



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

DIEGO RESENDE RODRIGUES

**VARIAÇÕES ARQUITETURAIS DE INDIVÍDUOS DE  
ESPÉCIES ARBÓREAS EM FLORESTA ESTACIONAL  
SEMIDECIDUAL**

---

Londrina  
2016

**DIEGO RESENDE RODRIGUES**

**VARIAÇÕES ARQUITETURAIS DE INDIVÍDUOS DE  
ESPÉCIES ARBÓREAS EM FLORESTA ESTACIONAL  
SEMIDECIDUAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, área de concentração em Biodiversidade e Conservação de Habitats Fragmentados da Universidade Estadual de Londrina (UEL) para obtenção do Título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Bianchini

Londrina  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Rodrigues, Diego Resende.

Variações arquiteturais de indivíduos de espécies arbóreas em Floresta Estacional Semidecidual / Diego Resende Rodrigues. - Londrina, 2016.  
100 f. : il.

Orientador: Edmilson Bianchini.

Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2016.  
Inclui bibliografia.

1. Alometria - Tese. 2. Arquitetura arbórea - Tese. 3. Exploração antrópica - Tese. 4. Floresta Tropical - Tese. I. Bianchini, Edmilson. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.



CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

DEFESA DE TESE DE DOUTORADO

Discente: **Diego Resende Rodrigues**

Título: "Relações alométricas e coexistência de espécies arbóreas em uma floresta estacional semidecidual do sul do Brasil".

Data da Defesa: 16 de dezembro de 2016 – 08:30 hs, na sala CCB S/10 do Centro de Ciências Biológicas, desta Universidade.

**Banca Examinadora**

**Parecer**

**PRESIDENTE:**

Dr. Edmilson Bianchini

UEL

APROVADO

**TITULARES**

Dr. José Antonio Pimenta

UEL

APROVADO

Dr. José Marcelo Domingues Torezan

UEL

APROVADO

Dr. Marcelo Boccia Leite

UFSCAR

Aprovado

Dr. Marcio Seiji Suganuma

UTFPR

Aprovado

**Parecer Final**

APROVADO

Dr. Edmilson Bianchini

Dr. José Antonio Pimenta

Dr. José Marcelo Domingues Torezan

Dr. Marcelo Boccia Leite

Dr. Marcio Seiji Suganuma

Dedico  
Aos meus Avós Luiz (*i. m.*) e  
Celina, à minha mãe Sandra, aos  
meus irmãos e amigos, alicerces  
da minha vida

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **DEUS**.

Gostaria de agradecer a todos que ajudaram na realização deste trabalho, com ênfase à **Universidade Estadual de Londrina**, ao **Programa de Doutorado em Ciências Biológicas**, a **Capes**, ao **Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE)** e a **University of Florida**.

Ao Professor **Dr. Edmilson Bianchini** pela ótima orientação, amizade, apoio, puxões de orelha, os bate-papos descontraídos na sua sala. Suas sugestões, críticas e experiência foram de extrema importância para o meu aprendizado ao longo desses anos de Mestrado e Doutorado. Ao Professor **Dr. José Antonio Pimenta** pela grande ajuda por ser um grande parceiro e colaborador deste trabalho, no esclarecimento de dúvidas, participação nas bancas de qualificação e defesa e por toda amizade o apoio durante todo o trabalho.

Aos membros da qualificação: Dra. Aparecida Donisete de Faria, Dr. José Eduardo Lahoz da Silva Ribeiro, que fizeram contribuições essenciais para a tese.

A todos os membros da banca de defesa: Dr. Marcelo Boccia Leite, Dr. Marcio Seiji Suganuma, Dr. José Marcelo Domingues Torezan. Todos contribuíram qualitativamente para o melhoramento da tese.

Ao Professor **Dr. Emilio Miguel Bruna** por abrir as portas da University of Florida e ter me recebido muito bem durante minha estadia na Flórida-EUA. Nunca aprendi tanto em tão pouco tempo e esse aprendizado levarei comigo por toda minha carreira acadêmica. Pode ter certeza que foi muito mais que um orientador, sai dos EUA com uma grande amizade feita.

Ao **Instituto Ambiental do Paraná (IAP)** por autorizar a realização do trabalho no Parque Estadual Mata São Francisco.

Ao meu grande amigo e companheiro de trabalho, que convivi durante a faculdade, Mestrado e Doutorado, **Yves Rafael Bovolenta**, não esquecendo também de toda sua Família que sempre me recebeu de braços abertos. Às minhas grandes amigas **Maristela Yuka Zama** e **Eloísa de Souza Carvalho**, que muito nos ajudaram nas idas à campo, nas ideias e ao grande incentivo para a realização do trabalho.

Dos meus tempos de moradia nos EUA conheci pessoas que muito me ajudaram e que se tornaram grandes amigos dos quais jamais esquecerei: Adriano Darosci, Ernane Vieira Neto e Fabiane Mundim. Além deles, as várias pessoas que por lá me ajudaram muito nessa

pequena jornada longe de casa. Agradeço a todo pessoal que conheci no Tropical Ecology & Conservation Lab, Wildlife Ecology and Conservation Department na UF.

À minha Família, à minha mãe **Sandra Regina Vasconcellos Resende**, meus irmãos, que sempre me apoiaram e entenderam os meus momentos de ausência em casa, em função dos estudos. Em especial gostaria de agradecer meu Avô (*in memoriam*) **Luiz Resende Filho** e minha Avó **Celina Vasconcellos Resende**, que foram as pessoas em quem sempre me espelhei em toda minha vida, sempre me apoiaram com muita força, amor e incentivo. A todos os meus **AMIGOS** e a todas as pessoas que eu conheci nessa longa jornada de estudo, que sempre me apoiaram e torceram por mim.

Espero que um dia eu possa retribuir todo o apoio e ajuda que tive. Peço desculpas por não colocar o nome de todos ou se esqueci de alguém, pois muita gente contribuiu direta ou indiretamente com este trabalho. Enfim posso dizer que estou realizando um sonho e sempre lembrarei desta etapa da minha vida com muita nostalgia.

