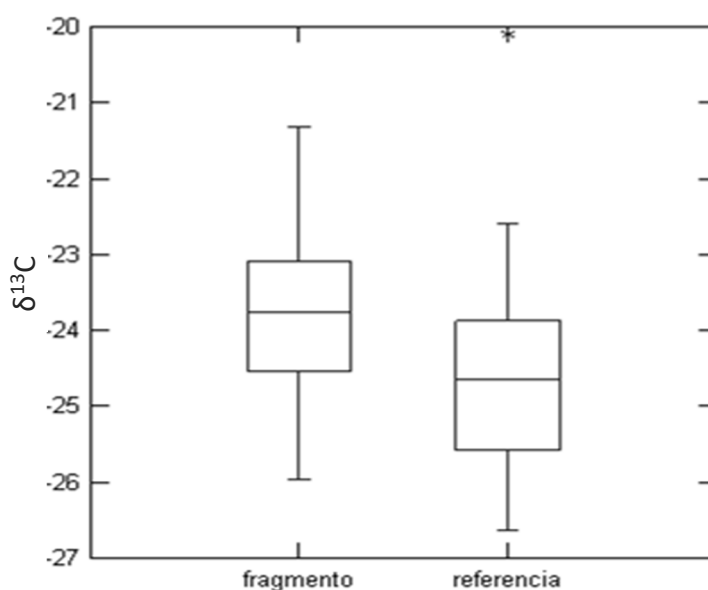


Figura 2. Box-Plot da variação dos valores das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) obtidos a partir de amostras de penas de aves capturadas nos fragmentos e na área de referência de floresta subtropical no extremo sul brasileiro. A linha horizontal no interior da caixa representa a mediana; a caixa, o 1º e o 3º quartis (entre 25 e 75% dos valores observados); as linhas verticais, os valores máximos e mínimos; e o asterísco, valores discrepantes.

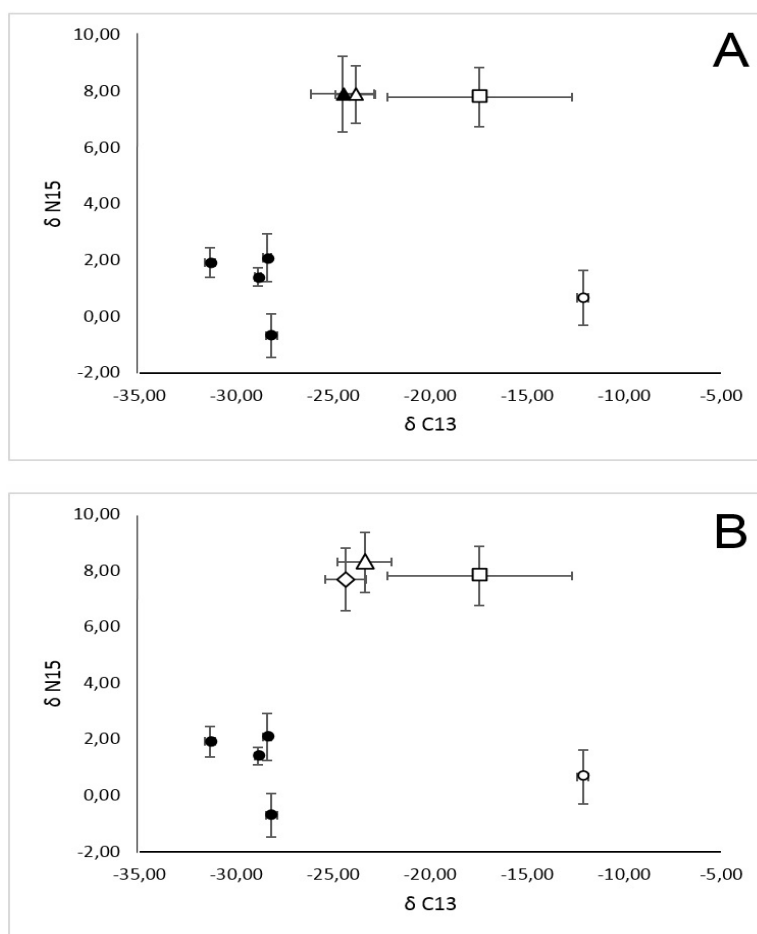


Figura 3. *Biplot* com valores médios da razão isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) obtidos a partir de amostras de penas de passeriformes e das fontes basais primárias (plantas) no ambiente de floresta subtropical no extremo sul brasileiro. (A) Amostras de aves agrupadas de acordo com a localidade. Legenda: fontes primárias de origem florestal= ● fontes primárias de origem campestre= ○. Valores de aves de área de referência= ▲, aves de fragmentos=Δ e aves granívoras=□. (B) Amostras de aves agrupadas de acordo com guilda alimentar. Legenda: Valores de fontes primárias de origem florestal= ● e de origem campestre=○. Valores de aves insetívoras=◇, aves onívoras=Δ, e aves granívoras=□.

Essa tendência é reforçada pela análise quantitativa gerada no modelo de mistura (Figura 4). No *biplot* gerado no modelo de mistura, as amostras de aves apresentam maior proximidade em termos de enriquecimento de carbono com as fontes basais de origem florestal, independentemente de sua origem (fragmentos ou área de referência). Todavia, ainda que sutil, o modelo sugere que as amostras de consumidores cujos valores de

carbono apresentam maior proximidade ao das fontes florestais são, as das aves capturadas na área de referência. Conseqüentemente, o modelo mostra que as amostras com maior nível de enriquecimento de carbono, e que portanto apresentam maior probabilidade de terem recebido uma maior contribuição das fontes campestres em sua formação, foram registradas entre as aves capturadas nos fragmentos. (Figura 4). Ainda que de modo discreto, o modelo de mistura reforça a existência de uma relação entre o tamanho da floresta (que pode ser reduzido pela fragmentação) e o nível de contribuição de fontes alóctones na formação do tecido das aves analisadas.

