



Pós-Graduação  
**ZOOLOGIA**  
MPEG/UFPA

MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA  
CURSO DE DOUTORADO EM ZOOLOGIA

ESTRESSE OXIDATIVO DE AVES EM CLAREIRAS NATURAIS E SUB-  
BOSQUE NA REGIÃO AMAZÔNICA

Andreza de Lourdes Souza Gomes

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Curso de Doutorado, do Museu Paraense Emílio Goeldi e Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de doutor em Zoologia.

Orientador: Prof. Dr. José Maria Cardoso da Silva

BELÉM -PA

2013

Andreza de Lourdes Souza Gomes

ESTRESSE OXIDATIVO DE AVES EM CLAREIRAS NATURAIS E SUB-  
BOSQUE NA REGIÃO AMAZÔNICA

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Curso de Doutorado, do Museu Paraense Emílio Goeldi e Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de doutor em Zoologia.

Orientador: Prof. Dr. José Maria Cardoso da Silva

BELÉM – PA

2013

Este trabalho é dedicado aos homens da minha vida

Antônio Silvestre Cordeiro Gomes (in memoriam)

Andrey Felipe Gomes Gonçalves

André Luiz Gomes Gonçalves

Luiz Matheus Gomes Vieira

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a minha família, por terem me ensinado a ir atrás de meus objetivos, pela sua compreensão e apoio, Agradeço aos meus pais, **Antônio** e **Edna**, a meus irmãos, **Ellen**, **Elliane** e **Ellian**, aos meus filhotes **Andrey**, **André** e **Matheus**, aos meus sobrinhos, **João Victor** e **Antônio**. Sou grata por vocês existirem em minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr<sup>o</sup>. **Jose Maria Cardoso da Silva**, pelo desafio em me orientar, pelo modo com que permitiu que eu conduzisse este trabalho, transmitindo experiência e orientação segura, pelos ensinamentos e pelo apoio profissional e científico.

À Coordenação do programa de Pós-graduação em Zoologia da UFPA e Museu Paraense Emílio Goeldi.

À todos os professores do curso aos professores que compartilharam seu conhecimento nas disciplinas ministradas durante o curso Pós-Graduação em zoologia.

Aos funcionários e amigos da Estação Científica Ferreira Pena, pelo apoio, carinho ao longo das atividades da pesquisa em Caxiuanã: **Gemaque**, **Cuquinha**, **Bené**, **Pão (Flávio)**, **Mó**, **Marajó**, **Teobaldo**, **Alex**, **Tereza**, **Guanabara**, **Jiju (João Domingos)**, **Vigor**, **Andrelina**, **Morena**, **Doca**, **Darlan**, **Jairo** e **Adilson** que me receberam com imenso carinho e foram parceiros nesta caminhada.

Aos meus auxiliares de campo, **Pão**, **Preto**, **Doca**, **Joca**, **Juscelino** e **Rodrigo** obrigado pelo apoio e dedicação.

Aos **amigos da comunidade ribeirinha de Caxiuanã**, vocês foram muito importantes nesta caminhada e, guardarei com muito carinho a nossa amizade, aprendi muito com vocês.

Agradeço aos amigos do escritório da ECFPn no MPEG, **Edson**, **Carlão**, **Socorro** e **Graça Ferraz**, por terem sido prestativos sempre que precisei de alguma ajuda.

Às secretárias da Pós-graduação, Dorotéia e Wanessa, pelo carinho e imensa prestabilidade.

Ao **José Luiz Fernandes Vieira** pelo apoio, revisões, auxílio no campo e troca de ideias.

Aos meus amigos e parceiros de viagens **Ronaldo, Fernanda, Alex, Priscilla, José Guimarães, Neto, Maridalva, Denise, Rosana e Garibalde.**

A todos os meus amigos, por poder contar sempre com sua amizade, amor e respeito. Por terem me dado força em momentos difíceis, por terem torcido por mim, por terem me compreendido nos momentos de ausência, por me receberem com palavras e gestos de carinho, por estarem sempre presentes em minha vida e por me fazerem uma pessoa mais feliz.

**OBRIGADA**

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
LISTA DE FIGURAS E TABELAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
APRESENTAÇÃO.....	1
INTRODUÇÃO GERAL .....	4
MÉTODOS.....	6
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15

<b>CAPÍTULO I.</b> Distribuição de aves frugívoras em clareiras naturais e sub-bosque em floresta de terra firme na Amazônia.....	19
Resumo.....	20
Abstract.....	21
Introdução.....	22
Métodos .....	24
Resultados.....	29
Discussão.....	34
Referências bibliográficas.....	39
Apêndice.....	44

<b>CAPÍTULO II.</b> Estresse oxidativo de <i>Dixiphia pipra</i> (aves:Pipridae) em clareiras naturais na Amazônia.....	47
--	----

Resumo.....	48
Abstract.....	49
Introdução.....	50
Métodos.....	52
Resultados.....	60
Discussão.....	63
Referências bibliográficas.....	68

**CAPÍTULO III.** Influência das clareiras naturais no estresse oxidativo em *Willisornis poecilinotus* (Cabanis, 1847) (Aves: Thamnophilidae) em floresta tropical..... 71

Resumo.....	72
Abstract.....	73
Introdução.....	74
Métodos.....	76
Resultados.....	81
Discussão.....	82
Referências bibliográficas.....	85

CONCLUSÕES GERAIS..... 89

RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....91

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

**Figura 1.** Mapa de localização da Floresta Nacional de Caxiuanã e da Estação Científica Ferreira Penna.....8

### **CAPÍTULO I.** Distribuição de aves frugívoras em clareiras naturais e sub-bosque em floresta de terra firme na Amazônia

**Figura 1.** Curva cumulativa do número de indivíduos de aves frugívoras em clareiras naturais e sub-bosque em função das sessões de capturas em floresta de terra firme..... 29

**Figura 2.** Escalonamento multidimensional (MDS) dos dados com matriz qualitativa e quantitativa de aves frugívoras em clareiras naturais (C) e sub-bosque(B) em floresta de terra firme.....30

**Figura 3.** Número de plantas frutificando em função da abundância das aves frugívoras considerando todas as unidades amostrais, no sub-bosque e em clareiras naturais em floresta de terra firme.....33

**Figura 4.** Matrizes de similaridade de aves frugívoras e plantas frutificando no ambiente em floresta de terra firme.....34

**Tabela 1.** Espécie de aves frugívoras registradas com maior frequência em clareiras naturais e sub-bosque de floresta de terra firme.....31

**Tabela 2.** Espécie de plantas frutificando registradas com maior frequência em clareiras naturais e sub-bosque em floresta de terra firme.....32

**Apêndice 1.** Espécies de aves frugívoras capturadas em clareiras naturais e no sub-bosque em floresta de terra firme.....45

**Apêndice 2.** Espécies de plantas frutificando em clareiras naturais e no sub-bosque em floresta de terra firme.....46

### **CAPÍTULO II.** Estresse oxidativo de *Dixiphia pipra* (aves:Pipridae) em clareiras naturais na Amazônia

**Tabela 1.** Número de indivíduos de *Dixiphia pipra* de acordo com o sexo e idade nas clareiras naturais e sub-bosque em floresta de terra firme.....60



**Tabela 2.** Espécies de plantas e capacidade antioxidantes dos frutos registrados nas amostras de fezes e regurgito de *Dixiphia pipra* presentes nas clareiras naturais em floresta de terra firme .....63

**Figura 1.** Estresse oxidativo (média  $\pm$  desvio padrão) de *Dixiphia pipra* nos machos adultos (MC), fêmeas (FC) presentes em clareiras naturais e nos machos adultos (MS) e fêmeas (FS) no sub-bosque em floresta de terra firme.....61

**Figura 2.** Estresse oxidativo de *Dixiphia pipra* nos machos adultos (MC), machos imaturos (MiC) e fêmeas (FC) presentes em clareiras naturais e nos machos adultos (MS) e fêmeas (FS) no sub-bosque em floresta de terra firme.....62

**CAPÍTULO III.** Influência das clareiras naturais no estresse oxidativo em *Willisornis poecilinotus* (Cabanis, 1847) (Aves: Thamnophilidae) em floresta tropical

**Figura 1.** Estresse oxidativo (média  $\pm$  desvio padrão) de *Willisornis poecilinotus* presentes em clareiras naturais e no sub-bosque em floresta de terra firme.....83

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABTS - Sal diamônico do ácido 2,2'-azonobis-3-etilbenzotiazoline-6-sulfônico

TEAC - Capacidade antioxidante total relativa ao Trolox C

IBDF - Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

TBARS - Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico

CEMAVE - Centro de Estudos de Migrações de Aves

CBRO - Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos

GPS - Sistema de posicionamento global

MPEG - Museu Paraense Emílio Goeldi

TAC - Capacidade Antioxidante Total

MDA/L<sup>-1</sup> - Malondialdeído por litro

Am - Clima tropical de monção

MDA - Malondialdeído

°C - Grau Celsius

nm - Nanômetro

HR - Hora-rede

uL - Microlitros

mL - Mililitros

ha - Hectare

m - Metros

M - Molar

h - horas

**Resumo** (Estresse oxidativo de aves em clareiras naturais e sub-bosque na região Amazônica). Pesquisas que forneçam informações sobre a distribuição de aves nas diferentes fases do mosaico florestal são fundamentais para compreender os processos que mantêm a diversidade de árvores e arbustos nas florestas tropicais, uma vez que as clareiras naturais contribuem para a heterogeneidade estrutural e elevada disponibilidade de recursos e, podem influenciar na distribuição e abundância dos organismos. **Objetivos** - São três objetivos: (a) determinar e comparar a abundância e riqueza de aves frugívoras e a disponibilidade de frutos em clareiras naturais e sub-bosque; (b) verificar a associação entre a abundância das aves frugívoras e disponibilidade de frutos nos ambientes; (c) investigar as interações ecofisiológicas entre o estresse oxidativo e a distribuição dos indivíduos de *Dixiphia pipra* e *Willisornis poecilinotus* a fim de determinar quais os fatores mais relevantes para o estresse oxidativo nestas duas espécies. **Métodos** - O estudo foi realizado no período de novembro de 2010 a outubro de 2011 em um trecho de floresta de terra firme na Floresta Nacional de Caxiuanã, Melgaço, Pará, Brasil. Foram selecionadas 06 unidades amostrais em clareiras naturais e 06 em áreas contínuas de floresta não alterada. Em cada unidade amostral foi instalado um grupo de 10 redes ao nível do solo, que permaneceram abertas das 6:00 h às 14:00 h por dois dias consecutivos, perfazendo seis dias a cada mês. Este procedimento foi realizado durante 12 meses. O esforço amostral total foi de 23.040 horas-redes. Todos os indivíduos capturados foram identificados, marcados com anilhas metálicas e mantidos em sacos de algodão. Também foram coletadas amostras de sangue, fezes ou de regurgito para determinar a composição da dieta e o estresse oxidativo. A relação entre substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico e a capacidade antioxidante total foi utilizado como índice de estresse oxidativo. As plantas frutificando foram identificadas e a capacidade antioxidante total dos frutos para cada espécie foi determinada. **Resultados:** foram capturados 347 indivíduos, pertencentes a 21 espécies. Clareiras naturais apresentaram assembleias de aves frugívoras distintas do sub-bosque e as espécies que mais contribuíram para a dissimilaridade foram *Dixiphia pipra*, *Pipra rubrocapilla* e *Turdus albicollis*. Não houve diferença na riqueza de aves frugívoras entre os ambientes, porém a disponibilidade de

frutos e o número total de captura das aves foram superiores em clareiras naturais. Os frugívoros primários, aqueles em que as amostras de fezes ou regurgito sempre continham polpa do fruto e ou sementes, ocorreram preferencialmente em clareiras naturais e a espécie mais abundante neste ambiente foi *Dixiphia pipra* e no sub-bosque *Pipra rubrocapilla*. Foram registradas 36 espécies de plantas frutificando. As espécies de plantas mais comuns nas clareiras naturais foram *Psychotria coloratae* e *Psychotria iodotricha*, enquanto no sub-bosque sob dossel contínuo foram *Faramea anisocalyx* e *Virola surinamensis*. A abundância total de aves frugívoras foi correlacionada com o número de plantas frutificando somente nas clareiras naturais. A variação dos biomarcadores de estresse oxidativo nos indivíduos que apresentam organização em leques variou com o sexo e ambiente. Nas clareiras naturais, os machos adultos de *Dixiphia pipra* registraram níveis mais elevados de estresse oxidativo. A alta taxa metabólica, resultante do esforço de voo para evitar predadores, comportamento de exibição para as fêmeas e defesa de território podem aumentar a geração de compostos pró-oxidantes. Porém o consumo de frutos com alto teor antioxidante pelos machos neste ambiente podem minimizar os efeitos danosos do estresse oxidativo. Nas espécies que não apresentam organização em leque, como *Willisornis poecilinotus*, o estresse oxidativo foi explicado somente pelo ambiente. Os indivíduos capturados em clareiras naturais registraram níveis de estresse oxidativo mais elevado. Isto pode ser devido ao aumento da taxa metabólica associada as estratégias de voo para evitar a predação e comportamento de forrageio.

**PALAVRAS CHAVES:** estresse oxidativo, avifauna, antioxidantes

## ABSTRACT

**Background:** (Oxidative stress of birds in natural gaps and understory sites in the Amazon region). Studies that provide information about the distribution of birds in different phases of forest mosaic are essential for understanding the maintenance of biodiversity, since natural gaps play a central role on the structure and dynamics of tropical forest. **Objectives:** (a) to determine and compare the abundance and richness of frugivorous birds between the natural gap and understory habitats; (b) verify and associate the abundance of frugivorous birds with the availability of fruits in both areas; (c) to investigate the echophysiological interactions between the oxidative stress and the distribution of specimens of *Dixiphia pipra* and *Willisornis poecilinotus*, to determine which factors account for the variance of biomarkers of oxidative stress in these species. **Methods:** This study was carried out from November 2010 to October 2011 in *terra firme* forest sites at the National Forest of Caxiuanã, Melgaço, Pará, Brazil. Two different understory forest habitats were selected for sampling on the basis of physiognomies: natural tree fall gap and undisturbed forest. Twelve (12) sites were selected (6 natural gaps and 6 undisturbed continuous forests). In each site, groups of 10 mist nets were set at ground level which remained open from 6:00am to 2:00pm for two consecutive days, totaling six days each month. This procedure lasted for 12 months and the sampling effort totaled 23,040 mist net hours. All specimens captured were identified, marked with metal rings and kept in cotton bags. We collected blood, feces and regurgitation samples to determine the biomarkers of oxidative stress and the composition of the diet. The relationship between thiobarbituric acid reactive substances and the total antioxidant capacity was used as an index of oxidative stress. The vegetation structure was determined based on transects along the mist nets; the plants bearing fruits were identified and the total antioxidant capacity was determined in each plant. **Results:** During the period of the study 347 specimens of 21 species were sampled. The assemblage of frugivorous birds in natural gap is distinct from that of undisturbed forest sites. The species responsible for dissimilarity were *Dixiphia pipra*, *Pipra rubrocapilla* and *Turdus*

*albicollis*. The richness of birds was similar in both sites, but the availability of fruits and the total capture index were higher in natural gaps. The primary frugivores (those whose feces or regurgitation always showed fruit pulp or seeds) occurred mainly in natural gaps, where the most abundant species was *Dixiphia pipra*. In addition, *Pipra rubrocapilla* was the most abundant species in undisturbed sites. Thirty-six (36) species of plants bearing fruits were recorded, and the abundance of frugivorous birds was significantly correlated with the number of plants bearing fruits in natural gaps, where the most common species of plants were: *Psychotria colorata* and *Psychotria iodotricha*. On the other hand, *Faramea anisocalyx* and *Virola surinamensis* were the most common species in undisturbed sites. The variation of biomarkers of oxidative stress in specimens presenting lek behavior varied with gender and to the site of sampling. In natural gaps, the adult males of *Dixiphia pipra* showed higher levels of oxidative stress. The high metabolic rate resulting of flight effort to avoid predators, courtship behavior to the female and territory defense, can increase the production of pro-oxidant compounds. However, the ingestion of fruits with high content of antioxidant compounds by male can minimize the deleterious effects of oxidative stress. The variance of oxidative stress of species that do not have organization in leks was associated only with the site of sampling. The specimens sampling in natural gaps showed higher levels of oxidative stress. This can be due to the increase in metabolic rate to avoid predators as well as new flight strategies for foraging

Keywords: oxidative stress, birds, antioxidant

## APRESENTAÇÃO

Este estudo teve como objetivo geral investigar a distribuição de aves frugívoras em clareiras naturais e sub-bosque sob dossel contínuo, avaliando as interações ecofisiológicas entre o estresse oxidativo e a distribuição dos indivíduos de *Dixiphia pipra* e *Willisornis poecilinotus* nos ambientes. O primeiro capítulo teve como objetivo determinar e comparar a abundância e riqueza de aves frugívoras, espécies de plantas frutificando e disponibilidade de frutos nos dois ambientes e identificar a associação entre a abundância das aves frugívoras com as características estruturais da vegetação e o número de espécies de plantas frutificando nos ambientes.

A morte e decomposição de árvores durante a formação de clareiras naturais favorecem o acúmulo de nutrientes e, conseqüente aumento da disponibilidade de recursos que, em conjunto com a baixa fertilidade dos solos (Ruivo *et al.*, 2002) e menor disponibilidade de frutos no sub-bosque (Gentry & Emmons, 1987), contribuem para concentração de recursos nas clareiras naturais. Por isso, se espera que a assembleia de aves frugívoras seja distinta nos ambientes e a associação entre abundância de aves frugívoras e o número de espécies de plantas frutificando e disponibilidade de frutos seja maior nas clareiras naturais em comparação ao sub-bosque sob dossel contínuo.

O segundo e o terceiro capítulo investigam as interações ecofisiológicas entre o estresse oxidativo e a distribuição dos indivíduos de *Dixiphia pipra* e *Willisornis poecilinotus* em clareiras naturais e sub-bosque sob dossel contínuo,

objetivando compreender os diferentes componentes que determinam o equilíbrio redox nestas espécies. Mudanças na estrutura do habitat têm sido associadas ao estresse oxidativo nas aves, portanto se espera que as clareiras naturais representem fonte de estímulos estressores para os indivíduos, devido ao maior esforço de voo e luminosidade.

O sexo também pode influenciar o estresse oxidativo em aves, pois comportamentos de defesa de território e exibições elaboradas de corte pelos machos adultos podem aumentar o metabolismo basal. Por isso, se espera que os machos adultos de *Dixiphia pipra* presentes em clareiras naturais registrem níveis mais elevados de estresse oxidativo devido a forte pressão seletiva sobre os machos na disputa pelas fêmeas.

Os compostos antioxidantes podem retardar ou inibem a oxidação de biomoléculas. Portanto, se espera que os machos adultos de *Dixiphia pipra* presentes em clareiras naturais se alimentem de frutos com elevado teor de compostos antioxidantes a fim de minimizar os efeitos danosos das espécies pró-oxidantes.

Este estudo é constituído por três artigos científicos em conformidade com o que estabelece o Regimento do Programa de Pós-Graduação em Zoologia do Museu Paraense Emílio Goeldi e a Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Doutor. O primeiro artigo tem como foco a distribuição de aves frugívoras na fase de clareiras naturais, resultante da queda de árvores e, na fase madura, quando já apresenta certa continuidade e a estratificação vertical se torna visível, o sub-bosque sob dossel contínuo.



O segundo e terceiro artigo tratam do estresse oxidativo nas aves, o qual pode ser modulado tanto por componentes ambientais, quanto pelas características individuais intrínsecas, como comportamento, ornamentação sexual, sexo e idade. O segundo artigo intitulado “Estresse oxidativo de *Dixiphia pipra* (Aves:Pipridae) em clareiras naturais na Amazônia” tem como espécie de estudo uma ave predominantemente frugívora com dimorfismo sexual, organização social e espacial em leques. Os machos estabelecem territórios com hierarquia de dominância entre eles e realizam elaboradas exibições de corte sofrendo forte pressão seletiva pelas fêmeas.

O terceiro artigo “Influência das clareiras naturais no estresse oxidativo em *Willisornis poecilinotus* (Cabanis, 1847) (Aves: Thamnophilidae) em floresta tropical” tem como foco de estudo uma ave insetívora com dimorfismo sexual, que forrageia sozinha ou em pares, apresenta comportamento social mais calmo e, normalmente não invade o território de outros indivíduos da mesma espécie. Os machos não utilizam repertórios elaborados para a corte das fêmeas.

## INTRODUÇÃO GERAL

Distúrbios naturais representam um dos mecanismos responsáveis pela manutenção da elevada diversidade de espécies de plantas nas florestas tropicais (Brokaw, 1985). A formação de clareiras naturais contribui para heterogeneidade estrutural das florestas produzindo um mosaico de habitat, através de um processo contínuo desde a queda de árvores, sítios com pouca ou nenhuma cobertura, até a fase madura, quando a estratificação vertical se torna visível (Brokaw, 1985).