A todos o meu **MUITO OBRIGADO!**

***“Você não sabe o quanto eu caminhei  
pra chegar até aqui.”***

(Música: A Estrada, Cidade Negra)

RODRIGUES, Diego Resende. **Variações arquiteturais de indivíduos de espécies arbóreas em floresta estacional semidecidual**. 2016. 100 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

## RESUMO

O presente trabalho objetivou estudar aspectos da ecologia populacional de espécies arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual do sul do Brasil. Foram definidas seis áreas amostrais, sendo quatro áreas com vestígios de exploração antrópica e duas com ausência de exploração antrópica, de 0,3 hectares cada. Foram realizados estudos de relações alométricas para todas as espécies selecionadas e a caracterização ambiental de todos os sítios amostrais. Nestas áreas, de todos os indivíduos das espécies de estudo foram medidos o diâmetro, a altura e a copa. A comparação das relações alométricas entre as populações da mesma espécie nos diferentes sítios foi feita por meio da regressão SMA (*Standardized Major Axis*) e a comparação das características ambientais por meio de análise de variância (ANOVA ou Kruskal-Wallis). A hipótese do primeiro capítulo é que existem diferenças tanto na arquitetura dos indivíduos de espécies arbóreas localizadas em sítios que apresentam diferentes níveis de degradação quanto nas características ambientais. No segundo capítulo, testou-se a hipótese que espécies de subosque exibem diferenças em sua arquitetura ao longo de sua ontogenia. A análise dos resultados indicou que a exploração antrópica contribuiu para as diferenças arquiteturais entre as populações. Observou-se também alteração nas características ambientais modificando a estrutura florestal nos sítios onde ocorreu algum tipo de exploração antrópica. As espécies de subosque apresentaram diferentes estratégias de sobrevivência ao longo das fases de crescimento em resposta às condições ambientais permitindo a coexistência de múltiplas espécies no mesmo estrato em uma floresta tropical.

**Palavras-chave:** Alometria. Arquitetura. Exploração antrópica. Floresta tropical. Nicho.

RODRIGUES, Diego Resende. **Architectural variations of tree species individuals in semideciduous seasonal forest**. 2016. 100 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

### **ABSTRACT**

The present study aimed to analyze aspects of population ecology of tree species in a fragment of seasonal semideciduous forest, southern Brazil. Six sample areas with 3000 m<sup>2</sup> were selected, being four with anthropogenic exploitation evidences and two with absence of anthropogenic exploitation evidences. Allometric relationships were studied for all study species and environmental characterization of the sample sites. All individuals of the study species in selected areas were measured the diameter, height and crown. The comparison of the allometric relationships was realized between populations of the same species in the different sites was done by Standardized Major Axis (SMA) regression and the comparison of the environmental characteristics by analysis of variance (ANOVA or Kruskal-Wallis). The hypothesis of first chapter is that there are differences both in the architecture of individuals of tree species located in sites that present different levels of degradation as well in environmental characteristics. In the second chapter, we tested the hypothesis that understorey species exhibit differences in their architecture along their ontogeny. The analysis of results indicated that anthropic exploitation contributed to the architectural differences between populations. It was also observed differences in the environmental characteristics modifying the forest structure in the areas where suffered some kind of anthropic exploitation. The understorey species had different survival strategies throughout the tree growth in response to environmental conditions allowing coexistence of multiple species in the same stratum in a tropical forest.

**Keywords:** Allometry. Architecture. Anthropic exploitation. Tropical rainforest. Niche.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização do Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil. Adaptado de Silva & Soares-Silva (2000). ..... 09
- Figura 2.** Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil. Imagem de satélite com indicação dos seis blocos de estudo; A1 e A2 = blocos alocados em áreas não exploradas diretamente, com presença de indivíduos adultos de *Aspidosperma polyneuron* e ausência de bases de tronco serradas e de dominância por bambus; B1 e B2 = blocos alocados em áreas com presença de bases de troncos serrados de *A. polyneuron* e ausência de dominância por bambus; C1 e C2 = blocos alocados em áreas dominadas por bambus, com bases de troncos serrados de *A. polyneuron* e ausência de indivíduos adultos dessa espécie. Fonte: Google Earth, 2016. .... 10
- Figura 3.** Bases de troncos serradas de *Aspidosperma polyneuron* no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, Brasil. Imagens: Yves R. Bovolenta. .... 11
- Figura 4.** Imagens dos blocos alocados em áreas não exploradas diretamente, com presença de indivíduos adultos de *Aspidosperma polyneuron* e ausência de bases de tronco serradas e de dominância por bambus, no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil; a = Bloco A1; b = Bloco A2. Imagens: a = Yves R. Bovolenta; b = Diego R. Rodrigues. .... 12
- Figura 5.** Imagens dos blocos alocados em áreas com presença de bases de troncos serradas de *Aspidosperma polyneuron* e ausência de dominância por bambus, no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil; a = Bloco B1; b = Bloco B2. Imagens: Yves R. Bovolenta. .... 12
- Figura 6.** Imagens dos blocos alocados em áreas dominadas por bambus, com bases de troncos serrados de *Aspidosperma polyneuron* e ausência de indivíduos adultos dessa espécie, no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil. a = Bloco C1; b = Bloco C2. Imagens: Yves R. Bovolenta. .... 12
- Figura 7.** Exemplares da espécie *Actinostemon concolor*. Imagens: Bianca B. Perina. .... 14

<b>Figura 8.</b>	Exemplares da espécie <i>Aspidosperma polyneuron</i> . Imagens: a = Bianca B. Perina; b = Diego R. Rodrigues.....	15
<b>Figura 9.</b>	Exemplares da espécie <i>Campomanesia xanthocarpa</i> . Imagens: a = Diego R. Rodrigues; b = Yves R. Bovolenta.....	15
<b>Figura 10.</b>	Exemplares da espécie <i>Gallesia integrifolia</i> . Imagens: a = Diego R. Rodrigues; b = Yves R. Bovolenta.....	16
<b>Figura 11.</b>	Exemplares da espécie <i>Holocalyx balansae</i> . Imagens: a = Diego R. Rodrigues; b = Bianca B. Perina.....	17
<b>Figura 12.</b>	Exemplares da espécie <i>Inga marginata</i> . Imagens: a = Yves R. Bovolenta; b = Bianca B. Perina.....	18
<b>Figura 13.</b>	Exemplares da espécie <i>Pachystroma longifolium</i> . Imagens: Yves R. Bovolenta.....	19
<b>Figura 14.</b>	Exemplares da espécie <i>Sorocea bonplandii</i> . Imagens: Yves R. Bovolenta.....	19