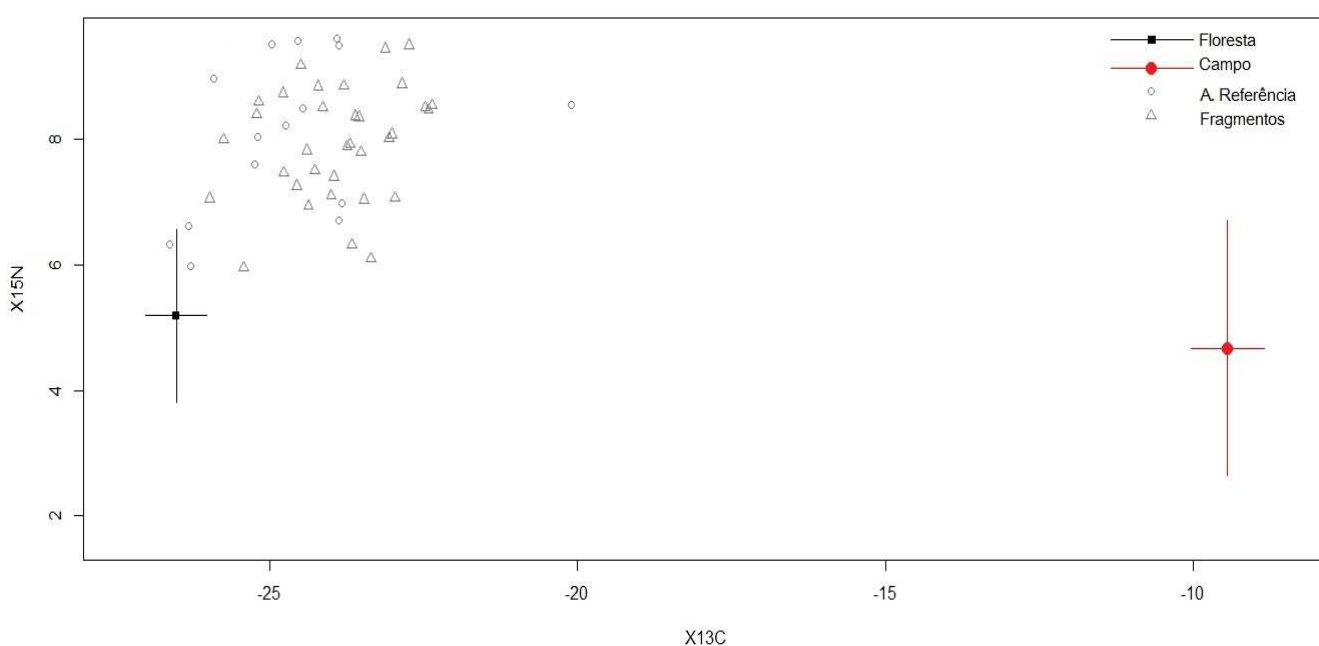


Figura 4. Distribuição dos valores individuais de isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) em penas de passeriformes de área de referência (círculos sem preenchimento), de fragmentos (triângulos sem preenchimento) e valores médios ($\pm\text{DP}$) de isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) das fontes primárias florestal (sistema fotossintético C3) e campestre (sistema fotossintético C4) utilizadas nos modelos de mistura bayesianos – SIAR, em áreas de floresta subtropical no extremo sul brasileiro.

Os resultados obtidos pelo modelo de mistura indicam que a formação dos tecidos (penas) das aves, possuem uma maior contribuição de fontes primárias florestais, com intervalo de credibilidade IC (95%) 0,83% a 0,93% do que de fontes primárias campestres IC (95%) de 0,06% a 0,17% para área de referência (Figura 5.A). Com relação a contribuição das fontes primárias em fragmentos, os intervalos de credibilidade para fontes primárias florestais e para fontes primárias campestre, IC (95%) foram de 0,82%

a 0,86% e 0,14% a 0,18%, respectivamente (Figura 5. B). Dessa forma, observa-se que a dieta das aves amostradas é fortemente sustentada pelas fontes alimentares basais do ambiente florestal.

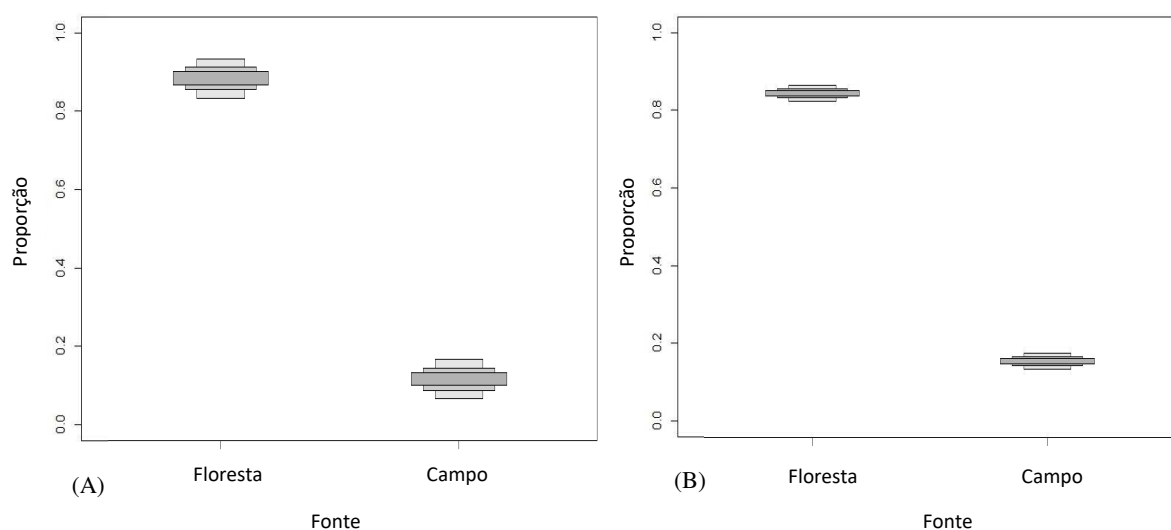


Figura 5. Estimativa da contribuição das fontes florestais e campestres para as espécies de passeriformes capturadas na área de referência (A) e em fragmentos (B). Resultados obtidos pelo modelo de mistura isotópico bayesiano – SIAR, mostrando os intervalos de credibilidade de 95% (cinza claro), 75% (cinza) e 50% (cinza escuro).