A fase de clareira tem duração estimada entre quatro a seis anos nas florestas tropicais (Lima, 2005), é o período mais importante para a determinação da composição florística (Whitmore, 1989). Estas áreas diferem do sub-bosque, pela intensa regeneração natural, principalmente das espécies pioneiras, maior período de frutificação e disponibilidade de frutos, influenciando na distribuição das aves frugívoras em florestas tropicais (Levey, 1988a; 1988b; Wunderle *et al.*, 2005).

A área de uma clareira é correlacionada positivamente ao porte da árvore que a produziu e, determina as dimensões dos mosaicos que irão compor a estrutura florestal (Barton *et al.*, 1989). Sabe-se que as clareiras naturais maiores são mais atrativas para os frugívoros pela maior densidade de plantas frutificando (Levey, 1988b). Porém, o aumento da luminosidade em clareira (Schliemann & Bockheim, 2011) pode favorecer a predação dos indivíduos, principalmente dos machos que apresentam coloração mais perceptível do que a fêmea.

A elevada concentração de recursos nas clareiras naturais (Blake & Hoppes, 1986; Martin & Karr, 1986; Levey, 1988b) favorece o uso frequente deste estrato para o forrageio das aves (Malmborg & Willson, 1988). Esta atividade demanda gasto metabólico diferenciado, em função das características das aves. Por exemplo, aves que executam forrageamento ativo, o qual envolve a procura, captura e manipulação da presa possui demanda maior gasto energético do que espécies de aves que são mais sedentárias (Huey & Pianka, 1981), visto que o voo está entre as atividades que demanda maior gasto energético (Norberg, 1983).

Alterações no ambiente modulam respostas fisiológicas e comportamentais (Sohal, 2002) objetivando manter a homeostase e garantir a sobrevivência, de acordo com a aptidão individual dos organismos (Romero, 2004). Respostas fisiológicas adaptativas aos estímulos estressores podem promover estresse oxidativo nas aves a partir do aumento da geração de compostos pró-oxidantes, sem o correspondente aumento das defesas antioxidantes, o que pode ocasionar danos aos ácidos nucleicos, proteínas e lipídios (Halliwell & Gutteridge, 2007).

Nas espécies com organização social e espacial em leque, os machos utilizam até 90% do tempo em exibições complexas para cortejar as fêmeas (Castro-Alves *et al.*, 2007). Comportamentos de exibições de corte demandam maior atividade física e aceleram o metabolismo oxidativo, aumentando assim a geração de espécies reativas de oxigênio (Urso & Clarkson, 2009).

O estresse oxidativo tem sido proposto como ferramenta para o entendimento dos custos fisiológicos subjacentes as modificações de habitat e

das interações inter e intraespecífica (Von Schantz *et al.*, 1999; Costantini, 2008). Comportamentos de defesa de território pelos machos adultos através de vocalizações, exibições e encontros agressivos (Castro-Alves *et al.*, 2007) pode elevar a taxa metabólica basal e os níveis de testosterona dos machos (Chastel *et al.*, 2003), contribuindo para o estresse oxidativo.

A resposta adaptativa dos organismos esta associada à eficiência do sistema antioxidante, pelo aumento de enzimas envolvidas no ciclo redox, como a catalase, superóxido dismutase e glutathione redutase, quanto pela ingestão de compostos antioxidantes provenientes da dieta, como os bioflavonóides e carotenóides, os quais retardam ou inibem a oxidação de biomoléculas (Halliwell & Gutteridge, 2007). Recursos antioxidantes são particularmente essenciais para os machos, que os utilizam na sinalização sexual, como a coloração da plumagem, bem como na atividade do sistema imune (Von Schantz *et al.*, 1999).

## **MÉTODOS**

### *ÁREA DE ESTUDO*

O estudo foi realizado na Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã (1° 43' 3,5" S, 51° 27' 36" W) situada nos municípios de Melgaço e Portel, no estado do Pará. Esta Unidade de Conservação Federal da Amazônia Oriental, foi criada em 1961 pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), possui área de 330.000 ha, sendo delimitada pelo rio Anapu, que forma a baía de Caxiuanã. Os principais afluentes são os rios Caxiuanã e Pracupi, que

deságuam nas baías Caxiuanã e dos Botos, respectivamente. Os rios da baía de Caxiuanã são de águas negras, com poucos nutrientes e materiais em suspensão (Lisboa *et al.*, 1997).

O clima, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido e subtipo climático “Am”, com duas estações distintas, uma chuvosa que se estende de dezembro a maio, e outra com menor incidência de precipitação, de junho a novembro. A temperatura média anual do ar é de 26,7 °C, com mínima de 22 °C e máxima de 32 °C (Lisboa *et al.*, 1997).

Os ambientes registrados na Flona de Caxiuanã são: floresta densa de terra firme, floresta de inundação (várzea e igapó), vegetação savanóide (campo hidromórfico), vegetação secundária (capoeira) e vegetação residual nos sítios de pomares. O estudo foi desenvolvido na floresta tropical úmida de terra firme, que é a vegetação predominante, ocupando cerca de 85% da área. A arquitetura florestal é constituída por árvores emergentes (40 a 50m), dossel (30 a 35m), sub-dossel (20 a 25m) e piso (5m). Apresenta elevada diversidade de espécies por hectare (150 a 160 espécies) e densidade de 450 a 550 árvores por ha. As famílias mais representativas são Sapotaceae, Lecythidaceae e Caesalpiniaceae. O sub-bosque é relativamente denso e com boa visibilidade (Lisboa *et al.*, 1997).

#### *DELINEAMENTO AMOSTRAL*

Foram selecionadas doze unidades amostrais em floresta de terra firme (seis clareiras naturais e seis sub-bosque sob dossel contínuo) pareadas a uma distância mínima de 200m em um plote de 100 ha (Figura 1). O sub-bosque

florestal sob dossel contínuo foi considerado uma área de floresta intacta com dossel denso superior e nenhuma evidência de perturbação recente (Levey, 1988a) e a clareira natural, definida por Runkle (1981) como “uma área do solo, sob a abertura do dossel, delimitada pelas bases das árvores de dossel que circundam a abertura”, denominados de clareira e sub-bosque. Os pontos de coletas foram georeferenciados com auxílio de GPS- GARMIN.

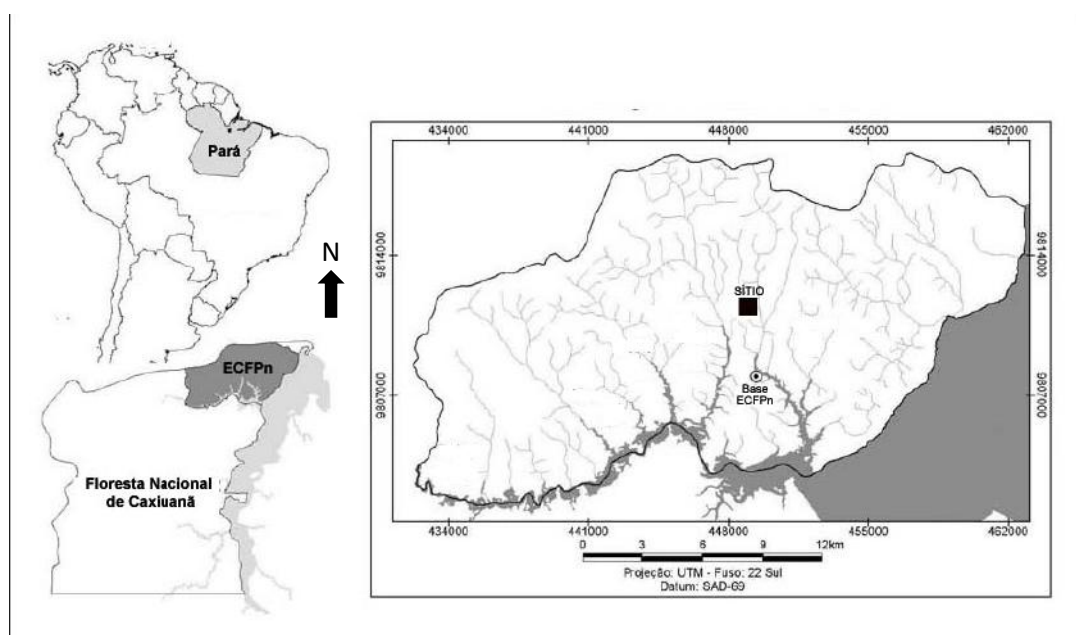


Figura 1. Mapa de localização da Floresta Nacional de Caxiuanã e da Estação Científica Ferreira Penna, mostrando o sítio de 100 ha onde foi realizado o estudo (adaptado de Martins *et al.*, 2005).

#### *Crítérios estruturais para a seleção das clareiras naturais*

Quanto à origem: foram selecionadas aquelas formadas pela queda de árvores, desenraizamento e ou quebra na base do tronco (Lima, 2005);

Quanto ao tempo de formação: foram selecionadas clareiras naturais de formação recente, inferior a dois anos, pois as copas das arvores caídas com galhadas eram observadas no chão da floresta (Lima, 2005).

Quanto ao tamanho: as clareiras naturais maiores são mais atrativas às aves frugívoras (Levey, 1988b), por isso foram selecionadas clareiras grandes com área igual ou superior a 150m<sup>2</sup> (Brokaw, 1985). A área foi estimada através da fórmula da elipse, empregando-se a seguinte equação matemática:  $A = p.B.C$ ; sendo: A = área da elipse,  $p = 3,1416$ ; B = raio maior/2; C = raio menor/2 (Brokaw, 1985). As clareiras naturais apresentaram área média de 201 ± 43.73 m<sup>2</sup> e amplitude de 158 a 250 m<sup>2</sup>.

## AVIFAUNA

Foram empregadas redes ornitológicas por permitirem amostragem similar e simultânea de cada par de sítios, além de possibilitar o registro das aves de difícil visualização e que raramente vocalizam (Karr, 1981; Gosler, 2004). Este método possibilita a avaliação de parâmetros biológicos, como muda, além de permitir a coleta de fezes, sangue e marcação individual dos espécimes capturados (Gosler, 2004). As redes ornitológicas têm sido utilizadas com frequência na amostragem das aves de sub-bosque, especialmente os passeriformes considerado o grupo mais importante nos estudos sobre distribuição de aves nas clareiras naturais (Schemske & Brokaw, 1981; Wunderle *et al.*, 1987; Wunderle *et al.*, 2005; Levey, 1988a).

Foram realizadas 12 excursões para área de estudo no período de novembro de 2010 a outubro de 2011. Em cada unidade amostral foram utilizadas 10 redes ornitológicas (2,5 x 12 m; malha 36 mm), as quais foram distribuídas 6 e 4 redes na configuração em forma de L nas bordas das clareiras para ajustar ao seu tamanho. As bordas foram definidas pela projeção

vertical das folhas de árvores sob dossel adjacente à clareira (Runkle, 1992). As redes no sub-bosque foram posicionadas na mesma configuração.

Para análise do perfil da assembleia das aves frugívoras foi utilizado o método de captura, marcação e recaptura (CMR). As redes foram abertas das 6:00 h às 14:00 h e vistoriadas a cada 45 minutos. Quatro unidades amostrais (2 clareiras naturais e 2 sub-bosques) foram monitoradas simultaneamente por dois dias consecutivos. Os indivíduos capturados foram identificados com anilhas cedidas pelo Centro de Estudos de Migrações de Aves – CEMAVE. Os dados de ambos os dias foram agrupados para obter um único número de espécies e indivíduos, as aves capturados e marcados no primeiro dia foram contadas apenas uma vez. O esforço amostral totalizou 23.040 horas-redes.

As aves capturadas foram identificadas com auxílio de guias de identificação (Ridgely & Tudor, 1989; 1994; Sick, 1997; Sigrist, 2008) e registrados, quando possíveis, os dados biológicos, como a idade, sexo, muda e placa de incubação. Os indivíduos foram mantidos em sacos de pano com papel de filtro por aproximadamente 30 minutos, para coleta de sangue e obtenção das fezes ou regurgito. Os indivíduos foram liberados próximos aos locais de captura. A nomenclatura seguiu o Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (CBRO 2011).

Para determinar a composição da dieta as amostras de fezes ou regurgito foram acondicionadas individualmente em tubo tipo eppendorf, devidamente etiquetado, mantido a temperatura ambiente e conservado em álcool a 70 °G.L. Posteriormente, lavadas com água morna, para dissolução rápida do material fecal e filtrado em malha de 0,3mm de diâmetro para triagem dos itens alimentares, os quais foram separados com auxílio de estiletos de



ponta fina e encaminhados aos laboratórios de Entomologia e de Botânica do Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG).

A classificação das aves frugívoras foi baseada na análise das amostras de fezes e regurgito e em publicações (Snow & Snow, 1971; Snow, 1981). Nós classificamos as aves frugívoras em primários e secundários. Os primários compreenderam as espécies nas quais as amostras de fezes sempre continham polpa do fruto e ou sementes, enquanto que os secundários continham, esporadicamente, polpa e ou sementes e maior proporção de insetos (Levey, 1988b).

#### *DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE ESTRESSE OXIDATIVO NAS AVES*

##### *Amostras*

Foram coletados cerca de 500uL de sangue através do corte da porção distal da unha. As amostras foram acondicionadas em tubo de polietileno de volume de 1,5mL, contendo heparina como anticoagulante e o plasma foi separado por centrifugação a 2000 g por 6 minutos e acondicionado a -2<sup>o</sup>C (Wills,1966).

Os indivíduos em processo de muda, reprodução e recaptura foram excluídos, pois poderiam influenciar nos resultados. O estresse foi determinado a partir da razão entre o dano oxidativo, mensurado pelas substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico e a capacidade antioxidante total, com os maiores valores indicando elevado estresse oxidativo (Bonnes *et al.*, 1992; Esterbauer, 1996; Dotan *et al.*, 2004; Dalle-Donne *et al.*, 2006 , Cohen & Horak, 2010).

### *Medida do dano oxidativo (TBARS)*

A medição de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) foi utilizada para determinar os produtos de peroxidação dos lipídios, como o malondialdeído (MDA), que tem sido utilizado para avaliar o dano oxidativo (Bonnes *et al.*, 1992; Esterbauer, 1996; Dotan *et al.*, 2004; Dalle-Donne *et al.*, 2006, Cohen & Horak, 2010). MDA pode ser medido por espectrofotometria e por cromatografia líquida de alta eficiência após derivação com ácido tiobarbitúrico (ensaio do TBARS). De maneira sucinta, as lipoproteínas são precipitadas da amostra biológica, pela adição de ácido tricloroacético a 10% e removidas por centrifugação a 2000g por 3 minutos, e adicionado 0.05M de ácido tiobarbitúrico 0.67% em sulfato de sódio 2M. A derivação do MDA com o ácido tiobarbitúrico é realizada a 90 °C por 30 minutos. O cromógeno resultante é extraído em n-butanol e a absorvância medida em 530nm. Os compostos reativos ao ácido tiobarbitúrico são expressos como nmoles MDA/L<sup>-1</sup>, usando curva de calibração, contendo diferentes concentrações de 1,1,3,3-tetraethoxypropane (Isaksson *et al.*, 2009).

### *Medida da capacidade antioxidante total (TAS)*

A capacidade antioxidante total do plasma foi determinada pelo método do TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity), a qual reflete os níveis de antioxidantes micromoleculares circulantes, dentre os quais o ácido úrico, vitamina A, vitamina C, carotenóides. De maneira sucinta, o método é baseado na supressão da absorvância medida a 740nm do radical 2,2-azinobis (3-ethylbenzothiazoline, 6-sulphonate) (ABTS), pelos antioxidantes presentes na

amostra de maneira proporcional a sua concentração. Os resultados são expressos como capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC), utilizando-se curva de calibração contendo diferentes concentrações de Trolox (Cohen *et al.*, 2007).

### *DISPONIBILIDADE DE FRUTOS*

Os vegetais frutificando em altura inferior a 10 m foram marcados ao longo de dois transectos paralelos em cada lado das redes ornitológicas e, distantes três metros destas. Para identificação das espécies foram montadas excisatas das partes férteis, as quais foram encaminhadas ao laboratório de Botânica do MPEG. A abundância dos frutos maduros de cada planta foi registrada em escala de 1 a 8 (1=1-10 frutos maduros; 2=11-25; 3= 26-50; 4= 51- 100; 5=101-200; 6=201-500; 7=501-1000; 8=1001-10000) (Levey, 1988a). Os seguintes critérios foram utilizados para considerar se um diásporo estava maduro: coloração, fácil desprendimento do vegetal, deiscência do fruto e amolecimento da polpa (Levey, 1987).

### *Medida da capacidade antioxidante total dos frutos*

Foi utilizada a técnica da captura do radical 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS•+), empregando-se como referência a curva de calibração do Trolox (6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico). Determinamos as atividades dos compostos de natureza hidrofílica, como ácido ascórbico e flavonóides, e lipofílica, como carotenoides nos frutos registrados na dieta dos indivíduos presentes em clareiras naturais. De maneira

sucinta, o método consiste na prévia extração dos compostos hidrofílicos e lipofílicos presentes nas polpas dos frutos, empregando-se soluções de metanol a 50% e acetona a 70%, respectivamente. Os compostos antioxidantes presentes na amostra reduzem o radical ABTS, e a redução da absorvância é acompanhada em comprimento de onda de 734nm (Ré *et al.*, 1999).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTON, A.M.; FETCHER, N. & REDHEAD, S. (1989). The relationship between treefall gap size and light flux in a Neotropical rain forest in Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, v.5, p.437-439.

BLAKE, J.G. & HOPPES, W.G. (1986). Influence of resource abundance on use of tree-fall gaps by birds in an isolated woodlot. **Auk**, v.103, p.328-340.

BONNES, T.D.; GUERIN, M.C. & TORREILLE, J. (1992). Is malonaldehyde a valuable indicator of lipid peroxidation? **Biochemical Pharmacology**, v.44, p.985-988.

BROKAW, N.V.L. (1985). Gap-phase regeneration in a tropical forest. **Ecology**, v.66, p. 682-687.

CASTRO-ASTOR, I.N.; ALVES, M.A.S. & CAVALCANTI, R.B. (2007). Display behavior and spatial distribution of the white-crowned manakin in the Atlantic forest of Brazil. **Condor**, v.109, p.155-166.

CHASTEL, O.; LACROIX, A. & KERSTEN, M. (2003). Pre-breeding energy requirements: thyroid hormone, metabolism and the timing of reproduction in house sparrows *Passer domesticus*. **Journal of Avian Biology**, v.34, p.298-306.

COHEN, A.; KLASING, K. & RICKLEFS, R. (2007). Measuring circulating antioxidants in wild birds. **Comparative Biochemistry Physiology B**, v.147, p.110- 121.

COHEN, A. & HORAK, P. (2010). The Ecology of Antioxidants & oxidative stress in animals- How to measure oxidative stress in an ecological context: methodological and statistical issues. **Functional Ecology**, v.24, p.960-970.

CBRO. Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. Lista das Aves do Brasil. Disponível em <http://www.cbro.org.br>. Acesso em 20/10/2012.

COSTA, J.P.R. & MORAES, J.C. (2002). Médias mensais de variáveis meteorológicas. In: Caxiuanã: populações tradicionais, meio físico e diversidade biológica. Lisboa, P.L.B. (org.). Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 225-234.

COSTANTINI, D. (2008). Oxidative stress in ecology and evolution: lessons from avian studies. **Ecology Letters**, v.11, p.1238-1251.

DALLE-DONNE, I.; ROSSI, R.; COLOMBO, R.; GIUSTARINI, D. & MILZANI, A. (2006). Biomarkers of oxidative damage in human disease. **Clinical Chemistry**, v.52, p.601-623.

DOTAN, Y.; LICHTENBERG, D. & PINCHUCK, I. (2004). Lipid peroxidation cannot be used as a universal criterion of oxidative stress. **Progress in Lipid Research**, v.43, p.200-227.

ESTERBAUER, H. (1996). Estimation of peroxidative damage. A Critical Review. **Pathologie Biologie (Paris)**, v.44, p.25-28.

GENTRY, A.H. & EMMONS, L.H. (1987). Geographic variation in fertility and composition of the understory of Neotropical forests. **Biotropica**, v.19, p.216–227.

GOSLER, A. (2004). Birds in the hand. In: Sutherland, W.J.; Newton, I.; Green, R.E. **Birds ecology and conservation: a handbook of techniques**. Oxford University Press, New York, p. 85-118.

HALLIWELL, B.H. & GUTTERIDGE, J.M.C. (2007). **Free Radicals in Biology and Medicine**, 4th edn. Oxford University Press, Oxford.

HUEY, R.B. & PIANKA, E.R. (1981). Ecological consequences of foraging mode. **Ecology**, v.62; p.991-999.