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1

- Tabela 1.** Média ( $\pm$  EP) das variáveis ambientais analisadas nas seis áreas de estudo no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, Brasil. A1 e A2= blocos não explorados diretamente, onde são observados exemplares adultos de *Aspidosperma polyneuron*, ausência de base de troncos serrados e ausência de dominância por bambus; B1 e B2 = blocos com presença de base de troncos serrados de *A. polyneuron*, presença de indivíduos adultos dessa espécie nas proximidades e ausência de dominância por bambus; C1 e C2 blocos alocados em áreas dominadas por bambus, onde há base de troncos serrados de *A. polyneuron* e ausência de indivíduos adultos dessa espécie. Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si (ANOVA e Teste de Tukey; Kruskal-Wallis e multicomparação,  $P < 0,05$ ); EP = Erro padrão;  $n$  = número de amostras; ICV= Índice de Cobertura Vegetal. AE = Análise estatística; KW = Kruskal-Wallis; AOV = ANOVA. .... 40
- Tabela 2.** Estimativa das regressões lineares (SMA) para as espécies amostradas em seis áreas no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, Brasil. DAS - diâmetro a altura do solo (cm); H - altura total (m); PC - profundidade da copa (m); VC - volume de copa ( $m^3$ ). Apenas na relação DAS $\times$ H os dados foram transformados em log de base 10.  $\hat{a}$ = intercepto em y;  $\hat{\alpha}$ = inclinação da reta  $r^2$  = coeficiente de determinação; A1 e A2 = blocos não explorados diretamente, onde são observados exemplares adultos de *Aspidosperma polyneuron*, ausência de base de troncos serrados e ausência de dominância por bambus; B1 e B2 = blocos com presença de base de troncos serrados de *A. polyneuron*, presença de indivíduos adultos dessa espécie nas proximidades e ausência de dominância por bambus; C1 e C2= blocos alocados em áreas dominadas por bambus, onde há base de troncos serrados de *A. polyneuron* e ausência de indivíduos adultos dessa espécie. Letras iguais na mesma coluna para cada relação alométrica indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de multicomparação,  $P = 0,05$ ); ns, não significante ( $P > 0,05$ ); – = não apresentaram número suficiente para calcular as regressões lineares ..... 41

## Capítulo 2

- Tabela 1** Estimativa das regressões lineares (SMA) para três espécies de subosque (*Actinostemon concolor* - AC, *Inga marginata* - IM, *Sorocea bonplandii* - SB) amostradas no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil. As espécies foram divididas em classes de altura (H). H1 =  $0,5 \geq H \leq 1,5$  m; H2 =  $1,5 > H \leq 3,0$  m). DAS = diâmetro à altura do solo (cm); H = altura (m); PC = profundidade de copa (m); AHC = área horizontal de copa ( $m^2$ ); AVC = área vertical de copa ( $m^2$ ); VC = volume de copa ( $m^3$ ); n = número de indivíduos;  $\hat{a}$  = intercepto em y;  $\hat{\alpha}$  = inclinação da reta;  $r^2$ , coeficiente de determinação. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que apresentam diferença significativa (teste de multicomparação,  $P < 0,05$ ); ns, não significativo ( $P > 0,05$ ).....81
- Tabela 2** Estimativa das regressões lineares (SMA) para três espécies de subosque (*Actinostemon concolor* - AC, *Inga marginata* - IM, *Sorocea bonplandii* - SB) amostradas no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil. As espécies foram divididas em classes de altura (H). H3 =  $3,0 > H \leq 6,0$  m; H4 =  $H > 6,0$  m). DAS = diâmetro à altura do solo (cm); H = altura (m); PC = profundidade de copa (m); AHC = área horizontal de copa ( $m^2$ ); AVC = área vertical de copa ( $m^2$ ); VC = volume de copa ( $m^3$ ); n = número de indivíduos;  $\hat{a}$  = intercepto em y;  $\hat{\alpha}$  = inclinação da reta;  $r^2$ , coeficiente de determinação. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que apresentam diferença significativa (teste de multicomparação,  $P < 0,05$ ); ns, não significativo ( $P > 0,05$ ); – representa as relações alométricas que não foram significativas.....82
- Tabela 3** Variáveis arquiteturas para três espécies de subosque (*Actinostemon concolor* - AC, *Inga marginata* - IM, *Sorocea bonplandii* - SB) amostradas no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil. As espécies foram divididas em classes de altura (H). H1 =  $0,5 \geq H \leq 1,5$  m; H2 =  $1,5 > H \leq 3,0$  m; H3 =  $3,0 > H \leq 6,0$  m; H4 =  $H > 6,0$  m. DAS, diâmetro à altura do solo (cm); PC, profundidade de copa (m); AHC, área horizontal de copa ( $m^2$ ); AVC, área vertical de copa ( $m^2$ ); VC, volume de copa ( $m^3$ ), ET, esbeltez de tronco. Letras diferentes sobrescritas na mesma coluna indicam valores que apresentam diferenças significativas (ANOVA e teste Tukey,  $P < 0,05$ ). As médias foram comparadas apenas dentro das classes de altura.....83