Conclusões

Nossos resultados indicaram similaridade na razão isotópica de carbono das espécies de aves florestais, o que sugere que sua sustentação trófica está baseada na produtividade primária florestal. Isso foi observado tanto para espécies com alta fidelidade à floresta como para espécies com grande mobilidade e capazes de explorar bordas de mata e eventualmente habitats mais abertos (*Turdus* sp). Isso reforça a provável elevada produtividade primária das florestas subtropicais garantindo a manutenção de comunidades de aves com dieta especializada mesmo em fragmentos pequenos (<9ha). Esse resultado aponta o papel fundamental dos remanescentes florestais na manutenção da trama trófica em que as aves (e provavelmente outros consumidores) participam. Houve uma participação reduzida da produtividade florestas apenas nos tecidos das duas espécies granívoras (*Zonotrichia capensis* e *Sicalis flaveola*) o que era esperado em função de seu comportamento de forrageio associado ao campo. Esse resultado valida a

hipótese de que a incorporação de matéria originária do campo pode ser estimada a partir da assinatura isotópica de carbono desses consumidores. É importante ressaltar que o mapeamento das fontes de carbono sugerem o habitat de origem da matéria, uma vez que a razão isotópica das plantas de campo amostradas foi significativamente diferente da razão das plantas florestais. Além disso, o caráter conservativo desse valor ao longo da cadeia alimentar permite o estabelecimento de inferências sobre a contribuição dos diferentes habitats na construção dos tecidos de consumidores. Isso pode ser feito independentemente do nível trófico do consumidor. Com isso, nossos dados sugerem que há grande contribuição das florestas na sustentação das espécies associadas.

O campo revelou uma importância secundária na sustentação das aves da floresta. Esse padrão se manteve tanto na área de referência quanto nos fragmentos. Todavia, o conjunto de aves capturadas nos fragmentos apresentaram uma tendência a receberem uma contribuição das fontes campestres um pouco maior do que a observada em aves da área referência. Apesar de discreta, essa tendência, sugere que os fragmentos menores sejam mais suscetíveis ao aporte de fontes externas de nutrientes. Em última análise, há indícios de que a matriz aumente sua contribuição na sustentação da avifauna a medida que as áreas florestais são reduzidas. Se correta, essa observação indica a possibilidade de uma interferência dinâmica interna do ecossistema local em função dos processos que ocorrem em habitats externos a ela (Kapos, 1989; Taylor *et al.*, 1993; Bender *et al.*, 1998; Fahrig 2001, 2003; Carvalho *et al.*, 2004), ou seja, esse resultado pode reforçar a hipótese de que os habitats estão interrelacionados em função das relações tróficas de suas espécies. Extrapolando essa realidade para reduções ainda maiores das florestas é possível que a produtividade campestra passe a ser a principal fonte de sustentação dos consumidores florestais. Ainda que pareça um censo comum, a possibilidade de que fragmentos com maiores áreas sejam capazes de abrigar um maior número de indivíduos e/ou populações ao longo de diversas gerações (Taylor *et al.*, 1993; Fahrig 2001) não está ainda bem sedimentada para algumas situações específicas de fragmentação. Em geral tais previsões são baseadas na análise da configuração dos fragmentos como tamanho e conectividade, mas sem uma abordagem trófica. Diagnósticos baseados nas relações tróficas dos organismos são mais comuns para invertebrados ou vertebrados em sistema aquáticos (Layman *et al.*, 2012). Ainda assim, parte das conclusões desses estudos deva se aplicar a sistema como a interface campo/floresta. Essa possibilidade é reforçada por estudos que mostram inclusive que o tamanho do fragmento pode ter efeito direto na sobrevivência de populações associadas (Kapos 1989).