KARR, J.R. (1981). Surveying birds with mist nets. In: Ralph, C. J.; Scott, J. M. editors. Estimating numbers of terrestrial birds. **Studies in Avian Biology** 6. Cooper Ornithological Society, Los Angeles, California, USA. p. 62- 67.

ISAKSSON, C.; STURVE, J.; ALMROTH, B.C. & ANDERSSON, S. (2009). The impact of urban environment on oxidative damage (TBARS) and antioxidant systems in lungs and liver of great tits, *Parus major*. **Environmental Research**, v. 109, p. 46-50.

LEVEY, D.J. (1987). Seed size and fruit-handling techniques of avian frugivores. **American Naturalist**, v.129, p.471-485.

LEVEY, D.J. (1988a). Spatial and temporal variation in Costa Rican fruit and fruit-eating bird abundance. **Ecological Monographs**, v.58, p.251–269.

LEVEY, D.J. (1988b). Spatial and temporal variation in Costa Rican fruit and fruit-eating bird abundance. **Ecological Monographs**, v.58, p.251–269.

LIMA, R.A.F. (2005). Estrutura e regeneração de clareiras naturais em Florestas Pluviais Tropicais. **Revista Brasileira de Botânica**, v.28, n.4, p.651-670.

LISBOA, P.L.B.; SILVA, A.S.L. & ALMEIDA, S.S. (1997). Florística e estrutura dos ambientes. In: Lisboa, P.L.B. (Org.). **Caxiuanã**: p.163-194, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.

MALMBORG, P.K. & WILLSON, M.F. (1988). Foraging ecology of avian frugivores and some consequences for seed dispersal in an Illinois woodlot. **Condor**, v.90, p.173–186.

MARTIN, T.E. & KARR, J.R. (1986). Patch utilization by migrating birds: resource oriented? **Ornis Scandinavica**, v.17, p.165-174.

MARTINS, S.S.; LIMA, E.M & SILVA, J.S. JR. (2005). Predation of a Bearded Saki (*Chiropotes utahik*) by a Harpy Eagle. **Neotropical Primates**, v.13:,p.7-10.

NORBERG, R.A. (1983). Optimal locomotion modes of foraging birds in trees. **Ibis**, v.125, p.172-180.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M. & RICE- EVANS, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v.26, p.1231-1237.

RIDGLEY, R.S. & TUDOR, G. (1989). **The birds of South America Vol. 1: the Oscines Passerines** : University of Texas Press, Texas, p.1-516.

RIDGLEY, R.S. & TUDOR, G. (1994). **The birds of South America Vol. 2: The Suboscines Passerines**, University of Texas Press, Texas, p.1-814.

ROMERO, L.M. (2004). Physiological stress in ecology: lessons from biomedical research. **Trends in Ecology & Evolution**, v.19, p.249–255.

RUIVO, M.L.P.; PEREIRA, S.B.; BUSSETTI, E.P.C.; COSTA, R.F.; QUANZ, B.; NAGAISHI, T.Y.; OLIVEIRA, P. J.; MEIR, P.; MALHI, Y. & COSTA, A.C.L. (2002). Propriedades do solo e fluxos de CO<sub>2</sub> em Caxiuanã, Pará: Experimento LBA-ESECAFLOR. In. **Contribuições a geologia da Amazônia**, (CGA-3), Sociedade Brasileira de Geologia, Belém, v.3, p.291-299.

RUNKLE, J.R. (1981). Gap regeneration in some old-growth forests of the eastern United States. **Ecology**, v.62, p.1041- 1051.

SCHEMSKE, D.W. & BROKAW, N. (1981). Treefalls and the distribution of understory birds in a tropical forest. **Ecology**, v.62, p.938–945.

SCHLIEMANN, S.A. & BOCKHEIM, J.G. (2011). Methods for studying treefall gaps: A review. **Forest Ecology and Management**, v.261, p.1143–1151.

SIGRIST, T. (2008). **Guia de Campo: Aves da Amazônia Brasileira**. 472p.

SOHAL, R. (2002). Role of oxidative stress and protein oxidation in the aging process. **Free Radical Biology Medicine**, v.33, p.37-44.

SNOW, B.K. & SNOW, D.W. (1971). The feeding ecology of tanagers and honey creepers in Trinidad. **The Auk**, v.88, p.291-322.

SNOW, D.W. (1981). Tropical frugivorous birds and their food plants: a world survey. **Biotropica**, v.13, p.1-14.

SICK, H. (1997). **Ornitologia Brasileira**: 1-912. Nova Fronteira, Rio de Janeiro.

URSO, M.L. & CLARKSON, P. M. (2003). Oxidative stress, exercise, and antioxidant supplementation. **Toxicology**, v.189, p.41-54.

VON SCHANTZ, T.S.; BENSCH, S.; GRAHN, M.; HASSELQUIST, D. & WITZELL, H. (1999). Good genes, oxidative stress and condition-dependent sexual signals. **Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences**, v. 266, p.1–12.

WHITMORE, T.C. (1989). Canopy gaps and the two major groups of forest trees. **Ecology**, v.70, p.536-538.

WILLS, E.D. (1966). Mechanism of lipidi peroxide formation in animal tissues. **Journal Biochemical**, v.99, p.667-676.

WUNDERLE, J.M. Jr.; DÌAZ, A.; VELÁZQUEZ, I. & SCHARRON, R. (1987). Forest openings and the distribution of understory birds in a Puerto Rican rainforest. **The Wilson Bulletin**, v.99, p.22–37.

WUNDERLE, J.M. Jr.; WILLIG, M.R. & HENRIQUES, L.M.P.H. (2005). Avian distribution in treefall gaps and understory of terra firme forest in the lowland Amazon. **Ibis**, v.147, p.109–129.



## **CAPÍTULO 1**

Distribuição de aves frugívoras em clareiras naturais e sub-bosque em floresta de terra firme na Amazônia

Distribuição de aves frugívoras em clareiras naturais e sub-bosque em floresta de terra firme na Amazônia

Andreza de Lourdes Souza Gomes<sup>1</sup>, Mario Augusto Gonçalves Jardim<sup>2</sup>, Jose Maria Cardoso da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Museu Paraense Emilio Goeldi, Programa de Pós-Graduação em Zoologia. Av Perimetral, 1901- Terra Firme, 66077-830 Belém, Pará, Brazil.

<sup>2</sup> Museu Paraense Emilio Goeldi, Coordenação de Botânica.

<sup>3</sup> Conservation International. 2011 Crystal Drive, Suite 500. 22202 - Arlington, - Estados Unidos.

## RESUMO

Nós comparamos a distribuição de aves frugívoras em clareiras naturais e sub-bosque em floresta de terra firme para verificar a importância das clareiras naturais para a manutenção das aves frugívoras. Foram capturados 347 indivíduos, pertencentes a 21 espécies. A análise da ordenação de Bray–Curtis indicou que clareiras naturais e sub-bosque apresentaram assembleias de aves frugívoras distintas e as espécies que mais contribuíram para a dissimilaridade foram: *Dixiphia pipra*, *Pipra rubrocapilla* e *Turdus albicollis*. A disponibilidade de frutos e o número total de captura dos indivíduos foram maiores nas clareiras, entretanto não houve diferença na riqueza de aves frugívoras entre os ambientes. Os frugívoros primários foram mais significativos em clareiras naturais do que os secundários. A espécie mais abundante na clareira foi *Dixiphia pipra* e no sub-bosque *Pipra rubrocapilla*. Foram registradas 36 espécies de plantas frutificando e a abundância total de aves frugívoras foi correlacionada com o número de plantas frutificando em clareiras naturais. As espécies mais comuns nas clareiras foram *Psychotria colorata* e *Psychotria iodotricha*, e no sub-bosque foi *Faramea anisocalyx*.

PALAVRAS CHAVES: avifauna, frugívoros, clareiras.

## ABSTRACT

We compared the distribution of frugivorous birds in natural gaps and understory sites in terra firme forest to evaluate the importance of the natural gaps for frugivorous birds. We captured 347 specimens belonging to 21 species. The ordination analysis of Bray-Curtis indicated that natural gaps and understory sites showed distinct assemblies of frugivorous birds and the species that contributed most to the dissimilarity were *Dixiphia pipra*, *Pipra rubrocapilla* and *Turdus albicollis*. The availability of fruits and total number of captured specimens were higher in gaps. However there was no difference in the richness of frugivorous birds among habitats. The primary frugivores were more significant in natural gaps than the secondary frugivores. The most abundant species in the natural gaps was *Dixiphia pipra* and in the understory sites was *Pipra rubrocapilla*. We recorded 36 species of fruiting plants and the total abundance of frugivorous birds was correlated with the number of fruiting plants in natural gaps. The most common species in gaps were *Psychotria colorata* and *Psychotria iodotricha*, and in the understory sites was *Faramea anisocalyx*.

KEYWORDS: birds, frugivorous, gaps.

## INTRODUÇÃO

As clareiras naturais são fundamentais para regeneração florestal, contribuindo para elevada diversidade biológica nas florestas tropicais (Brokaw, 1985). A abertura da clareira acarreta modificações ambientais, como o aumento da luminosidade, temperatura, umidade, nutrientes, serapilheira (Lima, 2005) e disponibilidade de recursos, principalmente de frutos, que influenciam na distribuição das aves frugívoras (Blake & Hoppes, 1986; Levey, 1988b).

A distribuição de aves frugívoras nas clareiras naturais pode variar com a área, pois a maior densidade de plantas frutificando nas clareiras maiores seria mais atrativa para os frugívoros (Levey, 1988b). A área da clareira depende do porte da árvore; estudos no Panamá e Porto Rico, onde as florestas apresentam estatura mais baixa não relataram preferência das espécies frugívoras pelas clareiras naturais (Schemske & Brokaw, 1981; Wunderle *et al.*, 1987). Já na floresta da Costa Rica, com estatura mais alta, Levey (1988a) relatou que os frugívoros e nectarívoros são as guildas mais comuns nas clareiras naturais.

A heterogeneidade estrutural da vegetação oferece maior quantidade de nichos e, conseqüentemente elevado número de espécies de aves (Wilson, 1974). As clareiras naturais apresentam densa folhagem nos estratos próximos ao solo, que associada ao predomínio de espécies de plantas pioneiras,

favorecem a disponibilidade de recursos, principalmente para espécies frugívoras (Malmborg & Willson, 1988).

Os padrões de abundância das aves frugívoras tendem a se correlacionar com a oferta de frutos (Wheelwright, 1983; Loiselle e Blake, 1991). Martins e Karr (1986) encontraram uma correlação positiva entre a abundância de aves frugívoras com a frutificação das plantas em clareiras naturais durante o outono, período que os frutos correspondem a maior proporção da dieta. A preferência das aves frugívoras primárias por clareiras foi também relatada por Blake e Hoppes (1986).

As clareiras naturais diferem das áreas de sub-bosque pela composição florística, maior produção de frutos, longo período de frutificação e composição dos frutos, que são geralmente mais adocicados (Levey, 1988b; 1990). Isto sugere que as clareiras podem influenciar nos padrões de interação entre aves frugívoras e plantas, principalmente nas florestas tropicais, onde a perda destas interações pode levar a extinção dos táxons e redução da biodiversidade (Thompson, 2011).

A distribuição espacial das aves depende tanto das características do habitat quanto das suas interações biológicas (MacArthur & Whitmore, 1979). O objetivo deste trabalho foi comparar a abundância de aves frugívoras e a disponibilidade de frutos em clareiras naturais e sub-bosque de floresta de terra firme da região Amazônica. Espera-se que a abundância de aves frugívoras seja distinta nos ambientes, pois a morte e decomposição das árvores durante a formação das clareiras naturais favorecem o acúmulo de nutrientes (Lima, 2005), e conseqüente aumento da disponibilidade dos frutos, atraindo as aves

frugívoras para estas áreas, em especial os frugívoros primários. Espera-se também que a associação entre abundância de aves frugívoras e o número de espécies frutificando seja maior nas clareiras naturais em comparação ao sub-bosque sob dossel contínuo. A arquitetura florestal amazônica formada por árvores emergentes com alta estatura, forma clareiras naturais maiores e mais atrativas, que associada a baixa fertilidade dos solos (Ruivo *et al.*, 2002) e a menor disponibilidade de frutos no sub-bosque (Gentry & Emmons, 1987), contribuem para a concentração de recursos nas clareiras. Por fim, espera-se também que as clareiras naturais apresentarão maior disponibilidade de frutos maduros e número de espécies de plantas do que o sub-bosque de dossel contínuo.

## **MÉTODOS**

### *ÁREA DE ESTUDO*

O estudo foi realizado no período de novembro de 2010 a outubro de 2011 na Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã (1° 43' 3,5" S, 51° 27' 36" W) situada nos municípios de Melgaço e Portel, no norte do estado do Pará. Esta Unidade de Conservação Federal da Amazônia Oriental, foi criada em 1961 pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), possui área de 330.000 ha, e é limitada pelo rio Anapu, que forma a baía de Caxiuanã. Os principais afluentes são os rios Caxiuanã e Pracupi, que deságuam nas baías Caxiuanã e dos Botos, respectivamente. Os rios da baía de Caxiuanã são de águas negras, com poucos nutrientes e materiais em suspensão (Lisboa *et al.*, 1997).

O clima é tropical úmido, com um período chuvoso que compreende os meses de janeiro a julho e, outro seco, de agosto a dezembro (Fisher *et al.*, 2007). A vegetação predominante é a floresta tropical úmida de terra firme com árvores emergentes (40 a 50m), dossel (30 a 35m), sub-dossel (20 a 25m) e piso (5m). As famílias mais representativas são Sapotaceae, Lecythidaceae e Caesalpiniaceae (Lisboa *et al.*, 1997).

O estudo foi desenvolvido em dois habitats, no sub-bosque florestal sob dossel contínuo, considerado uma área de floresta intacta com dossel denso superior e nenhuma evidência de perturbação recente (Levey, 1988a; 1990) e em clareira natural, definida por Runkle (1981) como “uma área do solo, sob a abertura do dossel, delimitada pelas bases das árvores de dossel que circundam a abertura”, denominados de clareira e sub-bosque.

Em uma parcela de 100 ha foram pareadas, a distância mínima de 200m, seis clareiras naturais e seis sub-bosques. As clareiras foram formadas pela queda de uma ou mais árvores, pelo desenraizamento e ou quebra na base do tronco, de formação recente, inferior a dois anos, pois se observava no chão da floresta as copas das árvores caídas com galhadas, com área média de  $201 \pm 43.73 \text{ m}^2$  e amplitude de 158 a  $250 \text{ m}^2$ .

#### AVIFAUNA

A abundância das aves frugívoras foi monitorada com redes ornitológicas, pois permitem amostragem similar e simultânea de várias unidades amostrais (Karr, 1981; Gosler, 2004), coleta de fezes e marcação individual dos espécimes capturados (Gosler, 2004). Este método tem sido utilizado com frequência na amostragem das aves, especialmente os passeriformes, os quais

se destacam nos estudos de distribuição de aves em clareiras naturais (Schemske & Brokaw, 1981; Wunderle *et al.*, 1987; Wunderle *et al.*, 2005; Levey, 1988a).

Foram utilizadas 10 redes ornitológicas (2,5 x 12 m; malha 36 mm) em cada unidade amostral, as quais foram dispostas em forma de L nas bordas da clareira para ajustar ao seu tamanho. As bordas foram definidas pela projeção vertical das folhas de árvores de dossel adjacente à clareira. No sub-bosque, as redes foram posicionadas na mesma configuração. As redes foram abertas das 6:00 h às 14:00 h e vistoriadas a cada 45 minutos. Quatro unidades amostrais (2 clareiras naturais e 2 sub-bosques) foram monitoradas simultaneamente por dois dias consecutivos, perfazendo seis dias a cada mês. O esforço amostral totalizou 23.040 horas-redes.

As aves foram identificadas com auxílio de guias de identificação (Ridgely & Tudor, 1989; 1994; Sick, 1997; Sigrist, 2008), anilhadas com anilhas metálicas cedidas pelo Centro de Estudos de Migrações de Aves – CEMAVE. Os indivíduos foram mantidos em sacos de pano com papel de filtro e liberados às proximidades dos locais de captura. As fezes e regurgitos foram triados e os itens alimentares encaminhados aos Laboratórios de Entomologia e de Botânica do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG).

As aves frugívoras foram classificadas em primárias e secundárias. As primárias compreenderam as espécies nas quais as amostras de fezes sempre continham polpa do fruto e ou sementes, enquanto que as secundárias continham, esporadicamente, polpa e ou sementes e maior proporção de insetos (Levey, 1988b). A classificação das aves frugívoras nestes dois grupos



foi baseada na análise das amostras de fezes e regurgito, mas também em publicações (Snow & Snow, 1971; Snow, 1981).

### *DISPONIBILIDADE DE FRUTOS*

Os vegetais frutificando em altura inferior a 10 m foram marcados ao longo de dois transectos paralelos em cada lado das redes ornitológicas e, distantes três metros destas. Para identificação das espécies foram montadas exsicatas das partes férteis, as quais foram encaminhadas ao laboratório de Botânica do MPEG. A abundância dos frutos maduros de cada planta foi registrada em escala de 1 a 8 (1=1-10 frutos maduros; 2=11-25; 3=26-50; 4=51- 100; 5=101-200; 6=201-500; 7=501-1000; 8=1001-10000) (Levey, 1988b). Os seguintes critérios foram utilizados para considerar se um diásporo estava maduro: coloração, fácil desprendimento do vegetal, deiscência do fruto e amolecimento da polpa (Levey, 1987).

### **ANÁLISE ESTATÍSTICA**

A riqueza de espécies nos ambientes foi comparada através de curva de rarefação, com o programa EstimateS (Cowell 2005). Nesta análise é construída uma curva média de número de espécies em função do número de indivíduos amostrados (valores cumulativos) após 100 aleatorizações dos dados observados.

O escalonamento multidimensional Não-Métrica (MDS), através do índice de Bray-Curtis, foi utilizado para testar se as clareiras naturais suportam assembleias de aves frugívoras distintas do sub-bosque. Foram utilizadas matrizes qualitativas e quantitativas. O MDS é consistente com diferentes tipos de dados, e dentre outros fatores, não atribui similaridade pela ausência

comum de determinada espécie (Manly, 1994). A diferença na abundância das espécies de aves frugívoras nos diferentes ambientes foi testada pela análise de similaridade (ANOSIM). A análise de similaridade das percentagens (SIMPER) permitiu indicar quais espécies foram as principais responsáveis pelas similaridades dentro de cada grupo.

Para testar se as espécies de aves frugívoras, bem como, os frugívoros primários e plantas apresentaram preferência pelas clareiras naturais, foi utilizado o qui-quadrado, com a restrição que, se um dos valores de dada espécie foi inferior a 20 indivíduos ou o número total, em pelo menos uma das categorias, inferior a cinco, foi aplicado o teste exato de Fisher.

Para verificar a relação entre o número de plantas frutificando nos ambientes e a abundância de aves frugívoras foi utilizada a técnica de regressão linear simples, após estudo da distribuição de normalidade (teste de KolmogorovSmirnov) das variáveis. O número de plantas frutificando nos ambientes foi considerado como variável dependente (Y) e a abundância de aves frugívoras, como variável independente (X), ambas expressas de forma quantitativa.

Para verificar se as espécies de plantas e aves frugívoras apresentam convergência na diferenciação no nível de comunidade foi utilizado o teste de Mantel (Mantel 1967), os dados foram previamente normatizados e, foram comparadas as matrizes de similaridade das aves frugívoras (distância de Bray Curtis) e a matriz de plantas frutificando (distância de Bray Curtis) baseado em 5.000 randomizações.

O teste de Mann-Whitney foi utilizado para comparar a disponibilidade de frutos maduros das espécies de plantas que apresentaram o mínimo de cinco indivíduos nos ambientes e dez indivíduos no total. Para a análise estatística foi utilizado o SYSTAT software 11 e o pacote PAST v. 1.3 (Hammer & Harper, 2004). O nível de significância aceito foi de 5%.

## RESULTADOS

Foram capturados 347 indivíduos pertencentes a 21 espécies de aves frugívoras (Apêndice 1). A acumulação das espécies demonstrou rápida ascensão até a quarta sessão de captura, considerando simultaneamente os dois ambientes, seguida de crescimento gradativo até a décima primeira sessão de captura, quando apresentou tendência a estabilização (Figura 1).

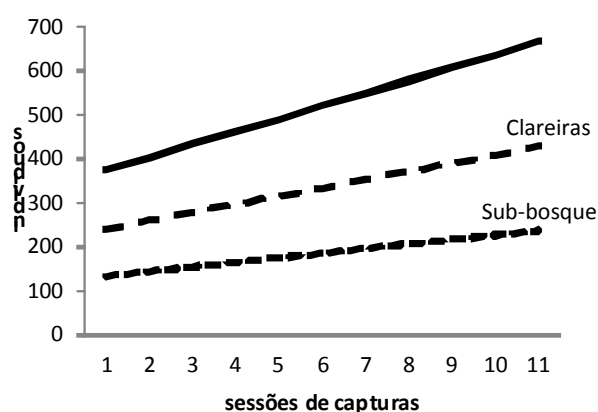


Figura 1. Curva cumulativa do número de indivíduos de aves frugívoras em clareiras naturais e sub-bosque em função das sessões de capturas em floresta de terra firme.