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
2.	<b>METODOLOGIA GERAL</b> .....	8
2.1	<b>Áreas de estudo</b> .....	8
2.2	<b>Caracterização das espécies de estudo</b> .....	13
2.2.1	<i>Actinostemon concolor</i> (Spreng.) Müll. Arg. ....	13
2.2.2	<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll. Arg. ....	14
2.2.3	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg .....	15
2.2.4	<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms .....	16
2.2.5	<i>Holocalyx balansae</i> Micheli .....	16
2.2.6	<i>Inga marginata</i> Willd. ....	17
2.2.7	<i>Pachystroma longifolium</i> (Nees) I. M. Johnst .....	18
2.2.8	<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer .....	19
3.	<b>LITERATURA CITADA</b> .....	20
4.	<b>CAPÍTULO 1 - Alometria de indivíduos de espécies arbóreas em sítios com diferentes níveis de perturbação em uma floresta estacional semidecidual do sul do Brasil</b> .....	27
	<b>Resumo</b> .....	29
	<b>Abstract</b> .....	29
	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	30
	<b>MÉTODOS</b> .....	32
	<b>RESULTADOS</b> .....	36
	<b>DISCUSSÃO</b> .....	49
	<b>Literatura citada</b> .....	55
	<b>Anexo I</b> .....	61
5.	<b>CAPÍTULO 2 - Coexistência de espécies arbóreas tropicais de subosque por meio da diferenciação na arquitetura em uma floresta estacional semidecidual do sul do Brasil</b> .....	71
	<b>Resumo</b> .....	73
	<b>Abstract</b> .....	73

<b>Introdução</b> .....	74
<b>Métodos</b> .....	75
<b>Resultados</b> .....	78
<b>Discussão</b> .....	83
<b>Literatura citada</b> .....	87
<b>Anexo II</b> .....	91

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A Mata Atlântica, considerada uma das cinco mais importantes áreas (*hotspot*) para conservação da biodiversidade do planeta (Myers et al. 2000, Eisenlohr et al. 2015), apresentava uma área de aproximadamente 1.300.000 Km<sup>2</sup>. Estudos da Fundação SOS Mata Atlântica/INPE (INPE 2014) considerando apenas fragmentos com 100 ou mais hectares, observaram que restam apenas 7,26% da área florestal total original. Outros estudos, que incluíram os fragmentos menores que 100 ha, concluíram que ainda restam de 11,4 a 16% do total inicial, sendo que a maioria dos remanescentes florestais (cerca de 83%) apresentou menos que 50 ha (Ribeiro et al. 2009). As principais causas da fragmentação no Brasil foram a exploração excessiva dos recursos florestais (principalmente retirada de madeira), agricultura, pastagem e urbanização (Tabarelli et al. 2005, Paula et al. 2015).

O estado do Paraná, originalmente coberto, em sua maior extensão, pelo Bioma Atlântico, foi seriamente afetado pelo desmatamento. Quando houve a ocupação das terras no Paraná, tanto os imigrantes estrangeiros quanto os brasileiros tinham como objetivo ocupar toda sua terra, e assim o fizeram de forma extremamente rápida (Soares & Medri 2002, Vicente 2006). No final do século XIX a cobertura vegetal foi reduzida a aproximadamente 83,5% da original, em função da ocupação humana imigrante, e em meados da década de 1960, quase três quartos de floresta nativa já haviam sido retirados pelo homem, restando, atualmente, cerca de apenas 2% do total da cobertura florestal original do estado do Paraná (Soares & Medri 2002).

A fragmentação florestal pode ser amplamente definida como o processo em que uma área contínua de habitat é reduzida e dividida em duas ou mais manchas de vegetação que são separadas por uma matriz de habitat diferente do habitat original (Murcia 1995, Zanella et al. 2012, Scarano & Ceotto 2015). A fragmentação é

reconhecida como uma das principais ameaças à biodiversidade e ao funcionamento do ecossistema (Primack & Rodrigues 2001, Magnago et al. 2014, 2015), pois o isolamento dos fragmentos resulta em consequências prejudiciais para grande parte da biota da floresta nativa (Murcia 1995, Santo-Silva et al. 2016), o que pode levar à extinção de espécies (Murcia 1995). A grande maioria destes fragmentos florestais sofre ou sofreram algum tipo de exploração antrópica, formando mosaicos de fisionomias com diferentes intensidades de perturbação dentro da mesma área (Ribeiro et al. 2009, Gris et al. 2014, Magnago et al. 2014, 2015, Rezende et al. 2015).

Após o impacto humano, como o corte seletivo de madeira, ocorre mudanças na estrutura florestal como a diminuição da área basal, da densidade de árvores e da estratificação do dossel (Guariguata & Ostertag 2001, Alves & Metzger 2006). Isto pode alterar a composição de espécies e promover mudanças no funcionamento florestal, tais como alteração na ciclagem de nutrientes, alterações nas condições físicas e químicas do solo, na luminosidade, etc. (Guariguata & Ostertag 2001, Alves & Metzger 2006). Estudos realizados em fragmentos com histórico de exploração antrópica têm contribuído para a compreensão destes principais fatores bióticos e abióticos que influenciam os padrões da sucessão florestal e a consequente regeneração natural em fragmentos florestais com histórico de impacto humano (Guariguata & Ostertag 2001, Alves & Metzger 2006).

A exploração do fragmento altera a estrutura das populações do ambiente florestal (Getzin et al. 2008). Uma das formas de se analisar a alteração florestal é por meio do estudo das relações da forma dos indivíduos com o seu tamanho (O'Brien et al. 1995, Yamada et al. 2005, Poorter et al. 2012) denominado de alometria (King 1990a, Niklas 1995, Begon et al. 2007). No contexto da ecologia vegetal, a alometria pode ser definida como a relação entre as diferentes dimensões ou tamanhos de uma planta e

resulta de alocação diferencial de carbono para diferentes partes da mesma, em razão das diferentes estratégias de crescimento das árvores em florestas tropicais (Martínez-Sánchez 2008). As diferentes formas que as plantas adquirem ao longo do seu crescimento estão diretamente relacionadas à diferenciação de nicho, permitindo a coexistência de espécies no interior da floresta (O'Brien et al. 1995).