Algumas espécies avaliadas nesse estudo têm sua dieta baseada no forrageamento estreitamente relacionadas a floresta, tais como *Lepidocolaptes falcinellus*, *Platyrinchus mystaceus*, *Sclerurus scansor*, enquanto que outras são mais generalistas, como *Turdus albicollis*, *T. amaurochalinus* e *T. rufiventris* (Sick, 1997; Soares & Anjos, 1999; Anjos, 2004). Para as primeiras espécies, a fragmentação representaria uma redução da área de forrageamento o que influenciaria mais intensamente espécies de interior de mata do que nas de borda (Anjos, 2001). Assim, espécies que nunca ou raramente forrageariam fora do fragmento poderiam depender da “importação” de alimento de ecossistemas adjacentes (Polis 1997; Brittain *et al.* 2012). É interessante observar diferenças na participação de fontes campestres na formação dos tecidos das aves também foram observadas na comparação entre guildas alimentares o que sugere uma interferência distinta do processo da redução do habitat (gerada nesse caso pela fragmentação) em função do hábito alimentar das espécies. A presença de sinais isotópicos de carbono diferentes entre as guildas reflete a distinção de seus hábitos alimentares, o que é corroborado por resultados de outros estudos de ecologia trófica (Willis, 1979; Belton, 1994; Sick, 1997; Aleixo, 1999; Tabarelli *et al.*, 1999; Sigrist, 2009; Volpato, 2010). Os insetívoros apresentaram uma menor tendência a assimilação de fontes campestres do que os onívoros em área fragmentadas. É necessário resaltar que tais espécies consumidoras de insetos, como é o caso de *Lathrotrincus euleri*, *Lepidocolaptes falcinellus*, *Myiothlypis leucoblephara*, *Platyrinchus mystaceus* e *Syndactyla rufosuperciliata*, forragiam em áreas reduzidas e restritas ao interior da floresta (Sick, 1997; Sigrist, 2009). Dada a história de vida dessas cinco espécies de insetívoros, todas apresentam hábitos relativamente “sedentários”, ou seja, possuem área de forrageamento restrita a determinados tipos de ambientes, nesse caso o interior da floresta (Sick, 1997). Hábito distinto às espécies de origem campestre que apresentam ampla área de forrageamento e maior espectro alimentar (Sick, 1997; Sigrist, 2009). A pequena influência do campo na formação dos tecidos das espécies avaliadas pode estar relacionada a grande especificidade da dieta de algumas delas, em especial aquelas caracterizadas como insetívoras de folha, insetívoras de tronco, que forrageiam no solo e no sub-bosque. Todavia, a pequena sensibilidade em termos de mudança na origem das fontes basais para essa espécies independentemente do tamanho da floresta contradiz o fato de que espécies com dieta especializadas são mais sensíveis à fragmentação florestal (Stouffer & Bierregaard, 1995; Anjos *et al.*, 2004; Donatelli *et al.* 2007; Anjos *et al.*, 2011).

É importante ressaltar que a contribuição do campo pode ter sido subestimada uma vez que usamos penas como tecido de avaliação isotópica. A utilização de outros tipos de tecido como o ósseo, por exemplo, poderia representar uma janela temporal superior do que das penas, isso poderia levar a detecção de variações ainda maiores nos sinais isotópicos. Todavia, a utilização de penas permite a obtenção de amostras de forma minimamente evasiva no campo (Cherel *et al.*, 2005) e relativamente rápida sendo por isso uma das fontes mais frequentemente usadas nesse tipo de estudo. Por nossas amostras representarem uma janela temporal relativamente curta, é possível que o fluxo de matéria entre habitats seja ainda maior do que observamos. Assim, a tendência de que os campos aumentem sua participação na sustentação da fauna dos fragmentos a medida que estes reduzem sua área é extremamente relevante. O aporte ou os subsídios laterais vem sendo relatados em outras interfaces como os habitat límnic/marinho, e terrestre/aquático (Peterson & Fry, 1987; McArthur & Moorhead, 1996; Polis *et al.*, 1997). Contudo, essa abordagem é inédita para o sistema campo/floresta subtemperados bem como para aves neotropicais. Fragmentos de área reduzidas tendem a abrigar populações menores, o que, muitas vezes, pode comprometer a manutenção de algumas espécies (Kapos, 1989; Taylor *et al.*, 1993; Bender *et al.*, 1998; Fahrig 2001; Carvalho *et al.*, 2004). Essa discussão é bastante significativa para a porção da Mata Atlântica do extremo sul brasileiro onde há uma discussão sobre o manejo desses remanescentes. De forma simplificada podemos assumir que a dinâmica dessa paisagem aponta para duas forças antagonistas. Uma delas, conhecida como nucleação, que gera novas manchas florestais, levaria ao avanço progressivo, e natural, das florestas sobre o campo (Oliveira & Pillar, 2004; Duarte *et al.*, 2006). A outra força age simultaneamente e limita o avanço da floresta pela ação antrópica como a pecuária, agricultura as queimadas e a derrubada das florestas (Jacques, 2003). Assim, a redução da área florestal favoreceria a fragmentação enquanto que o avanço da mesma se caracterizaria pelo processo de nucleação (Matte *et al.*, 2015). Essas forças opostas geram questionamento de ordem prática sobre o direcionamento das ações básicas de manejo como ao tomada de decisão sobre a necessidade de limitar ou favorecer a expansão das florestas sobre o campo. Apesar dessa temática ter sido abordada do ponto de visto fitossociológico, não há informações suficientes sobre a fauna de vertebrados. Tampouco quanto à dependência trófica da fauna associada em relação aos sistemas campestre e florestal. Nosso dados apontam para a possibilidade de que comunidades florestais sejam mantidas parcialmente com base em subsídios tróficos de sistemas campestres adjacentes. Mesmo que pequena, essa

contribuição campestre pode gerar efeitos intensos nas cadeias alimentares que se ramificam para o interior do fragmentos. A possibilidade de rastrear com maior precisão a entrada de matéria e energia para a floresta bem como sua transferências ao longo da cadeia alimentar seria um importante passo para o planejamento do manejo desses habitats. Em especial pelo fato de existir regionalmente o consenso de que a paisagem original era a campestre (Oliveira & Pillar, 2004; Duarte *et al.*, 2006) o que pode levar a uma tendência a facilitar seu avanço sobre os remascentes florestais nesse cenário, nossos dados enriquecem a discussão sobre a possibilidade de elevar a atenção ao manejo desses campos (e.g. agricultura, pastejo, queimadas) que tendem a afetar diretamente as teia tróficas da florestas associadas.