A ordenação dos dados de abundância das aves frugívoras demonstrou que a avifauna em clareiras naturais é distinta do sub-bosque (Figura 2; stress 0.11,

0.09). Através da análise de similaridade das percentagens (SIMPER) verificou-se que as espécies que mais contribuíram para a dissimilaridade foram: *Dixiphia pipra*, *Pipra rubrocapilla* e *Turdus albicollis*. A análise de similaridade apresentou valor global de  $R=0.42$ , confirmando os resultados da ordenação e a diferença significativa na abundância dos frugívoros entre os ambientes ( $p < 0.05$ )

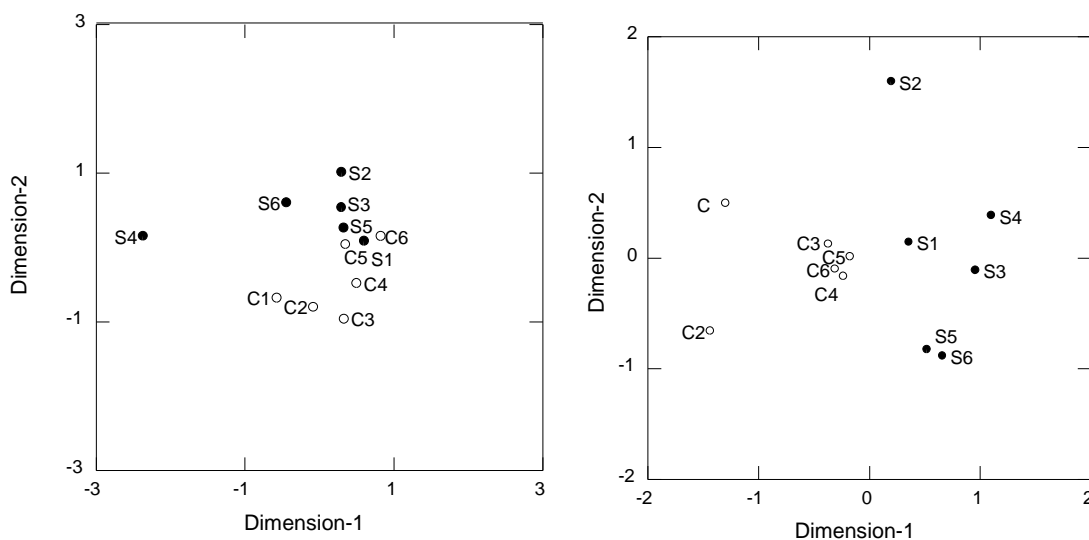


Figura 2. Escalonamento multidimensional (MDS) dos dados com matriz qualitativa e quantitativa de aves frugívoras em clareiras naturais (C) e sub-bosque (B) em floresta de terra firme.

O número de indivíduos capturados nas clareiras naturais foi significativamente superior ao sub-bosque (218 e 129, respectivamente;  $X^2=22.82$ ,  $g/1$ ,  $P<0.005$ ). Entretanto, o número de espécies (clareira, 18; sub-bosque, 15) não foi diferente entre os ambientes ( $X^2=0.27$ ,  $g/1$ ,  $P=6$ ).

Para determinar se as espécies de aves frugívoras apresentam preferência entre os ambientes foi necessário um mínimo de seis capturas (Teste exato de Fischer). Com base em processos aleatórios seria de se esperar que apenas

uma espécie (11x 0,05) obtivesse diferença significativa na taxa de captura entre os ambientes, entretanto, onze espécies de aves cumpriram este critério (Tabela 1). Destas, cinco (45%) apresentaram diferença no número de capturas entre os ambientes, o que foi considerado superior ao esperado ( $p < 0.05$ ).

Tabela 1. Espécie de aves frugívoras registradas com maior frequência em clareiras naturais e sub-bosque de floresta de terra firme.

Espécies	Nº de indivíduos		P	guilda
	clareira	sub-bosque		
<i>Geotrygon montana</i>	14	7	0.12	FP
<i>Tyranneutes stolzmanni</i>	10	1	<0.05*	FP
<i>Pipra rubrocapilla</i>	36	41	0.56	FP
<i>Dixiphia pipra</i>	95	21	<0.05*	FP
<i>Schiffornis turdina</i>	12	15	0.56	FS
<i>Lipaugus vociferans</i>	5	2	0.14	FS
<i>Mionectes macconnelli</i>	12	13	0.84	FS
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	6	1	<0.05*	FS
<i>Turdus albicollis</i>	11	15	0.43	FS
<i>Lanio surinamus</i>	7	0	<0.05*	FS
<i>Periporphyrus erythromelas</i>	7	0	<0.05*	FP

FP= frugívoro primário; FS= frugívoro secundário;

\* resultado significativo;

A taxa de captura dos frugívoros primários foi significativamente superior em clareira ( $X^2=47.72$ ,  $gl=1$ ,  $P<0.0001$ ), quando comparado aos frugívoros secundários. Já no sub-bosque não houve diferença significativa ( $X^2=3.03$ ,  $gl=1$ ,  $p=0.08$ ). A espécie mais abundante na clareira foi *Dixiphia pipra* e no sub-bosque *Pipra rubrocapilla*.

Foram registradas 36 espécies de plantas frutificando. As espécies mais comuns nas clareiras naturais foram *Psychotria colorata* e *Psychotria iodotricha*, e no sub-bosque foi *Faramea anisocalyx* e *Virola surinamensis* (Apêndice 2). O número total de plantas frutificando foi significativamente

superior em clareira, quando comparado ao sub-bosque (120 e 72, respectivamente  $X^2=11.56$ ,  $g=1$ ,  $p<0.05$ ). Das 11 espécies com tamanho amostral de pelo menos seis indivíduos, sete foram encontradas com maior frequência em clareiras naturais, e apenas duas no sub-bosque ( $p < 0.05$ , Tabela 2).

Tabela 2. Espécie de plantas frutificando registradas com maior frequência em clareiras naturais e sub-bosque de floresta de terra firme.

Espécie	Número de indivíduos		P
	clareira	sub-bosque	
<i>Calathea microcephala</i>	4	4	0.69
<i>Cordia nodosa</i>	6	0*	<0.05
<i>Faramea anisocalyx</i>	5	15*	<0.05
<i>Ischnosiphon gracilis</i>	7	2*	<0.05
<i>Miconia ciliata</i>	8	5	0.21
<i>Psychotria cincta</i>	5	1*	<0.05
<i>Psychotria colorata</i>	29	5*	<0.05
<i>Psychotria iodotricha</i>	11	1*	<0.05
<i>Psychotria sessilis</i>	6	1*	<0.05
<i>Rinirea passoura</i>	6	0*	<0.05
<i>Virola surinamensis</i>	0	7*	<0.05

\* resultado significativo;

Analizamos a abundância de frutos maduros das espécies que apresentaram o mínimo de cinco indivíduos nos ambientes e dez indivíduos no total. *Miconia ciliata* não apresentou diferença no número de indivíduos frutificando nos dois ambientes ( $p=0.21$ ), porém a disponibilidade de frutos maduros foi significativamente superior nas clareiras naturais, quando comparada ao sub-bosque ( $Md=2,0$  e  $1,0$  respectivamente  $U=2.92$ ,  $p<0.05$ ). Apenas *Faramea anisocalyx* apresentou maior disponibilidade de frutos no sub-bosque ( $Md=2,0$  e  $1,0$  respectivamente  $U=10$ ,  $p<0.05$ ).

A abundância total de aves frugívoras não foi associada com o número de plantas frutificando considerando todas as unidades amostrais ( $R^2=0.51$ ,  $t=0.37$ ,  $p=0.72$ ) e no sub-bosque ( $R^2=0.38$ ,  $t=0.59$ ,  $p=0.58$ ), entretanto essa associação foi significativa em clareiras naturais ( $R^2=0.54$ ,  $t=-0.36$ ,  $p<0,05$ ) (Figura 3).

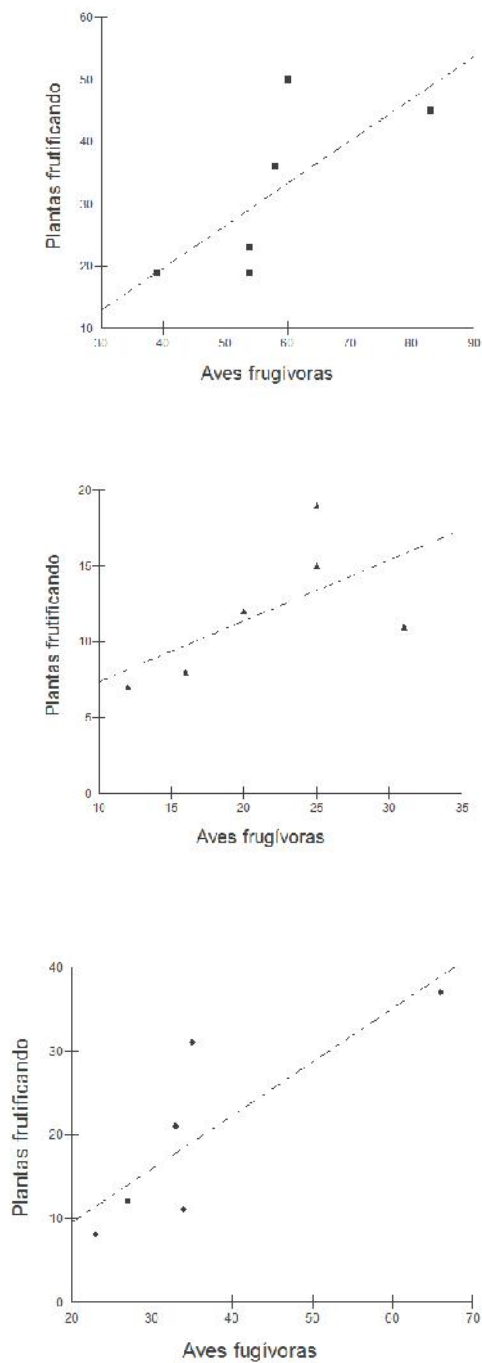


Figura 3. Número de plantas frutificando em função da abundância das aves frugívoras considerando todas as unidades amostrais, no sub-bosque e em clareiras naturais em floresta de terra firme.

A correlação de Mantel demonstrou congruência entre as matrizes de similaridade de aves frugívoras e plantas frutificando no ambiente ( $R = 0.56$ ,  $p < 0,05$ ) corroborando com a hipótese de que a distribuição das espécies de aves frugívoras nos ambientes não é aleatória (Figura 4).

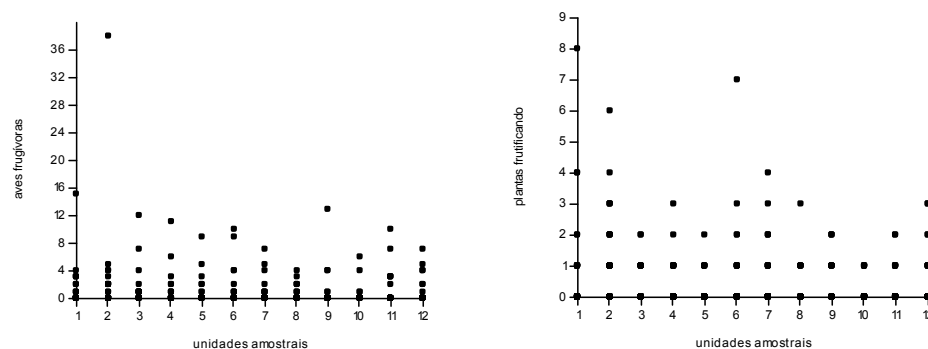


Figura 4. matrizes de similaridade de aves frugívoras e plantas frutificando no ambiente em floresta de terra firme.

## DISCUSSÃO

Nossos resultados demonstraram a preferência das aves frugívoras por clareiras naturais, corroborando estudos realizados em florestas tropicais (Levey, 1988a; 1988b; Wunderle *et al.*, 2005) e temperadas (Fuller, 2000; Wilson *et al.*, 1982; Malmberg & Willson, 1988; Hoppes, 1987). Nós registramos que 45% das aves frugívoras ocorreram frequentemente em clareira, ratificando resultados na Floresta da Costa Rica (Levey, 1988a) e na



Amazônia ocidental (Banks-Leite & Cintra 2008). Entretanto, Wunderle *et al.* (2005) registraram apenas 15% de frugívoros na região do Tapajós, e Schemske e Brokaw (1981) não relataram preferência desta guilda no Panamá. Esta diferença pode ser devido a área das clareiras naturais, pois os autores incluíram clareiras menores na amostragem, as quais são menos atrativas para as aves frugívoras (Levey, 1988b).

Clareiras e sub-bosque diferem significativamente na composição e estrutura da vegetação (Brokaw, 1985) microclima e produtividade (Halle *et al.*, 1978), os quais influenciam na disponibilidade de frutos e no uso diferenciado destes ambientes pelas aves frugívoras (Blake & Hoppes, 1986; Martin & Karr, 1986; Levey, 1988b). Das espécies de aves frugívoras que apresentaram preferência por um dos ambientes, cinco ocorreram preferencialmente em clareiras naturais; *Dixiphia pipra* foi a mais abundante neste ambiente. A disposição espacial do leque desta espécie tem sido relacionada a certas variáveis ambientais, como a maior luminosidade e disponibilidade de poleiros, que favorecem a exibição do macho nas arenas (Loiselle *et al.*, 2007). Soma-se que o sucesso do acasalamento dos machos se associa aos territórios com maior disponibilidade de frutos (Tori, 2008).

Varias espécies de aves tropicais dependem de frutos na sua dieta (Howe & Smallwood, 1982). Nossa amostragem registrou maior abundância de aves frugívoras primárias nas clareiras naturais. Blake e Hoppes (1986) indicaram que as espécies de aves mais dependentes de frutos na dieta tendem a preferir clareiras em relação aquelas com dieta mais diversificadas. Martin e Karr (1986) relataram que as aves frugívoras podem preferir este ambiente no período em que aumentam a proporção de frutos na dieta.

As aves frugívoras reconhecem e acompanham os padrões de distribuição dos frutos (Wheelwright, 1983; Loiselle & Blake, 1991). Nossos resultados indicam que o número elevado de plantas frutificando nas clareiras está associada à maior abundância de aves frugívoras neste ambiente. Portanto apoiamos a hipótese de que a elevada concentração de frutos em clareiras naturais é atrativa para a avifauna (Blake & Hoppes, 1986; Martin & Karr, 1986; Levey, 1988b), sem excluir outros fatores como a visibilidade dos frutos (Thompson & Willson, 1978), previsibilidade temporal (Denslow *et al.*, 1986) e a ocorrência de frutos mais adocicados (Levey, 1987).

As clareiras naturais são importantes para o estabelecimento das plantas nas florestas tropicais, principalmente as espécies de sub-bosque (Levey, 1988b). A maioria das espécies de plantas neste estudo que apresentaram preferência por um dos ambientes ocorreu nas clareiras. As mais abundantes pertencem ao gênero *Psychotria*, corroborando Amézquita (1998) e Carvalho *et al.* (2000) que relataram a preferência deste gênero pelo centro e borda de clareiras maiores.

As clareiras representam a fase mais importante para determinação da composição florística de uma floresta (Whitmore, 1989) e, as plantas tendem a apresentar maior disponibilidade de frutos e tempo de frutificação, quando comparada ao sub-bosque (Levey, 1988b). *Miconia ciliata* apresentou maior disponibilidade de frutos maduros nas clareiras. Este gênero ocorre preferencialmente em clareiras maiores (Tabarelli & Mantovani, 1999) e a maior quantidade de frutos pequenos pode constituir estratégia adaptativa da espécie para evitar a competição dos dispersores, visto que *esta* espécie vegetal foi

responsável pela maioria das interações com as aves na Amazônia Oriental (Gomes *et al.*, 2008).

A família Rubiaceae é uma das mais abundantes em sub-bosque das florestas Neotropicais (Gentry & Emmons, 1987). *Faramea anisocalyx* foi à espécie mais comum no sub-bosque, bem como, apresentou maior disponibilidade de frutos neste ambiente. Esta espécie apresenta frutos pequenos do tipo drupa, é um arbusto que cresce até no máximo 4 m de altura e ocorre frequentemente no sub-bosque da Floresta Nacional de Caxiuanã (Silva *et al.*, 2003), constituindo importante recurso no forrageio das aves frugívoras nesta área.

Distúrbios naturais, como a formação de clareiras são fundamentais para interação entre aves frugívoras e plantas (Gilbert, 1980). A distribuição preferencial das aves frugívoras em clareiras naturais nas florestas tropicais está associada a maior concentração de frutos, pois estas áreas constituem sítios permanentes e rentáveis de recursos. Contudo o uso deste ambiente pelas aves frugívoras é diferenciado nas florestas neotropicais, resultante principalmente do tamanho das clareiras, o qual influencia na produtividade primária, composição vegetal e disponibilidade de frutos (Lima, 2005). Nós sugerimos que as clareiras naturais maiores são mais atrativas, principalmente para as espécies que consomem maior proporção de frutos na dieta, tal como os frugívoros primários.

Sugerimos também que clareiras naturais influenciam a distribuição espacial dos indivíduos de *Dixiphia pipra*, pois os machos utilizam estas áreas

tanto pela maior visibilidade durante a exposição em leques, quanto pela maior disponibilidade de recursos, corroborando achado prévio de Loiseau *et al.* (2007) que indicou que a seleção de habitat e a distribuição espacial dos píprídeos se relacionava a estratificação da vegetação e a intensidade da luz incidente na arena de exibição.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

- AMÉZQUITA, P. (1998). Light environment affects seedling performance in *Psychotria aubletiana* (Rubiaceae), a tropical understory shrub. **Biotropica**, Lawrence, v.30, n.1, p. 126-129.
- BANKS-LEITE, C. & CINTRA, R. (2008). The heterogeneity of Amazonian treefall gaps and bird community composition. **Ecotropica**, v.14, p.1–13.
- BLAKE, J.G. & HOPPES, W.G. (1986). Influence of resource abundance on use of tree-fall gaps by birds in an isolated woodlot. **Auk**, v.103, p.328-340.
- BROKAW, N.V.L. (1985). Gap-phase regeneration in a tropical forest. **Ecology**, v.66, p. 682-687.
- CARVALHO, L.M.T.; FONTES, M.A.L. & OLIVEIRA-FILHO, A.T. (2000). Tree species distribution in canopy gaps and mature forest in an area of cloud forest of the Ibitipoca Range, south-eastern Brazil. **Plant Ecology**, Dordrecht, v.149, n.1, p.9-22.
- CHASTEL, O.; LACROIX, A. & KERSTEN, M. (2003). Pre-breeding energy requirements: thyroid hormone, metabolism and the timing of reproduction in house sparrows *Passer domesticus*. **Journal of Avian Biology**, v.34, p.298–306.
- COWELL, R.K. (2005). EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5. Guia do usuário e aplicação disponível em: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- DENSLOW, J.S.; MOERMOND, T.C. & LEVEY, D.J. (1986). Spatial components of fruit display in understory trees and shrubs. in Estrada, A., Fleming, T.H. **Frugivores and seed dispersal in the tropics**, Dr. W. Junk, The Hague, The Netherlands, p. 37-44.
- FISHER, R.A.; WILLIAMS, M.; COSTA, A.C.L.; MALHI, Y.; COSTA, R.F.; ALMEIDA, S. & MEIR, P. (2007). The response of an Eastern Amazonian rain forest to drought stress: results and modelling analyses from a throughfall exclusion experiment. **Global Change Biology**, v.13, p.1-18.
- FULLER, R.J. (2000). Influence of treefall gaps on distributions of breeding birds within interior old growth stands in Białowieża Forest, Poland. **The Condor**, v.102, p.267-274.
- GENTRY, A.H. & EMMONS, L.H. (1987). Geographic variation in fertility and composition of the understory of Neotropical forests. **Biotropica**, v.19, p.216–227.
- GILBERT, L.E. (1980). Food web organization and the conservation of Neotropical Diversity In: Soulé, M. E.; Wilcox, B. A. (Eds.) **Conservation**

**biology: an evolutionary-ecological perspective.** Sunderland: Sinauer, p.11-33.

GOMES, A.L.S.; MARCELIANO, M.L.V. & JARDIM, M.A.G. (2008). Consumo dos frutos de *Miconia ciliata* (Rich.) DC. (Melastomataceae) por aves na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v.16, n.4, p.383-386.

GOSLER, A. (2004). Birds in the band. In: Sutherland, W.J., Newton, I.; Green, R.E. (Eds.). **Birds ecology and conservation: a handbook of techniques:** Oxford University Press, New York, p. 85-118.