Os efeitos da exploração antrópica podem envolver alterações na arquitetura das árvores, pois a mudança na forma das mesmas é causa e consequência da variação da disponibilidade de recursos como, por exemplo, a luminosidade (Vieilledent et al. 2010, Heineman et al. 2011). A luz é o recurso responsável pela evolução e manutenção da vida arbórea (King 1990a), pois as árvores captam a luz para realizar fotossíntese, acumulando biomassa para utilizar em funções diversas como no crescimento, sustentação, reprodução etc. (King 1990a, Poorter et al. 2003, 2006, Salles & Buckeridge 2014). Porém, é um recurso limitante para o desenvolvimento dos indivíduos no interior das florestas (Kohyama & Hotta 1990, Sterck 1999, Poorter et al. 2003, 2005, 2006, Osunkoya et al. 2007) e por isso, as árvores competem entre si por luz e quem ganha ou perde é determinado em grande parte por quem sombreia quem (O'Brien et al. 1995). Diferentes estratégias na alocação de recursos das espécies refletem as diversas estratégias adaptativas que podem ser evidenciadas através da relação entre o tamanho e forma das plantas (Niklas 1995). Numa floresta, o tamanho e a forma de qualquer indivíduo afetam diretamente sua capacidade de alocação de recursos, determinantes para sua sobrevivência, desenvolvimento, reprodução e competitividade (Vieilledent et al. 2010).

A forma dos indivíduos arbóreos e a posição de seus componentes morfológicos, tais como altura, diâmetro de tronco e características de copa determinam sua arquitetura, a qual é importante na exploração da luminosidade dentro da floresta

(Poorter et al. 2006, Osunkoya et al. 2007, Vieilledent et al. 2010). A arquitetura arbórea é definida como a expressão visível da forma da árvore e é baseada no conceito do modelo arquitetural, uma abstração que se refere ao plano de crescimento geneticamente determinado da árvore (Tomlinson 1987).

Em estudos realizados em florestas conservadas que apresentam dossel fechado e com menor disponibilidade de luz no interior da floresta, foi verificado que as plantas que alocam recursos para crescimento em altura são favorecidas, possibilitando alcançar o ambiente mais iluminado, conseqüentemente, sombreando seus competidores (Rich et al. 1986, Kohyama 1987, King 1990a,b, 1996, Kohyama & Hotta 1990, Poorter et al. 2003, 2006, 2012, King & Clark 2011, Batista et al. 2014). Em contrapartida, florestas com histórico de exploração geralmente apresentam menor densidade de árvores de grande porte, devido à extração de madeira, e conseqüentemente uma redução significativa na cobertura do dossel e aumento da luminosidade, alterando as condições microclimáticas da floresta (Guariguata & Ostertag 2001, Alves & Metzger 2006, Liebsch et al. 2008, Burton et al. 2009). Neste novo ambiente alterado, há menor competição por luz, permitindo aos indivíduos adultos alocar biomassa para o crescimento tanto em expansão de copa quanto em diâmetro de caule, destinada à sustentação, aumentando a margem de segurança (King 1990a, 1996, Kohyama & Hotta 1990, O'Brien et al. 1995, Niklas 1995, Bongers & Sterck 1998, Sterck 1999, Bohlman & O'Brien 2006, Osunkoya et al. 2007, Martínez-Sánchez 2008, Banin et al. 2012, Salles & Buckeridge 2014), reduzindo a possibilidade de quebra da planta em função do seu próprio peso (McMahon 1973, Dean & Long 1986, Bongers & Sterck 1998, Sterck 1999, Sterck & Bongers 2001, Osunkoya et al. 2007, Imai et al. 2012).

Não só a luminosidade influencia a arquitetura dos indivíduos, o ciclo de vida (King 1996), o estrato ao qual se encontra no momento e ao qual estrato de fato

pertence quando adultas (King 1990a, 1996, Alves & Santos 2002, Poorter et al. 2006, Osunkoya et al. 2007, Iida et al. 2012, 2014), além dos fatores genéticos e ambientais sob o qual os indivíduos estão se desenvolvendo (Niklas 1995, Archibald & Bond 2003).

As variações no tamanho e forma dos indivíduos, que refletem respostas às condições ambientais, podem ser expressas quantitativamente pelas relações alométricas (Kohyama 1987, Niklas 1995, King 1996, Sposito & Santos 2001, Kohyama et al. 2003, Poorter et al. 2006, King & Clark 2011, Iida et al. 2012, Batista et al. 2014, Salles & Buckeridge 2014, Haddad et al. 2016), sendo base importante para o entendimento da estrutura de populações (King 1996, Sposito & Santos 2001) e necessários para a compreensão dos aspectos ecológicos das espécies (Bond *et al.* 1999).

A arquitetura das árvores na floresta pode ser influenciada pelo estrato ao qual a planta pertence e durante as etapas de crescimento (Batista et al. 2014, Haddad et al. 2016). Há uma diminuição gradativa de luz do topo do dossel ao chão da floresta, levando as plantas a apresentarem estratégias diversificadas para captação de luz, resultando em diferenças em sua arquitetura (King 1990b, Thomas 1996, Bohlman & O'Brien 2006, Poorter et al. 2006, 2012, Bohlman & Pacala 2012, Iida et al. 2012, 2014). O estudo dessas diferentes estratégias na captação de luz auxilia no entendimento de como as espécies coexistem na floresta (O'Brien et al. 1995, Yamada et al. 2005, Iida et al. 2012, 2014). Os resultados de Haddad et al. (2016) demonstraram que a coexistência de espécies ocorre desde as primeiras etapas de crescimento e também pelo fato de pertencerem a diferentes estratos. Espécies de subosque apresentaram maiores investimentos em copa e em diâmetro de caule quando comparadas com as espécies de dossel e emergente. Como passam toda sua vida em um ambiente onde a luz é recurso limitante, as espécies de subosque apresentam estratégia de maior investimento em

copa, aumentando a captação de luz lateral. Além disso, apresentam maiores incrementos em diâmetro de tronco em relação à altura, aumentando a margem de segurança da planta contra a quebra (Kohyama 1987, King 1990b, Kohyama et al. 2003, Poorter et al. 2003, 2006, Carreño-Rocabado et al. 2012).