Referências

- Aleixo, A. 1999. Effects of selective logging on a bird community in the Brazilian Atlantic Forest. *The Condor* 101: 537-548.
- Anjos, L. 2001. Bird communities in Five Atlantic Forest fragments in Southern Brazil. *Ornitologia Neotropical*, 12: 11-27.
- Anjos, L., Zannette, L., Lopes, E. V. 2004. Species richness and relative abundance of birds in natural and anthropogenic fragments of Brazilian Atlantic Forest. *Ann. Braz. Acad. Sci.* 76: 429–434.
- Anjos, L., Collins, C. D., Holt, R. D., Volpato, G. H., Mendonca, L. B., Lopes, E. V.; Bocon, R., Bisheimer, M. V., Serafini, P. P., Carvalho, J. 2011. Bird species abundance occupancy patterns and sensitivity to forest fragmentation: implications for conservation in the Brazilian Atlantic forest. *Biological Conservation* 144:2213–2222.
- Ayres, J.M., Fonseca, G.A.B., Rylands, A.B., Queiroz, H.L., Pinto, L.P., Masterson, D., Cavalcanti, R.B. 2005. *Os corredores ecológicos das florestas tropicais do Brasil*. Sociedade Civil Mamirauá, Belém. 256p.
- Bender, D.J., Contreras, T.A., Fahrig, L. 1998. Habitat loss and population decline: a meta-analysis of the patch size effect. *Ecology*, 79, 517–529.
- Belton, W. 1994. Aves do Rio Grande do Sul: Distribuição e biologia. Ed. UNISINOS. São Leopoldo. 584p.

- Brittain, R.A., Schimmelmann, A., Parkhurst, D.F., Craft, C.B. 2012. Habitat use by coastal birds inferred from stable carbon and nitrogen isotopes. *Estuaries Coast* 35:633–645.
- Brose, U., Ostling, A., Harrison, K., Martinez, N.D. 2004. Unifield spatial scaling of species and their trophic interactions. *Nature* 428: 167-171.
- Carvalho, F.A., Nascimento, M.T., Oliveira, P.P., Rambaldi, D.M. & Fernandes, R.V. 2004. A importância dos remanescentes florestais da Mata Atlântica de baixada costeira fluminense para a conservação da biodiversidade na APA da Bacia do Rio São João/MicoLeão-Dourado/IBAMA RJ. Pp. 106-113. In: *Anais do IV Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, vol. 1*. Curitiba, Fundação O Boticário de Proteção à Natureza: Rede Nacional Pró Unidades de Conservação.
- Cherel, Y., Hobson, K. A., Hassani, S. 2005. Isotopic discrimination between food and blood and feathers of captive penguins: implications for dietary studies in the wild. *Physiological and Biochemical Zoology* 78: 106-115.
- Chiarello, A.G. 1999. Effects of fragmentation of the Atlantic forest on mammal communities in south-eastern Brazil. *Biol. Conserv.* 89:71-82.
- Chiarello, A.G. 2000. Conservation value of a native Forest fragment in a region of extensive agriculture. *Revista Brasileira de Biologia* 6(2): 237-247.
- Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. 2014. *Listas das aves do Brasil*. 11^a Edição, 1/1/2014, Disponível em <http://www.cbro.org.br>
- Dalerum, F., Angerbjörn, A. 2005. Resolving temporal variation in vertebrate diets using naturally occurring stable isotopes. *Oecologia* 144:647-658.
- Dobson, A., Lodge, D., Alder, J., Cumming, G.S., Keymer, J., McGlade, J., Mooney, H., Rusak, J.A., Sala, O., Wolters, V., Wall, D., Winfree, R., Xenopoulos, M.A. 2006. Habitat loss, trophic collapse, and the decline of ecosystem services. *Ecology* 87, 1915–1924.
- Donatelli, R. J., Ferreira, C. D., Dalbeto, A. C., Posso, S. R. 2007. Análise comparativa da assembléia de aves em dois remanescentes florestais no interior do Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24: 362-375.
- Duarte, L. S., Hartz, S. M., Pillar, V. D. 2006. Role of nurse plants in Araucaria Forest expansion over grassland in south Brazil. *Austral Ecology*, 31:520-528.
- Ewers, R.M., Laurance, W.F., Souza, C.M. 2008. Temporal fluctuations in Amazonian deforestation rates. *Environmental Conservation* 35:303-310.

- Fahrig, L. 2001. How much habitat is enough?. *Biological Conservation* 100, 65–74.
- Fahrig, L. 2003. The Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 34: 487–515.
- Fontana, C. S., Bencke, G. A., Reis, R. E. (2003). *Livro vermelho da fauna ameaçada de extinção no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: EDIPUCRS.
- Fry, B. *Stable isotope in ecology*. Los Angeles: Corr. Printing, 2006. 308 p.
- Gardner, T.A., Barlow, J., Chazdon, R.L., Ewers, R.M., Harvey, C.A., Peres, C.A., Sodhi, N.S. 2009. Prospects of tropical forest biodiversity in a human modified world. *Ecology Letters* 12:561-582.
- Garcia, A. M., Hoeninghaus, D. J., Vieira, J. P., Winemiller, K. O. 2007. Isotopic variation of fishes in freshwater and estuarine zones of a large subtropical coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73: 399–408.
- Garman, G. C. 1991. Use of terrestrial arthropod prey by a stream-dwelling cyprinid fish. *Environmental Biology of Fishes, Dordrecht*, 30: 325-331.
- Gascon, C., Lovejoy, T.E., Bierregaard, R.O., JR, Malcolm, J.R., Stouffer, P.C., Vasconcelos, H.L., Laurance, W.F., Zimmerman, B., Tocher, M., Borges, S. 1999. Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants. *Biological Conservation*, 91, 223–229
- Gimenes, M. R., Anjos, L. 2000. Distribuição espacial de aves em um fragmento florestal do campus da Universidade Estadual de Londrina, norte do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 17(1): 263-271.
- Gimenes, M. R., Anjos, L. 2003. Efeitos da fragmentação florestal sobre as comunidades de aves. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 25: 391–402.
- Gray, M. A., Baldauf, S. L., Mayhew, P. J. & Hill, J. H. 2007. The response of avian feeding guilds to tropical forest disturbance. *Conservation Biology*, 21: 133-141.
- Hobson, K.A., Bairlein, F. 2003. Isotopic fractionation and turnover in captive garden warblers (*Sylvia borin*) implications for delineating dietary and migratory associations in wild passerines. *Canadian Journal of Zoology*, Ottawa, v. 81, p. 1630-1635.
- Inger, R. F., Colwell, R. K. 1977. Organization of Contiguous Communities of Amphibians and Reptiles in Thailand. *Ecological Monographs*, Vol. 47, No. 3, pp. 229-253.