HALLÉ, F.; OLDEMAN, R.A.A. & TOMLINSON, P.B. (1978). **Tropical Trees and Forests: an Architectural Analysis.** Berlin: Springer-Verlag.

HAMMER, O. & HARPER, D.A.T. (2004). Past. Paleontological statistical. V. 1.18. Disponível em: <<http://folk.uio.no/ohammer/past>>. Acesso em: 09 Out. 2012.

HOPPES, W.G. (1987). Pre- and post-foraging movements of frugivorous birds in an eastern deciduous forest woodland, USA. **Oikos**, v.49, p.281-190.

HOWE, H.F. & SMALLWOOD, J. (1982). Ecology of seed dispersal. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 13, p. 201-228.

KARR, J.R. (1981). Surveying birds with mist nets. In: Ralph, C. J.; Scott, J. M. editors. Estimating numbers of terrestrial birds. **Studies in Avian Biology** 6. Cooper Ornithological Society, Los Angeles, California, USA. p. 62- 67.

LEVEY, D.J. (1990). Habitat-dependent fruiting behaviour of an understory tree, *Miconia centrodesma*, and tropical treefall gaps as keystone habitats for frugivores in Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, v.6, p.409–420.

LEVEY, D.J. (1987). Seed size and fruit-handling techniques of avian frugivores. **American Naturalist**, v.129, p.471-485.

LEVEY, D.J. (1988a). Tropical wet forest treefall gaps and distribution of understory birds and plants. **Ecology**, v.69, p.1076–1089.

LEVEY, D.J. (1988b). Spatial and temporal variation in Costa Rican fruit and fruit-eating bird abundance. **Ecological Monographs**, v.58, p.251–269.

LIMA, R.A.F. (2005). Estrutura e regeneração de clareiras naturais em Florestas Pluviais Tropicais. **Revista Brasileira de Botânica**, v.28, n.4, p.651-670.

LISBOA, P.L.B.; SILVA, A.S.L. & ALMEIDA, S.S. (1997). Florística e estrutura dos ambientes. In: Lisboa, P.L.B. (Org.). **Caxiuanã:** Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, p.163-194.

LOISELLE, B.A.; BLAKE, J.G.; DURAES, R.; RYDER, T.B. & TORI, W.P. (2007). Environmental and spatial segregation of leks among six co-occurring species of manakins (Aves: Pipridae) in eastern Ecuador. **Auk**, v.124, p. 420-431.

LOISELLE, B.A. & BLAKE, E.J.G. (1991). Temporal variation in birds and fruits along an elevational gradient in Costa Rica. **Ecology**, v.72, p.180-193.

MALMBORG, P.K. & WILLSON, M.F. (1988). Foraging ecology of avian frugivores and some consequences for seed dispersal in an Illinois woodlot. **Condor**, v.90, p.173–186.

MANLY, B.F.J. (1994). **Multivariate Statistical Methods A primer**: Chapman e Hall, London, p.1-208.

MARTIN, T.E. & KARR, J.R. (1986). Patch utilization by migrating birds: resource oriented? **Ornis Stancandinavica**, v.17, p.165-174.

MACARTHUR, R.H. & WHITMORE, R.C. (1979). **Passerine community composition and diversity in man-altered environments**. West Virginia Forestry, Morgantown, n.7, p.1-12.

RIDGLEY, R.S. & TUDOR, G. (1989). **The birds of South America Vol. 1: the Oscines Passerines**: University of Texas Press, Texas, p.1-516.

RIDGLEY, R.S. & TUDOR, G. (1994). **The birds of South America Vol. 2: The Suboscines Passerines**, University of Texas Press, Texas, p.1-814.

RUIVO, M.L.P.; PEREIRA, S.B.; BUSSETTI, E.P.C.; COSTA, R.F.; QUANZ, B.; NAGAISHI, T.Y.; OLIVEIRA, P.J.; MEIR, P.; MALHI, Y. & COSTA, A.C.L. (2002). Propriedades do solo e fluxos de CO<sub>2</sub> em Caxiuanã, Pará: Experimento LBA-ESECAFLOR. In. **Contribuições a geologia da Amazônia**, (CGA-3), Sociedade Brasileira de Geologia, Belém, v.3, p.291-299.

RUNKLE, J.R. (1981). Gap regeneration in some old-growth forests of the eastern United States. **Ecology**, v.62, p.1041- 1051.

SCHEMSKE, D.W. & BROKAW, N. (1981). Treefalls and the distribution of understory birds in a tropical forest. **Ecology**, v.62, p.938–945.

SICK, H. (1997). **Ornitologia Brasileira**: Nova Fronteira, Rio de Janeiro, p.1-912.

SIGRIST, T. (2008). **Guia de Campo: Aves da Amazônia Brasileira**, 472p.

SILVA, A.S.L.; ALMEIDA, S.S. & ROSARIO, C.S. (2003). Flórua fanerogâmica da Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn): caracterização dos

ecossistemas e lista preliminar de espécies. CBO\_007 - Estação Científica Ferreira Penna - Dez Anos De Pesquisa Na Amazônia.

SNOW, B.K. & SNOW, D.W. (1971). The feeding ecology of tanagers and honey creepers in Trinidad. **The Auk**, v.88, p.291-322.

SNOW, D.W. (1981). Tropical frugivorous birds and their food plants: a world survey. **Biotropica**, v.13, p.1-14.

TABARELLI, M. & MANTOVANI, W. (1999). Clareiras naturais naturais e riqueza de espécies pioneiras em uma Floresta Atlântica de Montana. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v.59, n.2, p.251-261.

THOMPSON, J.N. (2011). The future of studies of plant-animal interactions. In DEL-KLARO, K.; TOREZAN-SILINGARDI H. M., eds. **Ecologia das interações animais-plantas: uma abordagem ecológico-evolutiva**. Technical Books Editoria, Rio de Janeiro.

THOMPSON, J.N. & WILLSON, M.F. (1978). Disturbance and the dispersal of fleshy fruit. **Science**, v. 200, p.1161-1163.

TORI, W.P. (2008). **Sexual selection in an exploded lekking species: the White-crowned Manakin (*Pipra pipra*)**. p. 121, a dissertation, University of Missouri-St. Louis.

WHEELWRIGHT, N.T. (1983). Fruits and the ecology of Resplendent Quetzals. **Auk**, v.100, n.2, p.286-301.

WHITMORE, T.C. (1989). Canopy gaps and the two major groups of forest trees. **Ecology**, v.70, p.536-538.

WILSON, M.F. (1974). Avian community organization and habitat structure. **Ecology**, Brooklyn, v.55, n.5, p.1017-1029.

WILLSON, M.F.; PORTER, E.A. & CONDIT, R.S. (1982). Avian frugivore activity in relation to forest light gaps. **Caribbean Journal of Science**, v.18, p.1-6.

WUNDERLE, J.M. Jr.; DÍAZ, A.; VELÁZQUEZ, I. & SCHARRON, R. (1987). Forest openings and the distribution of understory birds in a Puerto Rican rainforest. **The Wilson Bulletin**, v.99, p. 22–37.

WUNDERLE, J.M. Jr.; WILLIG, M.R. & HENRIQUES, L.M.P.H. (2005). Avian distribution in treefall gaps and understory of terra firme forest in the lowland Amazon. **Ibis**, v.147, p.109–129.





## APÊNDICE

Apêndice 1. Espécies de aves frugívoras capturadas em clareira naturais e no sub-bosque em floresta de terra firme.

Família	Espécie	Clareira	Sub-bosque	Total	Guilda
Tinamidae	<i>Crypturellus variegatus</i>	1		1	FP
Columbidae	<i>Geotrygon montana</i>	14	7	21	FP
Trogonidae	<i>Trogon rufus</i>	1		1	FP
Ramphastidae	<i>Ramphastos vitellinus</i>		1	1	FP
Tyrannidae	<i>Mionectes oleagineus</i>	2		2	FS
Tyrannidae	<i>Mionectes macconnelli</i>	12	13	25	FS
Cotingidae	<i>Lipaugus vociferans</i>	5	2	7	FS
Cotingidae	<i>Phoenicircus carnifex</i>		2	2	FS
Pipridae	<i>Tyranneutes stolzmanni</i>	10	1	11	FP
Pipridae	<i>Dixiphia pipra</i>	95	21	116	FP
Pipridae	<i>Pipra rubrocapilla</i>	36	41	77	FP
Tityridae	<i>Schiffornis turdina</i>	12	15	27	FS
Turdidae	<i>Turdus albicollis</i>	11	15	26	FS
Coerebidae	<i>Coereba flaveola</i>		1	1	FS
Thraupidae	<i>Tachyphonus surinamus</i>	7		7	FS
Thraupidae	<i>Tachyphonus cristatus</i>	2		2	FS
Emberizidae	<i>Arremon taciturnus</i>	1	2	3	FS
Cardinalidae	<i>Habia rubica</i>		2	2	FS
Cardinalidae	<i>Periporphyrus erythromelas</i>	3	4	7	FP
Fringillidae	<i>Euphonia cayennensis</i>	1		1	FP
Vireonidae	<i>Cyclarhis gujanensis</i>	6	1	7	FS
Total		218	129	347	

FP= frugívoro primário; FS= frugívoro secundário;

Apêndice 2. Espécies de plantas frutificando em clareiras naturais e no sub-bosque em floresta de terra firme.

Família	Espécie	C	S	Total
Boraginaceae	<i>Cordia nodosa</i>	6	0	6
Burseraceae	<i>Protium trifoliolatum</i>	1	2	3
Chrysobalanaceae	<i>Licania canescens</i>	0	1	1
Clusiaceae	<i>Symphonia globulifera</i>	2	0	2
Cyclanthaceae	<i>Evodianthus funifer</i>	2	0	2
Cyperaceae	<i>Calyptracarya bicolor</i>	1	4	5
Dilleniaceae	<i>Davilla rugosa</i>	1	1	2
Fabaceae	<i>Inga edulis</i> Mart.	2	2	4
Fabaceae	<i>Swartzia polyphylla</i>	2	2	4
Heliconiaceae	<i>Heliconia acuminata</i>	2	2	4
Heliconiaceae	<i>Heliconia psittacorum</i>	3	2	5
Lecythidaceae	<i>Eschweilera grandiflora</i>	1	1	2
Malvaceae	<i>Sterculia pruriens</i>	2	0	2
Marantaceae	<i>Calathea microcephala</i>	4	4	8
Marantaceae	<i>Ischnosiphon gracilis</i>	7	2	9
Melastomataceae	<i>Miconia ciliata</i>	8	5	13
Meliaceae	<i>Guarea macrophylla</i>	0	1	1
Myristicaceae	<i>Virola surinamensis</i>	0	7	7
Piperaceae	<i>Piper asperum</i>	2	1	3
Poaceae	<i>Ichnanthus procurrens</i>	1	4	5
Poaceae	<i>Pariana radiceflora</i>	1	2	3
Rapateaceae	<i>Rapatea paludosa</i>	1	1	2
Rubiaceae	<i>Psychotria cincta</i>	5	1	6
Rubiaceae	<i>Psychotria colorata</i>	29	5	34
Rubiaceae	<i>Psychotria iodotricha</i>	11	1	12
Rubiaceae	<i>Psychotria sessilis</i>	6	1	7
Rubiaceae	<i>Faramea anisocalyx</i>	5	15	20
Sapotaceae	<i>Manilkara bidentata</i>	3	1	4
Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i>	1	0	1
Sapotaceae	<i>Pouteria macrophylla</i>	3	0	3
Solanaceae	<i>Solanum paniculatum</i>	0	1	1
Violaceae	<i>Rinorea passoura</i>	6	0	6
Violaceae	<i>Rinorea guianensis</i>	2	0	2
Violaceae	<i>Rinorea racemosa</i>	0	1	1
Violaceae	<i>Rinorea ryania</i>	0	1	1
Zingiberaceae	<i>Renealmia floribunda</i>	0	1	1
Total		120	72	192

## CAPÍTULO II

Estresse oxidativo de *Dixiphia pipra* (aves:Pipridae) em clareiras naturais na  
Amazônia

Estresse oxidativo de *Dixiphia pipra* (aves:Pipridae) em clareiras naturais na  
Amazônia

Andreza de Lourdes Souza Gomes<sup>1</sup>, Jose Maria Cardoso da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Museu Paraense Emilio Goeldi, Programa de Pós-Graduação em Zoologia. Av Perimetral, 1901- Terra Firme, 66077-830 Belém, Pará, Brazil.

<sup>3</sup> Conservation International. 2011 Crystal Drive, Suite 500. 22202 - Arlington, - Estados Unidos.

## RESUMO

Foi investigado o estresse oxidativo nos machos adultos, imaturos e fêmeas de *Dixiphia pipra* em clareira e sub-bosque. Os indivíduos de *Dixiphia pipra* ocorreram preferencialmente em clareiras naturais e a abundância foi correlacionada com a disponibilidade de frutos neste ambiente. A variação de estresse oxidativo nos indivíduos foi significativamente explicada pelo sexo, local da amostragem e pela interação entre estas variáveis. Machos adultos em clareiras naturais registraram níveis de estresse oxidativo mais elevado, resultante do aumento da geração de compostos pró-oxidantes, o que está provavelmente associado à interação de fatores como a demanda metabólica das estratégias de voo nos comportamentos de exibição, alocação de recursos antioxidantes para a produção e manutenção da plumagem ornamental, predação e a defesa de território.

**PALAVRAS CHAVES:** estresse oxidativo, avifauna, antioxidantes.

## ABSTRACT

We investigated the oxidative stress of *Dixiphia pipra* in adult, immature males and in females in natural gaps and understory sites. Specimens of *Dixiphia pipra* preferentially occurred in natural gaps and the abundance was correlated with fruit availability in this environment. The variation of oxidative stress in specimens was explained by sex, location of sampling and the interaction between these variables. Adult males in natural gaps had higher levels of oxidative stress. This is possibly due to the increased production of pro-oxidant compounds, which is related to an interaction of factors such as the metabolic demand of flight strategies, the courtship behaviors, the resource allocation of antioxidants for the production and maintenance of ornamental plumage, predation and territory defense.

Keywords: oxidative stress, birds, antioxidant.

## INTRODUÇÃO

Alterações ambientais na disponibilidade e qualidade de recursos constituem fatores estressantes para as aves, aumentando o metabolismo oxidativo (de Crommenacker *et al.*, 2011). O excesso da produção de compostos pró-oxidantes podem causar danos a biomoléculas essenciais e resultar no estresse oxidativo. Um dos efeitos mais significativos é a peroxidação lipídica da membrana celular que resulta na perda de funções essenciais, como a seletividade, culminando com a morte celular (Halliwell & Gutteridge, 2007).

O estresse oxidativo desempenha importante papel ecológico e evolutivo, pois modula respostas comportamentais e fisiológicas nos animais (Sohal, 2002) para manter a homeostase. Os organismos evoluíram sistemas eficientes de combate aos danos provocados pelos compostos pró-oxidantes, baseados em defesa antioxidante endógena como as enzimas superóxido dismutase, catalase e glutathione peroxidase e exógenos, provenientes da dieta como, vitaminas C e E, carotenoides e bioflavonóides (Halliwell & Gutteridge, 2007).

A resposta adaptativa dos animais ao excesso de produção de compostos pró-oxidantes pode ser caracterizada pela capacidade do indivíduo em adquirir recursos antioxidantes suplementares (Barton *et al.*, 1989; Halliwell & Gutteridge, 2007). Os compostos antioxidantes são fundamentais na seleção sexual, sendo responsáveis pela variação da cor na plumagem nos machos, os quais sinalizam boa condição de saúde, auxiliam no funcionamento do sistema



imunológico e revelam a capacidade do indivíduo em resistir ao dano oxidativo (Von Schantz *et al.*, 1999).

A relação entre estresse oxidativo e capacidade antioxidante nas aves têm sido utilizada para elucidar custos fisiológicos subjacentes à ornamentação sexual, reprodução e defesa de território (Von Schantz *et al.*, 1999). Na seleção sexual das aves as exibições acústicas e visuais são importantes no sucesso de acasalamento do macho (Castro *et al.*, 2007), no qual o gasto energético diário aumenta significativamente com a taxa de exibição nos machos (Vehrencamp *et al.*, 1989) e a atividade metabólica elevada pode produzir grande quantidade de espécies reativas de oxigênio acarretando estresse oxidativo (Beckman & Ames, 1998).

Investigamos as interações ecofisiológicas entre o estresse oxidativo e a distribuição espacial dos indivíduos de *Dixiphia pipra*. Esta espécie constitui-se modelo apropriado para o estudo, pois é um passeriformes frugívoro sexualmente dimórfico, com organização social e espacial em leques, nos quais os machos passam a maior parte do dia em comportamentos de exibições (Castro *et al.*, 2007). Comparamos a abundância dos indivíduos e o número de plantas frutificando em clareira e sub-bosque e prevemos que a abundância dos indivíduos e associação no número de espécies de plantas frutificando seja superior em clareiras naturais, uma vez que a disposição espacial do leque desta espécie ocorre preferencialmente em ambientes abertos (Castro-Astro *et al.*, 2007) e em áreas de elevada disponibilidade de frutos (Emlen & Oring, 1977; Théry, 1992).

Nós analisamos as substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) e a capacidade antioxidante total (TEAC) dos indivíduos para estimar as

relações entre os diferentes componentes que determinam o equilíbrio redox (Costantini, 2008; Cohen & Horak, 2010). Esperamos que as clareiras naturais representem fonte de estímulos estressores para os machos adultos de *Dixiphia pipra*, uma vez que a disputa por fêmeas exerce forte pressão seletiva sobre os machos, porém esperamos também que os machos adultos presentes nas clareiras naturais incluam frutos com elevado teor de compostos antioxidantes na sua dieta e que a alocação deste recurso possa minimizar os efeitos danosos das espécies pró-oxidantes.

## MÉTODOS

### *Espécie de estudo*

*Dixiphia pipra* se distribui da Costa Rica até o leste do Brasil (Ridgely & Greenfield, 2001). Os machos são negros com vértice e nuca brancos e mandíbula cinza-azulada, e as fêmeas com o dorso, asa e cauda verdes, o peito tingido de oliváceo, vértice e nuca cinza-azuladas. Os machos juvenis apresentam coloração semelhante à fêmea, com a íris vermelha menos intensa que das fêmeas e, alguns com penas brancas no vértice ou pretas no corpo (Ryder & Durães, 2005).

Esta espécie apresenta organização espacial de leques dispersos, nos quais os machos estabelecem territórios e as fêmeas frequentam com a finalidade de selecionar parceiros em potenciais para o acasalamento (Castro-Astor *et al.*, 2007). A seleção de habitat para a distribuição dos leques ocorre frequentemente em ambientes abertos (Castro-Astor *et al.*, 2007), com elevada luminosidade (Loiselle *et al.*, 2007), associados a troncos caídos

(Snow, 1961) e maior disponibilidade de frutos que favorece o sucesso reprodutivo do macho (Tori, 2008).

São aves predominantemente frugívoras de sub-bosque consumindo a polpa ou arilo dos frutos e descartando a semente por regurgitação ou passagem pelo intestino. Loiselle *et al.* (2007), relatam o consumo de 44 espécies diferentes de frutos, destacando-se as Melastomataceae, Rubiaceae e Araceae na sua dieta (Krijger *et al.*, 1997, Loiselle & Blake, 1990).

### ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã (1° 43' 3,5" S, 51° 27' 36" W) situada nos municípios de Melgaço e Portel, no estado do Pará. Esta Unidade de Conservação Federal da Amazônia Oriental, foi criada em 1961 pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), possui área de 330.000 ha, e é limitada pelo rio Anapu, que forma a baía de Caxiuanã. Os principais afluentes são os rios Caxiuanã e Pracupi, que deságuam nas baías Caxiuanã e dos Botos, respectivamente. Os rios da baía de Caxiuanã são de águas negras, com poucos nutrientes e materiais em suspensão (Lisboa *et al.*, 1997).

O clima, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido e subtipo climático "Am", com duas estações distintas, uma chuvosa que se estende de dezembro a maio, e outra com menor incidência de precipitação, de junho a novembro. A temperatura média anual do ar é de 26,7 °C, com mínima de 22 °C e máxima de 32 °C (Lisboa *et al.*, 1997).

Os ambientes registrados na Flona de Caxiuanã são: floresta densa de terra firme, floresta de inundação (várzea e igapó), vegetação savanóide

(campo hidromórfico), vegetação secundária (capoeira) e vegetação residual nos sítios de pomares. O estudo foi desenvolvido na floresta tropical úmida de terra firme, que é a vegetação predominante, ocupando cerca de 85% da área, a arquitetura florestal é constituída por árvores emergentes (40 a 50m), dossel (30 a 35m), sub-dossel (20 a 25m) e piso (5m). Apresenta elevada diversidade de espécies por hectare (150 a 160 espécies) e densidade de 450 a 550 árvores por ha. As famílias mais representativas são Sapotaceae, Lecythidaceae e Caesalpiniaceae. O sub-bosque é relativamente denso e com boa visibilidade (Lisboa *et al.*, 1997).