Espécies de dossel e emergentes apresentam estratégia baseada no maior investimento em altura em detrimento do diâmetro do tronco além de apresentar copas menores quando estão crescendo no interior da floresta. Esta estratégia possibilita que a planta cresça rapidamente até o dossel onde pode iniciar o seu ciclo reprodutivo (Sterck & Bongers 2001, Poorter et al. 2003, 2006, 2012, Bohlman & O'Brien 2006, Osunkoya et al. 2007, Carreño-Rocabado et al. 2012, Iida et al. 2012, 2014). Porém, nem sempre estes padrões são encontrados, visto que as relações entre altura, diâmetro e copa apresentam grande variação entre as espécies e dependendo do ambiente ao qual se encontram (Osunkoya et al. 2007, Batista et al. 2014).

Foram também observadas diferenças arquiteturais intraclasses de altura entre espécies de dossel que ao longo de todo o crescimento apresentaram menores investimentos em diâmetro de tronco em relação à altura, exceto quando os indivíduos ultrapassaram o dossel e passaram a realocar os recursos no aumento em diâmetro e em expansão de copa (Haddad et al. 2016). Batista et al. (2014) também comparou espécies de subosque, dossel e emergente e observou que as espécies de subosque apresentaram maiores investimentos em diâmetro, com copas maiores e mais profundas em relação as espécies de dossel/emergentes, mas independente do grupo ao qual pertencem, as espécies dos três grupos são capazes de explorar a baixa disponibilidade de luz no subosque, demonstrando que a coexistência de espécies pode ser evidenciada pelas diferentes variações arquiteturais, contribuindo para a diversidade no subosque.

O fragmento de floresta estacional semidecidual Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), localizado no norte do Paraná, sul do Brasil, apresenta um histórico de intensa interferência antrópica e elevado grau de degradação, principalmente pela extração de madeira (Tomé et al. 1999). O PEMSF encontra-se ilhado por cultura de cereais, cana de açúcar e pastagem, estando sujeito a problemas como caçadores e fogo. Há cerca de 40 anos ocorreu um incêndio na área que danificou aproximadamente 20% do fragmento (Tomé et al. 1999). Nos últimos anos, os dados do Prevfogo/IBAMA relataram quatro registros de focos de fogo no interior do fragmento ocorridos, respectivamente, nos anos de 2002, 2007, 2008 e 2011, que foram ligados à utilização de queimadas na agricultura para realização de limpeza de terrenos, renovação de pastagens, combate a pragas e facilitação de colheita (IAP 2015). Um vestígio da exploração antrópica pode ser constatado pela elevada quantidade de bambus e lianas no interior do fragmento (Tomé et al. 1999, Zama et al. 2012), além de bases de troncos serrados da espécie peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg) (observação pessoal).

A análise do levantamento florístico e fitossociológico realizado no PEMSF (Tomé et al. 1999) sugere a degradação pretérita do PEMSF. Espécies como *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. (pau d'alho), *Croton floribundus* Spreng. (capixingui), e *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F. Macbr. (pau-jacarê), consideradas intolerantes à sombra e de início de sucessão florestal (Tomé et al. 1999, Lorenzi 2002a, b), figuram entre as mais importantes, segundo o índice de valor de importância (IVI). Tais espécies foram favorecidas pela abertura de clareiras devido ao corte seletivo de madeira, principalmente dos indivíduos de *A. polyneuron*. Outros estudos como o de Bovolenta (2011) e Rodrigues (2011), registraram menor índice de cobertura vegetal em áreas em que houve algum indício de exploração antrópica em relação a um fragmento próximo

ao PEMSF, onde não houve corte seletivo de madeira. O último levantamento de florística realizado por Zama et al. (2012) demonstrou maior riqueza de espécies de estágio sucessional mais avançado em detrimento de espécies de início de sucessão, além de ter amostrado maior número de espécies zoocóricas, sugerindo que o PEMSF encontra-se em processo de sucessão ecológica.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a arquitetura de populações arbóreas em fragmento florestal que sofreu exploração antrópica. Os resultados são apresentados em dois capítulos: o capítulo um compara a alometria de plantas de oito espécies arbóreas em três áreas com diferentes níveis de perturbação antrópica e o capítulo dois aborda a coexistência de espécies arbóreas tropicais de subosque e a diferenciação na arquitetura.

## **2. METODOLOGIA GERAL**

### **2.1. Área de Estudo**

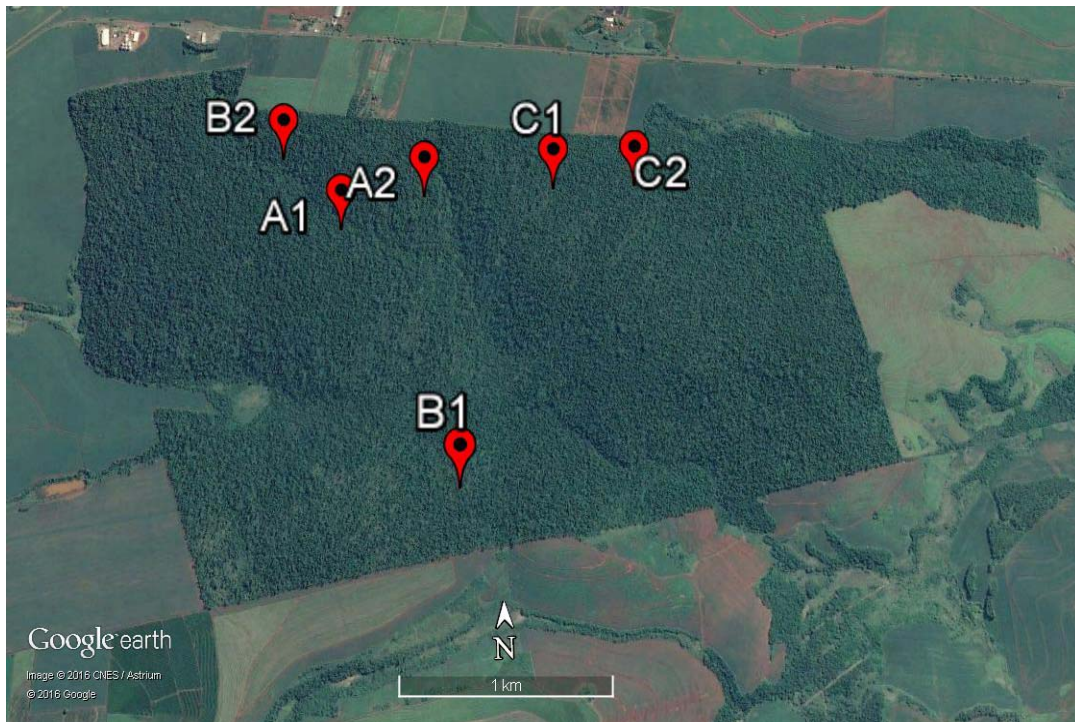
O estudo foi conduzido no Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF) (23°15'39"S e 50°45'45"W, centro do fragmento) com extensão de 832,58 ha (Figura 1). O PEMSF possui histórico de intensa interferência antrópica e elevado grau de degradação pelo corte de madeira e extração do palmitero (*Euterpe edulis* Mart.), que se estendeu até 1994, quando a área foi transformada em Parque Estadual.