- Jacques, A.V.A. 2003. A queima das pastagens naturais: efeitos sobre o solo e a vegetação. *Ciencia Rural* 33 (1):05-21.
- Kapos, V. 1989. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology*. Cambridge, v.2, n.5, p.173-185.
- Kelly, J. F. 2000. Stable isotopes of carbon and nitrogen in the study of avian and mammalian trophic ecology. *Canadian Journal of Zoology* 78: 1-27.
- Keyes, B.E., Grue, C.E. 1982. *Capturing birds with mist nets: a review*. North American Bird Bander 7(1): 2-14
- Lau, D. C. P., Leung, K. M. Y., Dudgeon, D. 2009. What does stable isotope analysis reveal about trophic relationships and the relative importance of allochthonous and autochthonous resources in tropical streams? A synthetic study from Hong Kong. *Freshwater Biology* 54: 127-141.
- Layman, C. A., Araújo, M. S., Boucek, R., Hammerschlag-Peyer, C. M., Harrison, E., Jud, Z. R. 2012. Applying stable isotopes to examine food-web structure: an overview of analytical tools. *Biol. Rev.* 87:545–562.
- Levey, D.J., Martínez del Rio, C. 2001. It takes guts (and more) to eat fruit: lessons from avian nutritional ecology. *Auk* 118:819–831
- MacArthur, J.V., Moorehead, K.K. 1996. Characterization of riparian species and stream detritus using multiple stable isotopes. *Oecologia* 107: 232-238.
- Mähler Júnior, J. K. F. 2012. Comunidades de aves em áreas florestais fragmentadas por ação antrópica e em manchas com mosaico natural floresta-campo no sul do Brasil. Tese de Doutorado. *Programa de Pós-Graduação em Ecologia*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Maldonado-Coelho, M., M. A. Marini. 2000. Effects of forest fragment size and successional stage on mixed-species flocks in southeastern Brazil. *Condor* 102:585–594.
- Marini, M. A. 2001. Effects of forest fragmentation on birds of the cerrado region, Brazil. *Bird Conservation International* 11:13-25.
- Martensen, A.C., Pimentel, R.G., Metzger, J.P., 2008. Relative effects of fragment size and connectivity on bird community in the Atlantic Rain Forest: implications for conservation. *Biological Conservation* 141, 2184–2192.

- Martinelli, L.A., Ometto, J.P.H.B., Ferraz, E.S., Victoria, R.L., Camargo, P.B., Moreira, M.Z. 2009. Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. São Paulo: *Oficina de Textos*. 144 p.
- Matte, A. L. L., Müller, S. C., Becker, F. G. 2015. Forest expansion or fragmentation? Discriminating forest fragments from natural forest patches through patch structure and spatial contexto metrics. *Austral Ecology*, 40, 21-31.
- Michener, R., Lajtha, K. 2007. Stable isotopes in ecology and environmental science. 2nd Ed. Victoria: Blackwell, 594 p.
- Moegenburg, S. M., Levey, D. J. 2003. Do frugivores respond to fruit harvest? An experimental study of short-term responses. *Ecology* 84: 2600-2612.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier C.G., Fonseca G.A.B., Kent. J. 2000. Biodiversity *hotspots* for conservation priorities. *Nature* 403: 853-845.
- Oliveira, J. M., Pillar, V. D. 2004. Vegetation dynamics on mosaics of Campos and Araucaria forest between 1974 and 1999 in southern Brazil. *Community Ecology*, 5:197-202.
- Oliveira, M. C. L. M., Bastos, R. F., Claudino, M. C., Assumpção, C. M., Garcia, A. M. 2014. Transport of marine-derived nutrients to subtropical freshwater food webs by juvenile mullets: a case study in southern Brazil. *Aquatic Biology* 20: 91–100.
- Paine, R. T. 1969. The Pisaster-Tegula interaction: prey catches, predator food preference and intertidal community structure. *Ecology* 50: 950-961.
- Parnell, A. C., Inger, R., Bearhop S., Jackson, A. L. 2010. Source partitioning using stable isotopes: coping with too much variation. *PLoS ONE* 5: e9672.
- Pearson, S.F., Levey, D.J., Greensberg, C.H., Martinez del Rio, C. 2003. Effects of elemental composition on the incorporation of dietary nitrogen and carbon isotopic signatures in an omnivorous songbird. *Oecologia*, Berlin, v. 135, p. 516-523.
- Peterson, B. J., Fry, B. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, v. 18, p. 293-320.
- Phillips, D. L., Gregg, J. W. 2003. Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources. *Oecologia* 136: 261-269.