#### *DELINEAMENTO E AMOSTRAGEM*

Os indivíduos de *Dixiphia pipra* foram amostrados em uma parcela de 100 ha em um trecho de floresta de terra firme, com seis trilhas de 1000m separadas a cada 200m, nas quais foram selecionadas doze unidades amostrais (seis clareiras naturais e seis sub-bosque) pareadas a uma distância mínima de 200m. O sub-bosque florestal de dossel contínuo foi considerado como uma área de floresta intacta com dossel denso superior e sem evidências de perturbação recente (Levey, 1988) e, a clareira natural, definida segundo Runkle (1981) como “uma área do solo, sob a abertura do dossel, delimitada pelas bases das árvores de dossel que circundam a abertura” denominada aqui em diante de sub-bosque e clareira. As clareiras naturais foram formadas pela queda de uma ou mais árvores, pelo desenraizamento e ou quebra na base do tronco, de formação recente, inferior a dois anos, pois as copas das arvores caídas com galhadas eram observadas no chão da floresta, com área média de  $201 \pm 43.73 \text{ m}^2$  e amplitude de 158 a 250  $\text{m}^2$ .

## AVIFAUNA

Para o registro da abundância dos indivíduos foram utilizadas redes ornitológicas, pois permitem amostragem similar e simultânea das unidades amostrais (Karr, 1981; Gosler, 2004), coleta de fezes, sangue e marcação individual dos espécimes capturados (Gosler, 2004). Os indivíduos foram monitorados mensalmente no período de novembro de 2010 a outubro de 2011 com esforço amostral de 23.040 horas-redes.

Foram utilizadas 10 redes ornitológicas (2,5 x 12 m; malha 36 mm) em cada unidade amostral, as quais foram dispostas em forma de L nas bordas da clareira para ajustar ao seu tamanho. As bordas foram definidas pela projeção vertical das folhas de árvores de dossel adjacente à clareira. No sub-bosque, as redes foram posicionadas na mesma configuração. As redes foram abertas das 6:00 h às 14:00 h e vistoriadas a cada 45 minutos. Quatro unidades amostrais (2 clareiras naturais e 2 sub-bosques) foram monitoradas simultaneamente por dois dias consecutivos, perfazendo seis dias a cada mês.

Os indivíduos de *Dixiphia pipra* capturados foram marcados com anilhas fornecidas pelo Centro de Estudos de Migrações de Aves - CEMAVE, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Foram anotados dados biológicos, como a idade, sexo, muda e placa de incubação, os indivíduos foram mantidos em sacos de algodão, por aproximadamente 30 minutos, para coleta de sangue e obtenção das fezes ou regurgito, os quais foram triados e os itens alimentares e sementes identificadas no Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG). Os indivíduos foram liberados próximos aos locais de captura.

## *DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE ESTRESSE OXIDATIVO NAS AVES*

Amostra de sangue foi coletada pelo corte da porção distal da unha armazenada em micro tubos de polipropileno com heparina como anticoagulante. O plasma foi separado por centrifugação a 2000 g por 6 minutos e acondicionado a  $-2^{\circ}\text{C}$  (Wills, 1966). Os indivíduos em processo de muda, reprodução e recaptura foram excluídos, pois poderiam influenciar nos resultados. O estresse foi determinado a partir da razão entre o dano oxidativo, mensurado como substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico e a capacidade antioxidante total, com os maiores valores indicando elevado estresse oxidativo.

### *Medida do dano oxidativo (TBARS)*

A medição de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) foi utilizada para determinar os produtos de peroxidação dos lipídios, como o malondialdeído (MDA), que tem sido utilizado para avaliar o dano oxidativo (Bonnes *et al.*, 1992; Esterbauer, 1996; Dotan *et al.*, 2004; Dalle-Donne *et al.*, 2006, Cohen & Horak, 2010). MDA pode ser medido por espectrofotometria e por cromatografia líquida de alta eficiência após derivação com ácido tiobarbitúrico (ensaio do TBARS). De maneira sucinta, as lipoproteínas são precipitadas da amostra biológica, pela adição de ácido tricloroacético a 10% e removidas por centrifugação a 2000g por 3 minutos, e adicionado 0.05M de ácido tiobarbitúrico 0.67% em sulfato de sódio 2M. A derivação do MDA com o ácido tiobarbitúrico é realizada a  $90^{\circ}\text{C}$  por 30 minutos. O cromógeno resultante é extraído em n-butanol e a absorvância medida em 530nm. Os compostos reativos ao ácido tiobarbitúrico são expressos como nmoles MDA/L<sup>-1</sup>, usando

curva de calibração, contendo diferentes concentrações de 1,1,3,3-tetraethoxypropane (Isaksson *et al.*, 2009).

#### *Medida da capacidade antioxidante total (TAS)*

A capacidade antioxidante total do plasma foi determinada pelo método do TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity), a qual reflete os níveis de antioxidantes micromoleculares circulantes, dentre os quais o ácido úrico, vitamina A, vitamina C, carotenóides. De maneira sucinta, o método é baseado na supressão da absorvância medida a 740nm do radical 2,2-azinobis (3-ethylbenzothiazoline, 6-sulphonate) (ABTS), pelos antioxidantes presentes na amostra de maneira proporcional a sua concentração. Os resultados são expressos como capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC), utilizando-se curva de calibração contendo diferentes concentrações de Trolox (Cohen *et al.*, 2007).

#### *DISPONIBILIDADE DE FRUTOS*

Os vegetais frutificando em altura inferior a 10 m foram marcados ao longo de dois transectos paralelos em cada lado das redes ornitológicas e, distantes três metros destas. Para identificação das espécies foram montadas exsicatas das partes férteis, as quais foram encaminhadas ao laboratório de Botânica do MPEG. A abundância dos frutos maduros de cada planta foi registrada em escala de 1 a 8 (1=1-10 frutos maduros; 2=11-25; 3= 26-50; 4= 51- 100; 5=101-200; 6=201-500; 7=501-1000; 8=1001-10000) (Levey, 1988). Os seguintes critérios foram utilizados para considerar se um diásporo estava maduro: coloração, fácil desprendimento do vegetal, deiscência do fruto e amolecimento da polpa (Levey, 1987).

## MEDIDA DA CAPACIDADE ANTIOXIDANTE TOTAL DOS FRUTOS

Foi utilizada a técnica da captura do radical 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS•+), empregando-se como referência a curva de calibração do Trolox (6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico). Nós determinamos as atividades dos compostos de natureza hidrofílica, como ácido ascórbico e flavonóides, e lipofílica, como carotenoides nos frutos registrados na dieta dos indivíduos presentes em clareiras naturais. De maneira sucinta, consiste na prévia extração dos compostos hidrofílicos e lipofílicos presentes nas polpas dos frutos, empregando-se soluções de metanol a 50% e acetona a 70%, respectivamente. Os compostos antioxidantes presentes na amostra reduzem o radical ABTS, e a redução da absorvância é acompanhada em comprimento de onda de 734nm (Ré *et al.*, 1999).

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para determinar se há diferença na abundância dos indivíduos de *Dixiphia pipra* entre clareira e sub-bosque foi realizado o teste do qui-quadrado. Para verificar a associação entre a abundância dos indivíduos nos ambientes e a disponibilidade de frutos foi utilizado o coeficiente de correlação de Spearman. Foi determinada a média da capacidade antioxidante total dos frutos presentes na dieta dos indivíduos em clareiras naturais e para comparar as espécies de plantas presentes na dieta dos machos e fêmeas foi utilizado o teste do qui-quadrado.

Para testar a normalidade dos dados foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov. A correlação entre TBARS e TAS nos ambientes foi



determinada através do coeficiente de correlação de Pearson e, a comparação dos valores de OS entre os ambientes foi determinada através da ANOVA.

Para determinar os fatores responsáveis pela variação dos níveis de OS nos indivíduos capturados nos diferentes ambientes foi utilizado o modelo generalizado misto (GLMM). As variáveis explanatórias foram sexo e local de amostragem dos indivíduos. A seleção do modelo foi baseada na eliminação dos termos não significantes avaliados pelo método de Wald, os quais foram reintroduzidos ao final para confirmar a ausência de contribuição no modelo e checar como eles afetam seu desempenho. Para modelagem, foi usada a função de erro normal e a identidade para o link entre as diferentes variáveis. As análises estatísticas foram realizadas com o pacote de software STATISTICA (versão 7.0, Stat Soft Inc. (2004), Tulsa, EUA). O nível de significância aceito foi de 5%.

#### Declaração de ética

As atividades de campo e coleta do sangue foram realizadas com a autorização concedida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBio (nr 23343-1).

## RESULTADOS

Foram capturados 116 indivíduos de *Dixiphia pipra*. O número de indivíduos capturados nas clareiras naturais foi significativamente superior ao sub-bosque (95 e 21, respectivamente;  $\chi^2=40.83$ ,  $g/1=1$ ,  $P<0.005$ ). A preferência

por clareiras naturais também foi significativa agrupando os indivíduos em função do sexo e idade (Tabela 1).

Tabela 1. Número de indivíduos de *Dixiphia pipra* de acordo com o sexo e idade nas clareiras naturais e sub-bosque em floresta de terra firme.

<i>Dixiphia pipra</i>	Número de indivíduos		<sup>2</sup>	p
	Clareira	Sub-bosque		
Macho	43*	8	24.02	<0.0001
Macho imaturo	19*	5	8.16	<0.05
Fêmea	33*	8	15.24	<0.0001
Total	95*	21	47.2	<0.0001

\* resultado significativo;

Os valores de TBARS e TAS apresentaram correlação significativa em clareira, nos machos (n=25, r=0,70, p<0.0001), machos imaturos (n=12, r=0,95, p<0.0001) e nas fêmeas (n=9, r=0,71, p<0.05), enquanto que no sub-bosque esta correlação foi significativa, apenas nos machos (n=8, r=0,85, p<0.05) e nas fêmeas (n=9, r=0,57, p <0.05). O sexo (Wald=11,8, p=0,005), local (Wald=18,8, p=0,001) e a interação desses fatores (Wald=22,02, p=0,003), explicaram a variação de OS (Figura 1).

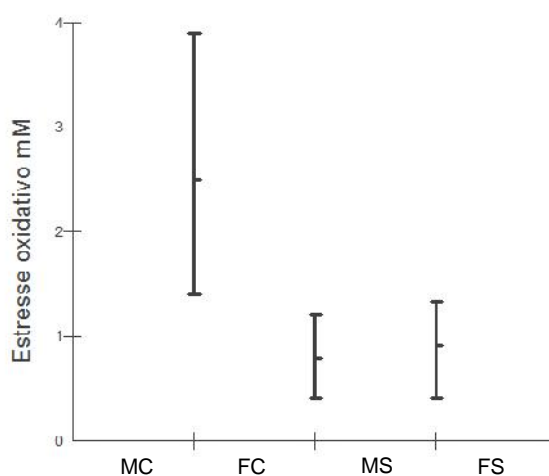


Figura 1. Estresse oxidativo (média  $\pm$  desvio padrão) de *Dixiphia pipra* nos machos adultos (MC), fêmeas (FC) presentes em clareiras naturais e nos machos adultos (MS) e fêmeas (FS) no sub-bosque em floresta de terra firme.

Os valores de OS indicaram diferença significativa entre os três grupos nos dois ambientes ( $F=37.91$ ,  $p<0.0001$ ). Os machos adultos em clareiras registraram OS significativamente superior em relação aos machos imaturos ( $F=9.43$ ,  $p <0.05$ ) e as fêmeas ( $F=7.85$   $p <0.05$ ). O mesmo foi observado em relação aos machos ( $F=8.31$ ,  $p<0.05$ ) e fêmeas ( $F=7.15$ ,  $p<0.05$ ) do sub-bosque (Figura 2).

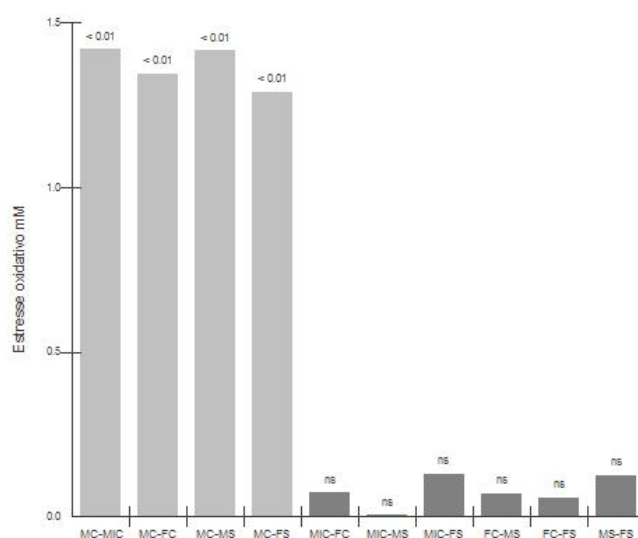


Figura 2. Estresse oxidativo de *Dixiphia pipra* nos machos adultos (MC), machos imaturos (MiC) e fêmeas (FC) presentes em clareiras naturais e nos machos adultos (MS) e fêmeas (FS) no sub-bosque em floresta de terra firme.

A abundância dos indivíduos foi positivamente correlacionada com o número de plantas frutificando nas clareiras naturais ( $r=0.94$ ,  $p<0.05$ ,  $t=5.57$ ),

entretanto essa correlação não foi significativa no sub-bosque ( $r=0.45$ ,  $p=0.36$ ,  $t=1.02$ ). Na dieta dos machos adultos de *Dixiphia pipra* presentes em clareiras naturais foi registrado o consumo significativo de *Psychotria colorata*, *Miconia ciliata* e *Psychotria iodotricha*, as quais apresentam frutos com alto teor antioxidante, enquanto que as fêmeas registraram o consumo significativo de *Faramea anisocalyx* e *Psychotria sessilis* (Tabela 2).

Tabela 2. Espécies de plantas e capacidade antioxidantes dos frutos registrados nas amostras de fezes e regurgito de *Dixiphia pipra* presentes nas clareiras naturais em floresta de terra firme.

Espécie	TEAC (mmol/L-1)	Macho	Fêmea	P
<i>Miconia ciliata</i>	1.63 ± 0.17	20	8	<0.05
<i>Faramea anisocalyx</i>	0.2 ± 0.05	14	66	<0.05
<i>Psychotria sessilis</i>	0.64 ± 0.03	7	17	<0.05
<i>Psychotria colorata</i>	1.34 ± 0.32	41	8	<0.05
<i>Psychotria iodotricha</i>	1.65 ± 0.17	17	0	<0.05

## DISCUSSÃO

Os píprídeos selecionam ambientes florestais para a distribuição espacial dos leques objetivando maximizar o sucesso reprodutivo (Endler & Thery, 1996, Heindl & Winkler, 2003). Nós demonstramos que os indivíduos de

*Dixiphia pipra* ocorrem preferencialmente em clareiras naturais, onde estabelecem arenas de exibições (Snow, 1961, Castro-Astro *et al.*, 2007) .

Três aspectos reforçam o uso das clareiras naturais como local para o estabelecimento dos leques desta espécie; (i) o maior número de machos capturados nas clareiras naturais, os quais são sedentários, organizados em assembleias de cortejo (Snow, 1962; Threy, 1992) e ocorrem em um número maior do que fêmeas (Sick, 1959); (ii) o número maior de plantas frutificando e disponibilidade de frutos maduros neste ambiente, visto que a distribuição de leques de *Dixiphia pipra* na região amazônica esta associada a locais de maior biomassa de plantas e disponibilidade de frutos (Ryder *et al.*, 2006); (iii) a maior visibilidade nas clareiras naturais como limite territorial pode beneficiar os machos adultos (Smith & Dallman, 1996).

O estresse oxidativo tem sido associado ao custo fisiológico subjacente às alterações de habitat, ornamentação e seleção sexual (Von Schantz *et al.*, 1999; Costantini, 2008). Os machos adultos presentes em clareiras naturais registraram níveis mais elevados de OS, o que pode estar associado ao fato destes utilizarem a maior parte do tempo cortejando a fêmea com repertório de pelo menos 11 comportamentos de exibição com a realização de voos ao redor da fêmea (Snow, 1981; Castro-astro *et al.*, 2007). O custo oxidativo associado ao voo das aves foi relatado em pombos *Columba livia* (Costantini *et al.*, 2008), com a fase da decolagem com maior custo energético (Swaddle *et al.*, 1999 ) e, em *Melopsittacus undulatus* com o esforço de voos curtos (Larcombe *et al.*, 2008).

As fêmeas selecionam os machos de coloração vibrante, os quais sinalizam melhores condições de saúde e maior probabilidade de sobrevivência

dos filhotes (Medeiros & Alves, 2010). Portanto, o investimento de recursos antioxidantes para a produção e manutenção da plumagem ornamental e defesa imune nos machos são fatores importante na seleção sexual e pode comprometer o equilíbrio entre compostos pró-oxidantes e sistema antioxidantes (Bertrand *et al.*, 2006).

Clareiras naturais se diferenciam do sub-bosque principalmente pelas condições microclimáticas que interferem na altura, forma, orientação e estrutura da vegetação, influenciando a luminosidade (Barton *et al.*, 1989). O aumento da luminosidade na clareira pode tornar o macho adulto mais vulnerável a predação, pois sua coloração é mais perceptível do que os machos imaturos e as fêmeas, contribuindo assim para os níveis mais elevados de estresse nos machos adultos registrados neste estudo.

Os machos adultos de *Dixiphia pipra* são territoriais e possuem forte hierarquia de dominação, sendo frequente, por exemplo, a agressividade em relação aos imaturos. O esforço na defesa de território pode aumentar a taxa metabólica basal dos machos e os níveis de testosterona (Chastel *et al.*, 2003). Este fato pode explicar os níveis mais elevados de OS nos machos adultos presentes em clareiras naturais neste estudo quando comparados aos machos imaturos.

A evolução dos leques em piprídeos tem sido ecologicamente motivada pela distribuição espaço-temporal dos recursos tróficos (Tery, 1992). Emlen e Oring (1977) e Théry (1992) hipotetizaram que os leques de piprídeos se localizam em territórios com maior concentração de recursos, denominados “hotspots”. Esta hipótese é apoiada pelos nossos dados, pois encontramos

uma associação positiva entre a abundância de indivíduos e a disponibilidade de frutos nas clareiras naturais.

Os piprídeos são os principais frugívoros no sub-bosque de ambientes florestais nos Neotrópicos, consomem a polpa ou arilo dos frutos e descartam a semente através de regurgitação ou nas fezes. Incluem na dieta frutos carnosos e arilados, de diferentes famílias, tais como Melastomataceae, Rubiaceae, Cecropiaceae e Moraceae (Sick, 1997). Sugere-se que os teores de compostos antioxidantes consumidos pelos machos em clareiras são superiores aqueles consumidos pelas fêmeas. Este consumo é possivelmente uma estratégia para minimizar os efeitos danosos do estresse oxidativo, mas pode significar também uma estratégia para a alocação de recursos críticos para a manutenção da plumagem ornamental em bom estado, pois ela serve de sinalização para uma boa condição de saúde e auxilia no acasalamento (Von Schantz *et al.*, 1999). Considera-se também a possibilidade do reflexo comportamental de aproveitamento de recursos alimentares, onde está disponível, uma maneira eficiente de maximizar as necessidades energéticas para atividades reprodutivas principalmente pelos machos adultos.

Distúrbios naturais, como a formação de clareiras naturais são importantes na distribuição dos indivíduos de *Dixiphia pipra* em florestas tropicais. O maior número de machos é encontrado nas clareiras naturais, possivelmente influenciado pela elevada luminosidade e a grande disponibilidade de frutos maduros, o que pode favorecer tanto as exibições de corte como o sucesso reprodutivo. A associação entre a abundância dos indivíduos e a disponibilidade de frutos neste ambiente corrobora também a

hipótese de que os leques desta espécie estão distribuídos preferencialmente em locais de maior concentração de recursos.

O estresse oxidativo em *Dixiphia pipra* depende do sexo e o local da amostragem. Nas clareiras naturais os machos adultos apresentam níveis mais elevados de estresse oxidativo. Fatores que podem contribuir para o aumento da geração de compostos pró-oxidantes são a demanda metabólica das estratégias de voo, a alocação de recursos antioxidantes para a produção e manutenção da plumagem ornamental, defesa de território e o aumento da luminosidade pode favorecer a predação dos indivíduos principalmente dos machos que apresentam coloração mais perceptível do que a fêmea.

Porém o consumo de frutos com alto teor antioxidante pelos machos neste ambiente podem minimizar os efeitos danosos do estresse oxidativo e, portanto, favorecer os efeitos da intensa seleção sexual que os indivíduos estão sujeitos ao longo de suas vidas.



## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BARTON, A.M.; FETCHER, N. & REDHEAD, S. (1989). The relationship between treefall gap size and light flux in a Neotropical rain forest in Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, v. 5, p.437-439.