O clima da região caracteriza-se como Cfa, segundo a classificação de Köppen (Alvares *et al.* 2013), com precipitação média entre 1200 a 1400 mm, distribuída irregularmente durante o ano (Caviglione et al. 2000). As unidades de solo predominantes são Latossolo Vermelho Eutroférico e Nitossolo Vermelho Eutroférico, com inclusões de Chernossolos e Gleissolos, considerados como solos de alta fertilidade (Embrapa 2006).

A seleção das áreas foi feita após análise em campo dos indícios de atividade antrópica no fragmento, sendo possível identificar três sítios com diferentes indícios de exploração. Dessa forma, foram demarcadas para cada sítio, dois blocos de 50 m × 60 m (0,3 hectares) cada, totalizando seis blocos (Figura 2). Cada bloco foi subdividido em 30 parcelas contíguas de 100 m<sup>2</sup> (10 m × 10 m), com uma distância entre blocos de no mínimo 500 m. Dois blocos (A1 e A2) foram alocados em áreas não exploradas diretamente, onde são observados exemplares adultos de *Aspidosperma polyneuron*, ausência de bases de troncos serrados e ausência de dominância por bambus (Figura 4); dois blocos (B1 e B2) foram alocados em áreas com bases de troncos serrados de *A. polyneuron*, presença de indivíduos adultos dessa espécie nas proximidades e ausência de dominância por bambus (Figura 5); e dois blocos (C1 e C2) foram alocados em áreas dominadas por bambus, com bases de troncos serrados de *A. polyneuron* e ausência de indivíduos adultos dessa espécie (Figura 6).



**Figura 1.** Localização do Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil. Adaptado de Silva & Soares-Silva (2000).



**Figura 2.** Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil. Imagem de satélite com indicação dos seis blocos de estudo; A1 e A2 = blocos alocados em áreas não exploradas diretamente; B1 e B2 = blocos alocados em áreas com presença de bases de troncos serrados de *A. polyneuron*; C1 e C2 = blocos alocados em áreas dominadas por bambus, com bases de troncos serrados de *A. polyneuron* e ausência de indivíduos adultos dessa espécie. Fonte da imagem: Google Earth, 2016.



**Figura 3.** Bases de tronco serradas de *Aspidosperma polyneuron* no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil. Imagens: Yves R. Bovolenta.



**Figura 4.** Imagens dos blocos alocados em áreas não exploradas diretamente, com presença de indivíduos adultos de *Aspidosperma polyneuron* e ausência de bases de tronco serradas e de dominância por bambus, no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil; a = Bloco A1; b = Bloco A2. Imagens: a = Yves R. Bovolenta; b = Diego R. Rodrigues.



**Figura 5.** Imagens dos blocos alocados em áreas com presença de bases de troncos serradas de *Aspidosperma polyneuron* e ausência de dominância por bambus, no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil; a = Bloco B1; b = Bloco B2. Imagens: Yves R. Bovolenta.



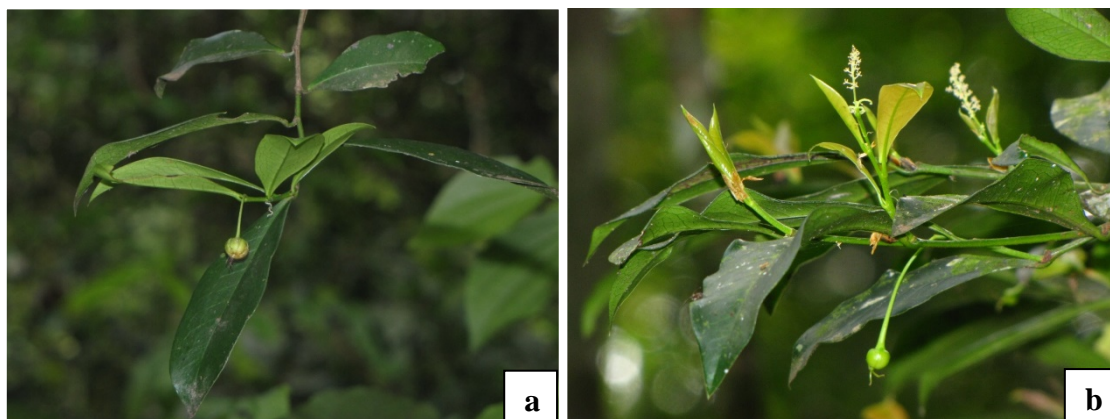
**Figura 6.** Imagens dos blocos alocados em áreas dominadas por bambus, com bases de troncos serradas de *Aspidosperma polyneuron* e ausência de indivíduos adultos dessa espécie, no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil. a = Bloco C1; b = Bloco C2. Imagens: Yves R. Bovolenta.

## 2.2 Caracterização das espécies de estudo

Foram selecionadas oito espécies pelo índice de valor de importância (IVI) (Brower & Zar 1984) em levantamentos fitossociológicos de floresta estacional semidecidual realizados na região (Soares-Silva & Barroso 1992, Tomé et al. 1999, Zama et al. 2012). As oito espécies são: *Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg., *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg., *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg., *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms, *Holocalyx balansae* Micheli, *Inga marginata* Willd., *Pachystroma longifolium* (Nees) I.M.Johnst. e *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer.