- Polis, G. A., Anderson, W. B., Holt, R. D. 1997. Toward an integration of landscape and food web ecology: the dynamics of spatially subsidized food webs. *Annual Review of Ecological Systems* 28: 289–316.
- Post, DM. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods and assumptions. *Ecology* 83(3): 703-718.
- Rebelato, M. M. 2014. Biologia reprodutiva e ecologia trófica *Thamnodynastes hypoconia* (Sepentes: Dipsadidae) em ambientes úmidos subtemperados do extremo sul brasileiro. Dissertação de mestrado. *Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais*. Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande
- Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J., Hirota, M. M. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142, 1141-1153.
- Rounick, J. S., Winterbourn, M. J., Lyon, G. L. 1982. Differential utilization of allochthonous and autochthonous inputs by aquatic invertebrates in some New Zealand streams: a stable carbon isotope study. *Oikos* 39: 191-198.
- Schmiegelow, F.K.A., Mönkkönen, M. 2002. Habitat loss and fragmentation in dynamic landscapes: avian perspectives from the boreal forest. *Ecol. Appl.* 12:375–89.
- Schindler, D. E., Lubetkin, S. C. 2004. Using stable isotopes to quantify material transport in food webs. In Polis, G. A., et al. (eds), *Food webs at the landscape level*. University of Chicago Press, Chicago: 25–42.
- Sick, H. 1997. *Ornitologia brasileira*. Nova Fronteira Editora, Rio de Janeiro.
- Sigrist, T. 2009. *Guia de Campo Avis Brasilis*. Avifauna Brasileira: descrição das espécies (The Avis Brasilis Field Guide to the Birds of Brazil: species accounts). Editora Avis Brasilis, Vinhedo.
- Simões, L.L., Lino, C.F. 2002. *Sustentável Mata Atlântica. A exploração de seus recursos florestais*. São Paulo: SENAC, p.222.
- Soares, E. S., Anjos, L. 1999. Efeito da fragmentação florestal sobre aves escaladoras de tronco e galho na região de Londrina, norte do estado do Paraná, Brasil. *Ornitologia Neotropical* 10: 61-68.
- Stotz, D.F., Fitzpatrick, J.W., Parker, T.A., Moskovits, D.K. 1996. *Neotropical birds: ecology and conservation*. Chicago: University of Chicago Press. P. 417-436.

Stouffer, P. C., Bierregaard, R. O. 1995. Use of amazonian forest fragments by understory insectivorous birds. *Ecology*, 76: 2429-2445.

Straube, F. C., de Queiroz Piacentini, V., Accordi, I. A., Cândido Jr, J. F. 2010. *Ornitologia e Conservação: Ciência aplicada, técnicas de pesquisa e levantamento*. Technical Books Editora.

Symes, C. T. 2012. Stable Isotope Research in Southern African Birds, *Diversity of Ecosystems*, Prof. Mahamane Ali (Ed.), ISBN: 978-953-51-0572-5, InTech.

Tabarelli, M., Mantovani, W., Peres, C.A. 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of Southeastern Brazil. *Biological Conservation* 91: 119-127.

Taylor, P.D., Fahrig, L., Henein, K., Merriam, G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68: 571-573.

Volpato, G.H., Prado, V.M., Anjos, L. 2010. What can tree plantations do for forest birds in fragmented forest landscapes? A case study in southern Brazil. *Forest Ecology and Management*, 260, 1156–1163.

Willis, E. O. 1979. The composition of avian communities in remanescent woodlots in southern Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia* 33: 1-25.

Anexo I - Instruções aos autores para publicação na *Ecological Indicators*

DESCRIPTION

The ultimate aim of *Ecological Indicators* is to integrate the monitoring and assessment of ecological and environmental indicators with management practices. The journal provides a forum for the discussion of the applied scientific development and review of traditional indicator approaches as well as for theoretical, modelling and quantitative applications such as index development. Research into the following areas will be published.

- All aspects of ecological and environmental indicators and indices.
- New indicators, and new approaches and methods for indicator development, testing and use.
- Development and modelling of indices, e.g. application of indicator suites across multiple scales and resources.
- Analysis and research of resource, system- and scale-specific indicators.
- Methods for integration of social and other valuation metrics for the production of scientifically rigorous and politically-relevant assessments using indicator-based monitoring and assessment programs.
- How research indicators can be transformed into direct application for management purposes.
- Broader assessment objectives and methods, e.g. biodiversity, biological integrity, and sustainability, through the use of indicators.
- Resource-specific indicators such as landscape, agroecosystems, forests, wetlands, etc.

The following contributions will be accepted: Original research papers; Review articles; Special themed issues; Short notes and case studies; Perspectives Letters to the Editor; Book reviews.

Generally, manuscripts should not exceed 7,000 words, the maximum word length being 10,000. Authors submitting papers on the application of existing indicators or indicator systems are invited to send their articles in the form of a Short Note article. This will shorten the reviewing process and will ensure quicker publication times. Papers focusing on demonstrations, tests or minor methodological improvements on the basis of regional investigations as well as condensed articles on new topics concerning ecological indication are suitable articles to be submitted in the format of short note articles. The

papers should not exceed the length of ten manuscript pages, including figures, tables and references.

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <https://www.elsevier.com/publishingethics> and <https://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Conflict of interest

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <https://www.elsevier.com/conflictsofinterest>. Further information and an example of a Conflict of Interest form can be found at: http://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/286/supporthub/publishing.

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <https://www.elsevier.com/sharingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service CrossCheck <https://www.elsevier.com/editors/plagdetect>. Use correct, continuous line numbering throughout the document.

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors before submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only before the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the corresponding author: (a) the reason for the change in author list and (b) written

confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed. Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors after the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright, see <https://www.elsevier.com/copyright>). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <https://www.elsevier.com/permissions>.

For open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' (for more information see <https://www.elsevier.com/OAauthoragreement>). Permitted third party reuse of open access articles is determined by the author's choice of user license (see <https://www.elsevier.com/openaccesslicenses>).

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. For more information see <https://www.elsevier.com/copyright>.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct

scientific English may wish to use the English Language Editing service available from Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/languageediting/>) or visit our customer support site (<http://support.elsevier.com>) for more information.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

PREPARATION

New submissions

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process. As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or layout that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

References

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

Formatting requirements

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions. If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes. Divide the article into clearly defined sections.

Figures and tables embedded in text Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file.

REVISED SUBMISSIONS

Language

Authors whose native language is not English are advised to seek the help of an English-speaking colleague, if possible, before submitting their manuscripts.