BECKMAN, K.B. & AMES, B.N. (1998). The free radical theory of aging matures. **Physiological Reviews**, v.78, p.547–581.

BERTRAND, S.; ALONSO-ALVAREZ, C.; DEVEVEY, G.; FAIVRE, B.; PROST, J. & SORCI, G. (2006). Carotenoids modulate the trade-off between egg production and resistance to oxidative stress in zebra finches. **Oecologia**, v.147, p.576–584.

BONNES, T.D.; GUERIN, M.C. & TORREILLE, J. (1992). Is malonaldehyde a valuable indicator of lipid peroxidation? **Biochemical Pharmacology**, v.44, p.985-988.

CASTRO-ASTOR, I.N.; ALVES, M.A.S. & CAVALCANTI, R.B. (2007). Display behavior and spatial distribution of the white-crowned manakin in the Atlantic forest of Brazil. **Condor**, v.109, p.155-166.

CHASTEL, O.; LACROIX, A. & KERSTEN, M. (2003). Pre-breeding energy requirements: thyroid hormone, metabolism and the timing of reproduction in house sparrows *Passer domesticus*. **Journal of Avian Biology**, v.34, p.298–306.

COHEN, A.; KLASING, K. & RICKLEFS, R. (2007). Measuring circulating antioxidants in wild birds. **Comparative Biochemistry Physiology B**, v.147, p.110–121.

COHEN, A. & HORAK, P. (2010). The Ecology of Antioxidants & oxidative stress in animals- How to measure oxidative stress in an ecological context: methodological and statistical issues. **Functional Ecology**, v.24, p.960-970.

COSTANTINI, D.; DELL ARICCIA, G. & LIPP, H.P. (2008). Long flights and age affect oxidative status of homing pigeons (*Columba livia*). **The Journal of Experimental Biology**, v.211, p.377-381.

COSTANTINI, D. (2008). Oxidative stress in ecology and evolution: lessons from avian studies. **Ecology Letters**, v.11, p.1238–1251.

DALLE-DONNE, I.; ROSSI, R.; COLOMBO, R.; GIUSTARINI, D. & MILZANI, A. (2006). Biomarkers of oxidative damage in human disease. **Clinical Chemistry**, v.52, p.601-623.

De CROMMENACKER, J.V.; KOMDEUR, J.; BURKE, T. & RICHARDSON, D.S. (2011). Spatio-temporal variation in territory quality and oxidative status: a

natural experiment in the Seychelles warbler (*Acrocephalus sechellensis*). **Journal of Animal Ecology**, v.201, p.1-13.

DOTAN, Y.; LICHTENBERG, D. & PINCHUCK, I. (2004). Lipid peroxidation cannot be used as a universal criterion of oxidative stress. **Progress in Lipid Research**, v.43, p.200-227.

EMLEN, S.T. & ORING, L.W. (1977). Ecology, sexual selection and the evolution of mating systems. **Science**, v.197, p. 215–223.

ENDLER, J.A. & THÉRY, M. (1996). Interacting effects of lek placement, display behavior, ambient light, and color patterns in three Neotropical forest-dwelling birds. **The American Naturalist**, v.148, p. 421–452.

ESTERBAUER, H. (1996). Estimation of peroxidative damage. A Critical Review. **Pathologie Biologie (Paris)**, v.44, p.25-28.

GOSLER, A. (2004). Birds in the hand. In: Sutherland, W.J.; Newton, I.; Green, R.E. **Birds ecology and conservation: a handbook of techniques**. Oxford University Press, New York, p. 85-118.

HALLIWELL, B.H. & GUTTERIDGE, J.M.C. (2007). **Free Radicals in Biology and Medicine**, 4th edn. Oxford University Press, Oxford.

HEINDL, M. & WINKLER, H. (2003). Interacting effects of ambient light and plumage color patterns in displaying Wire-tailed Manakins (Aves, Pipridae). **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v.53, p.153–162.

KARR, J.R. (1981). Surveying birds with mist nets. In: Ralph, C. J.; Scott, J. M. editors. Estimating numbers of terrestrial birds. **Studies in Avian Biology** 6. Cooper Ornithological Society, Los Angeles, California, USA. p. 62- 67.

KRIJBER, C.L.M.; OPDAM, M.; THÉRY, M. & BONGERS, F. (1997). Courtship behavior of manakins and seed bank composition in a French Guianan rain forest. **Journal of Tropical Ecology**, v.13, p.631-636.

ISAKSSON, C.; STURVE, J.; ALMROTH, B.C. & ANDERSSON, S. (2009). The impact of urban environment on oxidative damage (TBARS) and antioxidant systems in lungs and liver of great tits, *Parus major*. **Environmental Research**, v. 109, p. 46-50.

LARCOMBE, S.D.; TREGASKES, C.A.; COFFEY, J.S.; STEVENSON, A.E.; ALEXANDER, L. & ARNOLD, K.E. (2008). The effects of short-term antioxidant supplementation on oxidative stress and flight performance in adult budgerigars *Melopsittacus undulates*. **Journal Experimental Biology**, v.211, p.2859–2864.

LEVEY, D.J. (1987). Seed size and fruit-handling techniques of avian frugivores. **American Naturalist**, v.129, p.471-485.

LEVEY, D.J. (1988). Spatial and temporal variation in Costa Rican fruit and fruit-eating bird abundance. **Ecological Monographs**, v.58, p.251–269.

LISBOA, P.L.B.; SILVA, A.S.L. & ALMEIDA, S.S. (1997). Florística e estrutura dos ambientes. In: Lisboa, P.L.B. (Org.). **Caxiuanã**: p.163-194, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.

LOISELLE, B.A. & BLAKE, J.G. (1990). Diets of understory fruit-eating birds in Costa Rica: seasonality and resource abundance. **Studies in Avian Biology**, v.13, p.91-103.

LOISELLE, B.A.; BLENDINGER, P.G.; BLAKE, J.G. & RYDER, T.B. (2007). In: **Seed dispersal: theory and its application in a changing world** (edited by A.J. Dennis, E.W. Schupp, R.J. Green and D.A. Westcott). p.178-195. Oxford University Press, USA.

MEDEIRO, C.M. & ALVES, M.A.S. (2010). Aspectos evolutivos e ecológicos do cuidado parental em aves: publicações em ambientes temperados e tropicais. **Oecologia Australis**, v.14, p.853-871.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M. & RICE- EVANS, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v.26, p.1231-1237.

RIDGELY, R.S. & GREENFIELD, P.J. (2001). **The birds of Ecuador**, vol. 1: Status, distribution, and taxonomy. p: 641. Comstock Publishing Associates, Ithaca, New York.

RYDER, T.B. & DURÃES, R. (2005). It's not easy being green: using molt and morphological criteria to age and sex green plumage manakins (Aves: Pipridae). **Ornitologia Neotropical**, v.16, p.481–491.

RUNKLE, J. R. (1981). Gap regeneration in some old-growth forests of the eastern United States. **Ecology**, v.62, p.1041- 1051.

RYDER, T.B.; BLAKE, J.G. & LOISELLE, B.A. (2006). A test of the hotspot hypothesis for three species of manakins (AVES: Pipridae). **Auk**, v.123, p.247-258.

SICK, H. (1959). Estudos comparativos das cerimônias pré-nupciais de piprideos brasileiros (Pipridae:Aves). **Boletim Museu Nacional**, v. 213, p.1-17.

SICK, H. (1997). **Ornitologia Brasileira**: 1-912. Nova Fronteira, Rio de Janeiro.

SMITH, R. & DALLMAN, M. (1996). Forest gap use by breeding Black-throated Green Warblers. **The Wilson Bulletin**, v.108, p. 588-591.

SNOW, D.W. (1961). The display of the manakins *Pipra pipra* and *Tyrannetes virescens*. **Ibis**, v.103, p.110-113.

SNOW, D.W. (1962). A field study of black-and-white manakin, *Manacus manacus*, in Trinidad. **Zoologica**, v.47, p.65-104.

SNOW, D.W. (1981). Tropical frugivorous birds and their food plants: a world survey. **Biotropica**, v.13, p.1-14.

SOHAL, R. (2002). Role of oxidative stress and protein oxidation in the aging process. **Free Radical Biology Medicine**, v.33, p.37-44.

SWADDLE, J.P.; WILLIAMS, E.V. & RAYNER, J.M.V. (1999). The effect of simulated flight feather moult on escape take-off performance in starlings. **Journal Avian Biology**, v. 30, p.351-358.

THERY, M. (1992). The evolution of leks through female choice: differential clustering and space utilization in six sympatric manakins. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v.30, p.227–237.

TORI, W.P. (2008). **Sexual selection in an exploded lekking species: the White-crowned Manakin (*Pipra pipra*)**. p. 121, a dissertation, University of Missouri-St. Louis.

VEHRENCAMP, S.L.; BRADBURY, J.B. & GIBSON, R.M. (1989). The energetic cost of display in male sage grouse. **Animal Behaviour**, v.38, p.885–896,

VON SCHANTZ, T.S.; BENSCH, S.; GRAHN, M.; HASSELQUIST, D. & WITZELL, H. (1999). Good genes, oxidative stress and condition-dependent sexual signals. **Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences**, v. 266, p.1–12.

WILLS, E.D. (1966). Mechanism of lipidi peroxide formation in animal tissues. **Journal Biochemical**, v.99, p.667-676.

### CAPÍTULO III

Influência das clareiras naturais no estresse oxidativo em *Willisornis poecilinotus* (Cabanis, 1847) (Aves: Thamnophilidae) em floresta tropical

Influência das clareiras naturais no estresse oxidativo em *Willisornis poecilinotus* (Cabanis, 1847) (Aves: Thamnophilidae) em floresta tropical

GOMES, A.L.S.<sup>1</sup>; GONÇALVES, A.F.G.<sup>2</sup>; MARCELIANO, M.L.V.<sup>3</sup>; SILVA, J. M. C.<sup>4</sup>

<sup>1 3</sup> Museu Paraense Emílio Goeldi, Programa de Pós-Graduação em Zoologia. Av. Perimetral, 1901- Terra Firme, 66077-830 Belém, Pará, Brazil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas, Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas

<sup>4</sup> Conservation International. 2011 Crystal Drive, Suite 500. 22202 - Arlington, - Estados Unidos.

## RESUMO

Distúrbios ambientais contribuem para heterogeneidade de habitats e influenciam nos padrões de distribuição de aves florestais. As mudanças no habitat podem aumentar a taxa metabólica dos indivíduos comprometendo o equilíbrio redox promovendo o estresse oxidativo. O estudo objetivou analisar a abundância de *Willisornis poecilinotus* em clareiras naturais e sub-bosque florestal sob dossel contínuo e determinar quais os fatores responsáveis pela variação dos níveis de estresse nos indivíduos nos diferentes ambientes. Foram registrados 81 espécimes, o número de indivíduos foi superior em clareiras naturais em comparação com o sub-bosque. Os indivíduos capturados em clareiras naturais registraram níveis de estresse oxidativo mais elevado e os valores de TBARS foram associados com a capacidade antioxidante neste ambiente. A variância de estresse oxidativo foi explicada pelo local da amostragem, o que provavelmente resulta da maior disponibilidade de recursos e, conseqüentemente maior demanda metabólica das estratégias de voo maximizando o forrageio e evitando a predação.

**PALAVRAS-CHAVES:** Estresse oxidativo, avifauna, antioxidantes.

## ABSTRACT

Environmental disturbances contribute to habitat heterogeneity and influence the distribution patterns of forest birds. Changes in habitat can increase the metabolic rate of specimens compromising the redox balance by promoting oxidative stress. The study aimed to analyze the abundance of *Willisornis poecilinotus* in natural gaps and forest understory sites under continuous canopy and determine the factors responsible for variation in stress levels of specimens in different environments. Eighty one (81) specimens were captured; the number of specimens was higher in natural gaps compared to the understory sites. Specimens captured in natural gaps recorded higher levels of oxidative stress and the values of TBARS were associated with antioxidant capacity in this environment. The variance of oxidative stress was explained by the sampling location, which probably results from the greater availability of resources and thus higher metabolic demand of flight strategies to maximize foraging and avoid predation.

KEYWORDS: Oxidative stress, avifauna, antioxidants

## INTRODUÇÃO

Distúrbios ambientais podem constituir estímulos estressores para as aves principalmente por alterações na disponibilidade e qualidade de recursos (De Crommenacker *et al.*, 2011). O estresse é caracterizado pela produção excessiva de compostos oxidantes que supera a capacidade das defesas antioxidantes ocasionando danos a biomoléculas como proteínas, lipídios e ácidos nucleicos (Beckman & Ames, 1998).

Na formação de clareiras naturais ocorre o crescimento de ervas, cipós e arbustos, os quais formam densa folhagem próxima ao solo e aumento na disponibilidade de poleiros facilitando a acessibilidade aos recursos (Denslow & Hastshorn, 1994). Essas alterações estruturais podem resultar em elevado esforço físico do voo, aumentando a taxa metabólica do organismo e promovendo a produção de compostos pró-oxidantes (Swaddle *et al.*, 1999; Costantini *et al.*, 2008; Larcombe *et al.*, 2008), visto que o voo é um dos comportamentos que demanda alto custo energético das aves (Nudds & Bryant, 2000; Hambly *et al.*, 2004).

Nas clareiras naturais devido a condições microclimáticas e elevada produtividade primária ocorre maior disponibilidade de recursos (Hallé *et al.*, 1978). A disponibilidade de recursos favorece o forrageio por meio da redução do tempo de forrageamento e aumento da taxa de ingestão de alimentos (Blake & Hoppes, 1986). Estudos relatam que maior taxa de ingestão de alimentos pode aumentar a produção de compostos pró-oxidantes e promover estresse oxidativo (Weindruch & Walford, 1988; Sohal & Weindruch, 1996; Masoro, 2002).



As aves demonstram padrões similares de respostas fisiológicas destinadas a reduzir os impactos causados pelo dano oxidativo e garantir a sobrevivência (Constantini *et al.*, 2007; Constantini, 2008). Mecanismos de defesa retardam ou inibem a oxidação de biomoléculas, os quais são constituídos por componentes endógenos, como as enzimas e composto exógenos provenientes da dieta, como vitaminas C e E, carotenóides e bioflavonoides (Halliwell & Gutteridge, 2007).

Estudos demonstram a distribuição diferenciada de aves nos ambientes de clareiras naturais e sub-bosque nas florestas tropicais (Schemske & Brokaw, 1981, Levey, 1988, Fuller, 2000; Wundele *et al.*, 2005). Entretanto ainda não foi estabelecida a relação entre o impacto ambiental resultante de distúrbio natural e a resposta fisiológica do organismo que garante a homeostase biológica e sobrevivência da espécie.

Dados sobre as interações ecofisiológicas entre o estresse oxidativo e a distribuição espacial dos organismos ainda são escassos. *Willisornis poecilinotus* representa um modelo apropriado para investigar essas interações, pois é uma ave insetívora que ocorre na floresta de terra firme na Amazônia, sexualmente dimórfico, normalmente não invade o território de outros indivíduos da mesma espécie e, os machos não apresentam repertórios elaborados para a corte das fêmeas (Willis, 1982).

Este estudo tem como objetivo (1) determinar se há diferença na abundância de *Willisornis poecilinotus* (Cabanis, 1847) entre clareiras naturais e sub-bosque de dossel contínuo; (2) determinar o estresse oxidativo dos indivíduos de *Willisornis poecilinotus* para avaliar se o local ou o sexo atuam como fatores estressantes na espécie. Mudanças na estrutura do habitat têm

sido associadas ao estresse oxidativo nas aves, portanto se espera que as clareiras naturais representem fonte de estímulos estressores para os indivíduos, devido ao maior esforço de voo e luminosidade e que o sexo não influencie no nível de estresse entre os indivíduos, visto que esta espécie apresenta o cuidado biparental e os machos não apresentam elaboradas exibições de corte (Willis, 1982).

## MÉTODOS

### *Espécie de estudo*

*Willisornis poecilinotus* se distribui na Guiana, Colômbia, Bolívia e no Brasil (Levey, 1982). O macho possui coloração cinzenta, mancha branca interescapular, coberteiras das asas, escapulares e terciárias enegrecidas marginadas com branco, retrizes pretas no centro e na extremidade com nódoas brancas, iris marrom, bico preto, tarso cinza-azulado e, a fêmea possui partes superiores pardo-ocráceas, garganta esbranquiçada, lados da cabeça, peito e abdômen cinzentos, lados superiores e flanco tingidos com pardo, retrizes com barra subterminal preta e extremidade branca (Agne & Pacheco, 2007).

São aves seguidoras de formiga de correição que forrageiam sozinhas ou em pares, até uma altura de quatro metros. Os indivíduos utilizam como técnica de forrageio o pouso em galhos de arbustos jovens para a observação e captura de artrópodes (Willis, 1982). Esta espécie utiliza principalmente áreas abertas com elevada quantidade de serrapilheira (Levey, 1982; Cintra &

Cancelli, 2008) e, normalmente não invade o território de outros indivíduos da mesma espécie (Willis, 1982).

### *Área de estudo*

O estudo foi realizado na Flona de Caxiuanã (1°42' S, 51° 31' W), situada nos municípios de Melgaço e Portel, no estado do Pará. A Flona possui área de 200.000 ha, limitada pelo rio Anapu, que forma a baía de Caxiuanã (Silva & Rosário, 2008). O clima, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido e subtipo climático "Am", com duas estações distintas, uma chuvosa no período de dezembro a maio, e outra seca, de junho a novembro. A temperatura média anual do ar é de 26,7 °C, com mínima de 22 °C e máxima de 32 °C. A vegetação predominante é a floresta de terra firme com alta diversidade florística, e as famílias mais representativas são Sapotaceae, Lecythidaceae e Caesalpiniaceae (Lisboa *et al.*, 1997).

Foram selecionados dois ambientes, o sub-bosque florestal sob dossel contínuo, definido por Levey (1988) como uma área de floresta intacta com dossel denso superior e sem evidências de perturbação recente e a clareira natural, como uma área do solo, sob a abertura do dossel, delimitada pelas bases das árvores de dossel que a circundam (Runkle, 1981). Os critérios para a seleção das clareiras naturais foram: (i) formação recente, inferior a dois anos nas quais se observava no chão da floresta copa das arvores caídas com galhadas (ii) formação pela queda de árvores oriundas do desenraizamento e quebra na base do tronco e (iii) foram selecionadas clareiras naturais maiores que 150 m<sup>2</sup> cuja área estimada através da fórmula da elipse foi de 201 ± 43.73 m<sup>2</sup> com amplitude de 158 a 250 m<sup>2</sup> (Brokaw, 1985).

## AVIFAUNA

Em uma parcela de 100 ha na floresta de terra firme, delimitada com seis trilhas de 1000m separadas a cada 200m, nos selecionamos doze unidades amostrais (seis clareiras naturais e seis sub-bosque) pareadas a uma distância mínima de 200m. Os indivíduos foram monitorados mensalmente no período de novembro de 2010 a outubro de 2011.

Utilizamos redes ornitológicas para o registro da abundância da espécie porque permite a coleta de sangue e marcação individual dos espécimes (Gosler, 2004). Foram utilizadas 10 redes ornitológicas (2,5 x 12 m; malha 36 mm) em cada unidade amostral, as quais foram dispostas em forma de L nas bordas da clareira para ajustar ao seu tamanho. As bordas foram definidas pela projeção vertical das folhas de árvores de dossel adjacente à clareira.

Foi utilizado o método de captura, marcação e recaptura (CMR). As redes foram abertas das 6:00 h às 14:00 h e vistoriadas a cada 45 minutos. Quatro unidades amostrais (2 clareiras naturais e 2 sub-bosques) foram monitoradas simultaneamente por dois dias consecutivos. Os indivíduos capturados foram identificados com anilhas cedidas pelo Centro de Estudos de Migrações de Aves – CEMAVE. Os dados de ambos os dias foram agrupados para obter um único número de espécies e indivíduos, as aves capturados e marcados no primeiro dia foram contadas apenas uma vez. O esforço amostral totalizou 23.040 horas-redes.

Foram anotados dados biológicos como o sexo, muda e placa de incubação. Os indivíduos foram mantidos em sacos de algodão, por aproximadamente 30 minutos para a coleta de sangue e, liberados próximo ao local de captura.

## *DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE ESTRESSE OXIDATIVO*

Foi coletado 100uL de sangue pelo corte da porção distal da unha armazenada em micro tubos de polipropileno com heparina como anticoagulante. O plasma foi separado por centrifugação a 2000 g por 6 minutos e acondicionado a -2<sup>o</sup>C (Wills, 1966). Os indivíduos em processo de muda, reprodução e recaptura foram excluídos, pois poderiam influenciar nos resultados. O estresse foi determinado a partir da razão entre o dano oxidativo, mensurado como substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico e a capacidade antioxidante total, com os maiores valores indicando elevado estresse oxidativo.