Use of word processing software.

Please use correct, continuous line numbering and page numbering throughout the document.

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork. To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Use of word processing software

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The

electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <https://www.elsevier.com/guidepublication>). See also the section on Electronic artwork. To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Conclusions

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- Title. Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- Author names and affiliations. Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lowercase superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- Corresponding author. Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.
- Present/permanent address. If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should be not longer than 400 words. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, nonstandard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <https://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples. Authors can make use of

Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements: Illustration Service.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See <https://www.elsevier.com/highlights> for examples.

Data profile

This journal encourages authors to submit a Data Profile with their article. The Data Profile is a structured summary of the data that have been used for the research described in the article, including brief descriptions and hyperlinks to data sets where applicable. It is displayed with the online (HTML) article on ScienceDirect to allow readers easy access to underlying data sets. With the Data Profile, Elsevier supports authors to make their publications more transparent, reproducible, and of greater utility for their readers. For more information, please visit <http://www.elsevier.com/dataprofile>.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title

or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Nomenclature

Authors and editors are, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature as laid down in the International Code of Botanical Nomenclature, the International Code of Nomenclature of Bacteria, and the International Code of Zoological Nomenclature. All biotica (crops, plants, insects, birds, mammals, etc.) should be identified by their scientific names when the English term is first used, with the exception of common domestic animals. All biocides and other organic compounds must be identified by their Geneva names when first used in the text. Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI. You are urged to consult IUPAC: Nomenclature of Organic Chemistry: <http://www.iupac.org/> for further information.

Math formulae

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.

- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
- For Word submissions only, you may still provide figures and their captions, and tables within a single file at the revision stage.
- Please note that individual figure files larger than 10 MB must be provided in separate source files. A detailed guide on electronic artwork is available on our website: <https://www.elsevier.com/artworkinstructions>. You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below): EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'. TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi. TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi. TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- Supply files that are too low in resolution.
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article. Please indicate your preference for color: in print or online only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <https://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (not on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is encouraged.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support Citation Style Language styles (<http://citationstyles.org>), such as Mendeley (<http://www.mendeley.com/features/reference-manager>) and Zotero (<https://www.zotero.org/>), as well as EndNote (<http://endnote.com/downloads/styles>). Using the word processor plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide.

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link: <http://open.mendeley.com/use-citation-style/ecological-indicators> When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plugins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. Single author: the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. Two authors: both authors' names and the year of publication;

3. Three or more authors: first author's name followed by 'et al.' and the year of publication. Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the List of Title Word Abbreviations: <http://www.issn.org/services/online-services/access-to-the-ltwa/>.

Video data

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any

frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at <https://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

AudioSlides

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is about. More information and examples are available at <https://www.elsevier.com/audioslides>. Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

Supplementary material

Supplementary material can support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Please note that such items are published online exactly as they are submitted; there is no typesetting involved (supplementary data supplied as an Excel file or as a PowerPoint slide will appear as such online). Please submit the material together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. If you wish to make any changes to supplementary data during any stage of the process, then please make sure to provide an updated file, and do not annotate any corrections on a previous version. Please also make sure to switch off the 'Track Changes' option in any Microsoft Office files as these will appear in the published supplementary file(s). For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <https://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Database linking

Elsevier encourages authors to connect articles with external databases, giving readers access to relevant databases that help to build a better understanding of the described research. Please refer to relevant database identifiers using the following format in your

article: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN). See <https://www.elsevier.com/databaselinking> for more information and a full list of supported databases.

Google Maps and KML files

KML (Keyhole Markup Language) files (optional): You can enrich your online articles by providing KML or KMZ files which will be visualized using Google maps. The KML or KMZ files can be uploaded in our online submission system. KML is an XML schema for expressing geographic annotation and visualization within Internet-based Earth browsers. Elsevier will generate Google Maps from the submitted KML files and include these in the article when published online. Submitted KML files will also be available for downloading from your online article on ScienceDirect. For more information see <https://www.elsevier.com/googlemaps>.

Interactive plots

This journal enables you to show an Interactive Plot with your article by simply submitting a data file. For instructions please go to <https://www.elsevier.com/interactiveplots>.

Submission checklist

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item. Ensure that the following items are present: One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address All necessary files have been uploaded, and contain:
- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes) Further considerations
- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet) Printed version of figures (if applicable) in color or black-and-white

- Indicate clearly whether or not color or black-and-white in print is required. For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

AFTER ACCEPTANCE

Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. Example of a correctly given DOI (in URL format; here an article in the journal Physics Letters B): <http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.09.059> When you use a DOI to create links to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

Online proof correction

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors. If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a personalized link providing 50 days free access to the final published version of the article on ScienceDirect. This

link can also be used for sharing via email and social networks. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints>). Authors requiring printed copies of multiple articles may use Elsevier WebShop's 'Create Your Own Book' service to collate multiple articles within a single cover (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/booklets>).

AUTHOR INQUIRIES

You can track your submitted article at <https://www.elsevier.com/track-submission>. You can track your accepted article at <https://www.elsevier.com/trackarticle>. You are also welcome to contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some authors may also be reimbursed for associated publication fees. To learn more about existing agreements please visit <https://www.elsevier.com/fundingbodies>.

Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research: Open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse
- An open access publication fee is payable by authors or on their behalf e.g. by their research funder or institution

Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our universal access programs (<https://www.elsevier.com/access>).

- No open access publication fee payable by authors. Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards. For open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following Creative Commons user licenses:

Creative Commons Attribution (CC BY)

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The open access publication fee for this journal is USD 3000, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <https://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Green open access

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our green open access page for further information (<http://elsevier.com/greenopenaccess>). Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and it begins from the date the article is formally published online in its final and fully citable form. This journal has an embargo period of 24 months.