### *Medida do dano oxidativo (TBARS)*

A medição de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) foi utilizada para determinar os produtos de peroxidação dos lipídios, como o malondialdeído (MDA), que tem sido utilizado para avaliar o dano oxidativo (Bonnes *et al.*, 1992; Esterbauer, 1996; Dotan *et al.*, 2004; Dalle-Donne *et al.*, 2006 , Cohen & Horak, 2010). MDA pode ser medido por espectrofotometria e por cromatografia líquida de alta eficiência após derivação com ácido tiobarbitúrico (ensaio do TBARS). De maneira sucinta, as lipoproteínas são precipitadas da amostra biológica, pela adição de ácido tricloroacético a 10% e removidas por centrifugação a 2000g por 3 minutos, e adicionado 0.05M de ácido tiobarbitúrico 0.67% em sulfato de sódio 2M. A derivação do MDA com o ácido tiobarbitúrico é realizada a 90 <sup>o</sup>C por 30 minutos. O cromógeno resultante é extraído em n-butanol e a absorvância medida em 530nm. Os compostos

reativos ao ácido tiobarbitúrico são expressos como nmoles MDA/L<sup>-1</sup>, usando curva de calibração, contendo diferentes concentrações de 1,1,3,3-tetraethoxypropane (Isaksson *et al.*, 2009).

#### *Medida da capacidade antioxidante total (TAC)*

A capacidade antioxidante total do plasma foi determinada pelo método do TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity), a qual reflete os níveis de antioxidantes micromoleculares circulantes, dentre os quais o ácido úrico, vitamina A, vitamina C, carotenóides. De maneira sucinta, o método é baseado na supressão da absorvância medida a 740nm do radical 2,2-azinobis (3-ethylbenzothiazoline, 6-sulphonate) (ABTS), pelos antioxidantes presentes na amostra de maneira proporcional a sua concentração. Os resultados são expressos como capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC), utilizando-se curva de calibração contendo diferentes concentrações de Trolox (Cohen *et al.*, 2007)

### **ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Para determinar se há diferença na abundância dos indivíduos de *Willisornis poecilinotus* nos dois ambientes foi utilizado o teste do qui-quadrado. Para testar a normalidade dos dados foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov. A correlação entre o TBARS e o TAS foi feita utilizando a correlação e Sperman. A comparação dos valores de OS entre os ambientes foi determinada através da ANOVA de dois critérios.

Para determinar os fatores responsáveis pela variação dos níveis de OS nos indivíduos capturados nos diferentes ambientes foi utilizado o modelo generalizado misto (GLMM). As variáveis explanatórias foram sexo e local de amostragem dos indivíduos. A seleção do modelo foi baseada na eliminação dos termos não significantes avaliados pelo método de Wald, os quais foram reintroduzidos ao final para confirmar a ausência de contribuição no modelo e checar como eles afetam seu desempenho. Para modelagem, foi usada a função de erro normal e a identidade para o link entre as diferentes variáveis. As análises estatísticas foram realizadas com o pacote de software STATISTICA (versão 7.0, Stat Soft Inc. (2004), Tulsa, EUA). O nível de significância aceito foi de 5%.

#### *Declaração de ética*

As atividades de campo e coleta do sangue foram realizadas com a autorização concedida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBio (nr 23343-1).

## **RESULTADOS**

Foram registrados 81 espécimes de *Willisornis poecilinotus*, sendo 31 machos e 50 fêmeas. O número de indivíduos capturados em clareiras naturais foi superior ao sub-bosque (54 e 27, respectivamente;  $X^2=9$ ;  $gl=1$ ,  $p<0.05$ ). Os valores de TAS e TBARS apresentaram correlação significativa em clareiras naturais ( $r=0,69$ ,  $t=3.61$ ,  $p< 0,05$ ;  $N=16$ ), entretanto esta correlação não foi registrada no sub-bosque ( $r=0,03$ ,  $t=0,11$ ,  $p=0,91$ ,  $N=12$ ).

Não houve variação do OS entre os sexos nos indivíduos presentes nos dois ambientes ( $F=0.60$ ,  $Gl=4$ ,  $p=0.53$ ) na clareira e macho e fêmea ( $F=0.01$ ,

GI=7,  $p=0.9$ ) no sub-bosque. Porém, os indivíduos presentes nas clareiras naturais registraram níveis de OS mais elevados ( $F=16.93$ ,  $GI=15$ ,  $p<0.05$ ) do que no sub-bosque, indicando que as clareiras naturais atuam como fatores estressantes para os indivíduos. A análise do modelo demonstrou que a variância de OS ( $Wald=16,53$ ,  $p<0,05$ ) foi significativamente explicada pelo local de amostragem (Figura 1).

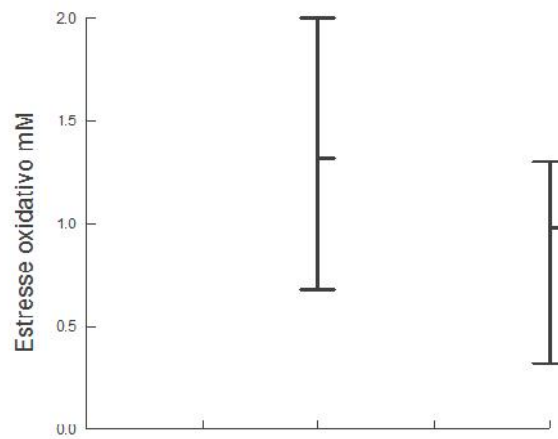


Figura 1. Estresse oxidativo (média  $\pm$  desvio padrão) de *Willisornis poecilinotus* presentes em clareiras naturais e no sub-bosque em floresta de terra firme.

## DISCUSSÃO

As aves podem selecionar o habitat pela estrutura e composição da vegetação (Brokaw, 1982; 1985), disponibilidade de recursos alimentares (Blake & Hoppes, 1986; Martin & Karr, 1986, Levey, 1988) e microclima (Halle *et al.*, 1978). Nos registramos que os indivíduos de *W. poecilinotus* utilizam preferencialmente as clareiras naturais. Provavelmente a maior quantidade de serrapilheira pode favorecer a seleção deste ambiente pela espécie, a qual utiliza a serrapilheira para camuflagem, reduzindo assim o risco de predação (Willis, 1982). De fato estudos realizados por Willis (1982)



e Cintra e Cancelli (2008) em Manaus relataram a distribuição da espécie em ambientes abertos e ricos em serrapilheira.

Mudanças na estrutura do habitat têm sido associadas ao estresse oxidativo nas aves por alterações na disponibilidade e na qualidade de recursos (de Crommenacker *et al.*, 2011). Os indivíduos presentes em clareiras naturais neste estudo registraram níveis de estresse superior ao do sub-bosque, indicando que esse ambiente atua como fator estressor para a espécie.

O estresse oxidativo tem sido associado ao custo energético do voo das aves como relatado em pombos *Columba Livia* (Costantini *et al.*, 2008) e em *Melopsittacus undulatus* (Larcombe *et al.*, 2008). Características estruturais nas clareiras naturais podem aumentar o esforço suplementar de voo tanto para evitar predadores devido ao aumento da luminosidade neste ambiente (Schliemann & Bockheim, 2011), bem como maximizar o forrageio em função da elevada disponibilidade de recursos (Blake & Hoppes, 1986).

O sexo não foi determinante na variação do estresse oxidativo entre os indivíduos *W. poecilinotus*. Isso se deve ao fato dos machos não utilizarem elaboradas exibições para a corte da fêmea e nem ornamentação sexual na plumagem (Willis, 1982). Além disso, o cuidado biparental da prole (Willis, 1982) favorece a divisão do investimento energético na criação dos filhotes entre macho e fêmea (Wiersma *et al.*, 2004, Costantini, 2008).

Os compostos antioxidantes podem auxiliar o equilíbrio redox, o qual pode ser produzido pelo organismo ou adquiridos na dieta (Costantini, 2008).

Os valores dos compostos antioxidantes foram correlacionados aos TBARS em clareiras naturais, indicando que este ambiente pode fornecer recursos antioxidantes que restabelecem o equilíbrio redox. Dentre os recursos predominantes na dieta de *W. poecilinotus* destaca-se as larvas de lepidóptera, a qual apresenta elevado nível antioxidante sendo um recurso abundante em clareiras naturais (Richards & Coleys, 2007; Eeva *et al.*, 2010).

Clareiras naturais podem representar habitats específico para determinadas espécies de aves insetívoras. A distribuição de *Willisornis poecilinotus* ocorreu preferencialmente em clareiras provavelmente resultante da maior abundância de artrópodes e disponibilidade de poleiros neste ambiente.

Clareiras naturais constituem estímulos estressores que favorecem o estresse oxidativo nesta espécie, o aumento da atividade física resultante do esforço maior de voos para o forrageio e para evitar a predação, contribuíram para aumentar o metabolismo oxidativo. O sexo não influenciou na variação do estresse, pois fatores como o cuidado biparental e os machos não apresentarem elaboradas exibições de corte para a fêmea contribuem para que os indivíduos não registrassem diferenças quanto ao nível de estresse.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agne, C.E. & Pacheco, J.F. (2007). A homonymy in *Thamnophilidae*: a new name for *Dichropogon* Chubb. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v.15, p.484-485.
- Beckman, K.B. & Ames, B.N. (1998). The free radical theory of aging matures. **Physiological Reviews**, v.78, p.547–581.
- Blake, J.G.H. & Hoppes, W.G. (1986). Influence of resource abundance on use of tree-fall gaps by birds in an isolated woodlot. **The Auk**, v.103, p.328-340.
- Bonnes, T.D.; Guerin, M.C. & Torreille, J. (1992). Is malonaldehyde a valuable indicator of lipid peroxidation? **Biochemical Pharmacology**, v.44, p.985-988.
- Brokaw, N. (1982). The definition of treefall gap and its effect on measures of forest dynamics. **Biotropica**, v.14, p.158–160.
- Brokaw, N.V.L. (1985). Gap-phase regeneration in a tropical forest. **Ecology**, v.66, p.682-687.
- Cintra, R. & Cancelli, J. (2008). Effects of forest heterogeneity on occurrence and abundance of the scale-backed antbird, *Hylophylax poecilinotus* (Aves:Thamnophilidae), in the amazon forest. **Revista Brasileira de Zoologia**, v.25, p.630-639.
- Cohen, S.; Janicki-Deverts, D. & Miller, G.E. (2007). Psychological stress and disease. **Jama**, v.298, p.1685–1687.
- Cohen, A. & Horak, P. (2010). The Ecology of Antioxidants & oxidative stress in animals- How to measure oxidative stress in an ecological context: methodological and statistical issues. **Functional Ecology**, v.24, p.960-970.
- Costantini, D.; Cardinale, M. & Carere, C. (2007). Oxidative damage and anti-oxidant capacity in two migratory bird species at a stop-over site. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C Toxicology e Pharmacology**, v.144, p.363– 371.
- Constantini, D. (2008). Oxidative stress in ecology and evolution: lessons from avian studies. **Ecology Letters**, v.11, p.1238-1251.
- Costantini, D.; Dell Ariccia, G. & Lipp, H.P. (2008). Long flights and age affect oxidative status of homing pigeons (*Columba livia*). **Journal of Experimental Biology**, v.211, p.377–381.

Dalle-Donne, I.; Rossi, R.; Colombo, R.; Giustarini, D. & Milzani, A. (2006). Biomarkers of oxidative damage in human disease. **Clinical Chemistry**, v.52, p.601-623.

De Crommenacker, J.V.; Koumdeur, J.; Burke, T. & Richardson, D.S. (2011). Spatio-temporal variation in territory quality and oxidative status: a natural experiment in the Seychelles warbler (*Acrocephalus sechellensis*). **Journal of Animal Ecology**, v.80, p. 668-680.

Denslow, J.S. & Hartshorn, G.S. (1994). Tree-fall Gap Environments and Forest Dynamics Processes. In: Mcdade, L.A.; Bawa, K.S.; Hespeneide, H.A.; Hartshorn, G.S. *La Selva: Ecology and Natural History of a Neotropical Rain Forest*. University of Chicago Press, Chicago, p.120-127.

Dotan, Y.; Lichtenberg, D. & Pinchuck, I. (2004). Lipid peroxidation cannot be used as a universal criterion of oxidative stress. **Progress in Lipid Research**, v.43, p.200-227.

Eeva, T.; Helle, S.; Salminen, J.P. & Hakkarainen, H. (2010). Carotenoid composition of invertebrates consumed by two insectivorous bird species. **Journal of Chemical Ecology**, v.36, p.608-613.

Esterbauer, H. (1996). Estimation of peroxidative damage. A Critical Review. **Pathologie Biologie (Paris)**, v.44, p.25-28.

Finkel, T. & Holbrook, N.J. (2000). Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. **Nature**, v.408, p.239–247.

Fuller, R.J. (2000). Influence of treefall gaps on distributions of breeding birds within interior old growth stands in Bialowieza Forest, Poland. **The Condor**, v.102, p.267-274.

Gosler, A. (2004). **Birds in the hand**. In: Sutherland, W.J.; Newton, I.; Green, R.E. *Birds ecology and conservation: a handbook of techniques*. Oxford University Press, New York, p. 85-118.

Hallé, F.; Oldeman, R.A.A. & Tomlinson, P.B. (1978). **Tropical Trees and Forests: an Architectural Analysis**. Springer-Verlag, Berlin, p. 468.

Halliwell, B. & Gutteridge, J. (2007). **Free Radicals in Biology and Medicine**. Oxford University Press, Oxford UK, p.266.

Hambly, C.; Pinshow, B.; Wiersma, P.; Verhulst, S.; Piertney, S.B.; Harper, E.J. & Speakman, J.R. (2004). Comparison of the cost of short flights in a nectarivorous and a non-nectarivorous bird. **Journal of Experimental Biology**, v.207, p.3959–3968.

Isaksson, C.; Sturve, J.; Almroth, B.C. & Andersson, S. (2009). The impact of urban environment on oxidative damage (TBARS) and antioxidant systems in lungs and liver of great tits, *Parus major*. **Environmental Research**, v.109, p.46-50.

Larcombe, S.D.; Tregaskes, C.A.; Coffey, J.S.; Stevenson, A.E.; Alexander, L. & Arnold, K.E. (2008). The effects of short-term antioxidant supplementation on oxidative stress and flight performance in adult budgerigars *Melopsittacus undulates*. **Journal Experimental Biology**, v.211, p.2859–2864.

Levey, E.O. (1982). The behavior of scale-backed antbirds. **Wilson Bulletin**, v.94, p.447-462.

Levey, D.J. (1988). Spatial and temporal variation in Costa Rican fruit and fruit-eating bird abundance. **Ecology Monographs**, v.58, p.251-269.

Lisboa, P.L.B.; Silva, A.S.L. & Almeida, S.S. (1997). Florística e estrutura dos ambientes. In: Lisboa, P.L.B. (Org.). **Caxiuanã**, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, p. 163-194.

Martin, T.E. & Karr, J.R. (1986). Patch utilization by migrating birds: resource oriented? **Ornis Scandinavica**, v.17, p.165-174.

Masoro, E.J. (2002). **Caloric restriction: a key to understanding and modulating aging**. Elsevier, Amsterdam.

Nudds, R.L. & Bryant, D.M. (2000). The energetic cost of short flights in birds. **Journal of Experimental Biology**, v.203, p.1561–1572.

Richards, L.A. & Coley, P.D. (2007). Seasonal and habitat differences affect the impact of food and predation on herbivores: a comparison between gaps and understory of a tropical forest. **Oikos**, v.116, p.31–40.

Runkle, J.R. (1981). Gap regeneration in some old-growth forests of the eastern United States. **Ecology**, v.62, p.1041-1051.

Schemske, D.W. & Brokaw, N. (1981). Treefalls and the distribution of understory birds in a tropical forest. **Ecology**, v.62, p.938–945.

Schliemann, S.A. & Bockheim, J.G. (2011). Methods for studying treefall gaps: A review. *For Ecol Manage*, v.261, p.1143–1151.

Silva, M.R.P. & Rosário, S.M. (2008). Licófitas e Monilófitas (Pteridophyta) da Floresta Nacional de Caxiuanã, estado do Pará, Brasil: chave para as famílias e as espécies de Aspleniaceae e Blechnaceae. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v.3, p.151-163.

Sohal, R.S & Weindruch, R. (1996). Oxidative stress, caloric restriction, and aging. **Science**, v.273, p.59–63.

Swaddle, J.P.; Williams, E.V. & Rayner, J.M.V. (1999). The effect of simulated flight feather moult on escape take-off performance in starlings. **Journal Avian Biology**, v. 30, p.351-358.

Weindruch, R. & Walford, R.L. (1988). **The retardation of aging and disease by dietary restriction**. C.C. Thomas, Springfield.

Wiersma, P.; Selman, C.; Speakman, J.R. & Verhulst, S. (2004). Birds sacrifice oxidative protection for reproduction. **Proc. R. Soc. Lond., B (Biol. Lett.)**, v.271, p.360–363.

Willis, E.D. (1966). Mechanism of lipidi peroxide formation un animal tissues. **Biochemical Journal**, v.99, p.667-676.

Willis, E.O. (1982). The behavior of scale-backed antbirds. **Wilson Bulletin**, v.94, p.447-462.

Wunderle, J.M.; Willig, M.R. & Henriques, L.M.P. (2005). Avian distribution in treefall gaps and understorey of tetra firme forest in the lowland Amazon. **Ibis**, v.147, p.109–129.

## CONCLUSÕES GERAIS

Clareiras naturais na Amazônia são fundamentais para interação entre aves frugívoras e plantas, representando sítios permanentes e rentáveis de recursos pela elevada concentração de plantas frutificando. Entretanto a distribuição das aves frugívoras em clareiras naturais nas florestas tropicais é diferenciada, pois clareiras maiores, com área igual ou superior a 150m<sup>2</sup> são mais atrativas, principalmente para as espécies que consomem maior proporção de frutos na dieta, como os frugívoros primários.

Os indivíduos de *Dixiphia pipra* ocorrem preferencialmente em clareiras e a sua abundância esta associada a maior disponibilidade de plantas frutificando. A maior luminosidade, número de machos e plantas frutificando neste ambiente sugerem que esta espécie utiliza as clareiras naturais para o estabelecimento das arenas de exibições em leques.

A variação dos biomarcadores de estresse oxidativo na espécie que apresenta organização em leques se associou ao sexo e ao ambiente. Nas clareiras naturais, os machos adultos de *Dixiphia pipra* apresentam níveis mais elevados de estresse oxidativo. Dentre os fatores que podem contribuir para o aumento da geração de compostos pró-oxidantes se destaca a maior demanda metabólica associada as estratégias de voo, para o comportamento de exibições de corte, forrageio, defesa de território e para evitar a predação.

A espécie que não apresentam organização em leque e, nem utilizam elaboradas exibições para a corte da fêmea, o sexo não influencia na variação

do estresse, porém o ambiente é um fator determinante. Clareiras naturais constituem estímulos estressores que favorecem o estresse oxidativo nos indivíduos de *Willisornis poecilinotus*, provavelmente devido ao aumento da atividade física resultante do esforço maior de voos neste ambiente.

As aves demonstram padrões similares de resposta fisiológica destinada a reduzir os impactos fisiológicos garantindo a sua sobrevivência, independente do estímulo estressor a que seja submetida. O consumo de frutos com alto teor de compostos antioxidantes pelos machos de *Dixiphia pipra* em clareiras naturais tende, provavelmente, a minimizar os efeitos danosos do estresse oxidativo e, favorecer a seleção sexual. Em *Willisornis poecilinotus*, dentre os recursos predominantes na dieta destaca-se as larvas de lepidóptera, recurso com elevado teor de carotenoides e abundante em clareiras naturais.



## RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Clareiras naturais são áreas que favorecem a interação mutualística entre plantas e aves frugívoras, principalmente para as espécies mais dependentes de frutos na sua dieta. Pesquisas adicionais de fatores como área, luminosidade, idade e estrutura da vegetação em diferentes fases dos mosaicos florestais são fundamentais porque alteram a disponibilidade de recursos, como frutos, flores e insetos e podem influenciar diferentemente a distribuição das aves frugívoras nos mosaicos florestais.

Recomenda-se o uso de um marcador de capacidade antioxidante sempre associado com um marcador de dano oxidativo. Esta relação é importante para avaliar relações funcionais entre os componentes diferentes que determinam o estado de redox.

Clareiras naturais podem promover o estresse oxidativo nas aves resultante do esforço de voo no comportamento de forrageio, para evitar predadores, em exibições para as fêmeas e defesa de território. Entretanto pesquisas direcionadas para a compreensão de interações ecofisiológicas entre o estresse oxidativo e a distribuição dos indivíduos nos mosaicos florestais envolvendo processos como: muda, reprodução, migração e cuidado parental são fundamentais para entendimento ecológico e evolutivo de como os organismos regulam os níveis de compostos pró-oxidantes e antioxidantes.