### 2.2.1 *Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg.

A espécie *A. concolor* (Figura 7) pertence à família Euphorbiaceae e é popularmente conhecida como laranjeira do mato. Atinge altura de aproximadamente 10 m e um diâmetro de tronco na base do solo de aproximadamente 10 cm (Smith et al. 1988). É uma espécie arbórea de subosque, tolerante à sombra comum na floresta estacional semidecidual, principalmente em solos úmidos (Bianchini et al. 2003, 2013). Nas matas ciliares do Estado do Paraná, região sul do Brasil está entre as principais espécies com grande valor de importância (Soares-Silva & Barroso 1992, Bianchini et al. 2003). É uma planta seletiva higrófila que ocorre preferencialmente no interior das florestas conservadas, início das encostas e em solos rochosos do alto das encostas (Smith et al. 1988). A floração e a frutificação ocorrem de agosto a setembro e de agosto a novembro respectivamente (Perina 2011). Os frutos são cápsulas deiscentes e autocóricas (Smith et al. 1988, Zama et al. 2012).



**Figura 7.** Exemplos da espécie *Actinostemon concolor*. Imagens: Bianca B. Perina.

### 2.2.2 *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg.

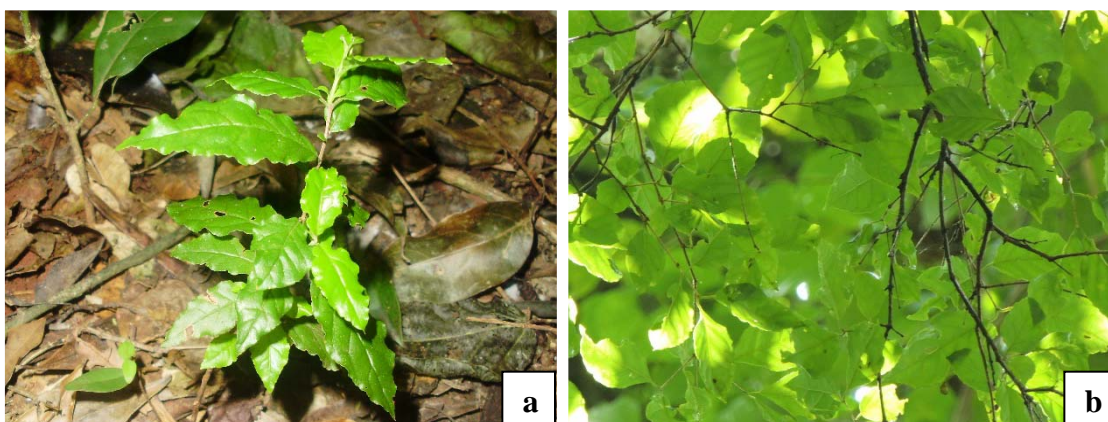
A espécie *A. polyneuron* (Figura 8) pertence à família Apocynaceae e é popularmente conhecida como peroba-rosa. Possui altura que varia de 20 a 30 m e um tronco que varia de 60 a 90 cm de diâmetro (Lorenzi 2002a). Planta esciófita, característica de floresta semidecídua da bacia do Paraná e da floresta ombrófila densa (Lorenzi 2002a). Devido a sua madeira de alta densidade e longa durabilidade (Lorenzi 2002a) foi intensamente utilizada na construção civil e moveleira (Torezan et al. 2005). Apresenta maturação reprodutiva considerada tardia (50 anos ou mais) e apresenta uma taxa de crescimento extremamente lenta, demorando cerca de 10 a 15 anos para atingir cinco centímetros de diâmetro à altura do peito (Torezan et al. 2005). Floresce durante os meses de outubro-novembro e a maturação dos seus frutos ocorre nos meses de agosto a setembro, produzindo grande quantidade de sementes a cada 2-4 anos (Lorenzi 2002a, Perina 2011). A dispersão das sementes é realizada pelo vento (Lorenzi 2002a). Em estudo florístico e fitossociológico desenvolvido no PEMSF, *A. polyneuron* ocupou a 7ª posição em Índice de Valor de Importância (IVI) (Tomé et al. 1999).



**Figura 8.** Exemplos da espécie *Aspidosperma polyneuron*. Imagens: a = Bianca B. Perina; b = Diego R. Rodrigues.

### 2.2.3 *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg

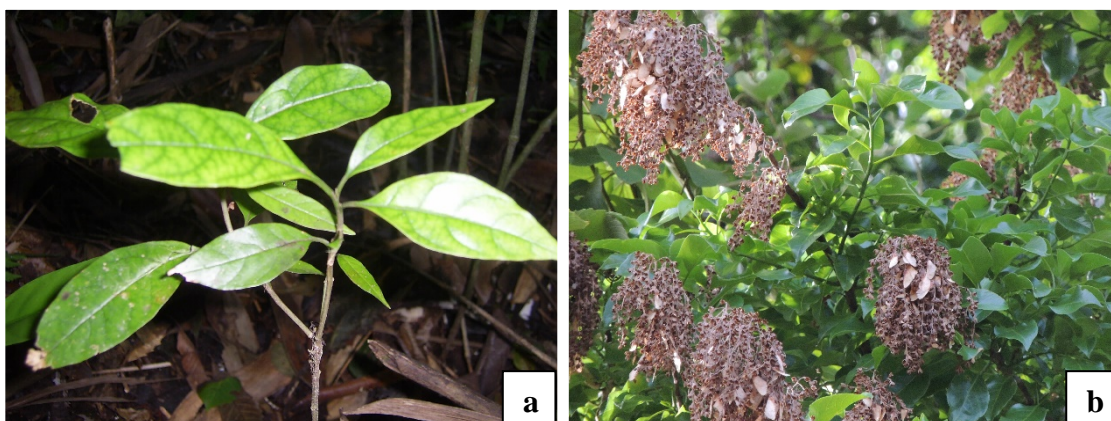
A espécie *C. xanthocarpa* (Figura 9) pertence à família Myrtaceae e é popularmente conhecida como guabiroba. Possui altura que varia entre 10 a 20 m apresentando uma copa alongada e densa, com um tronco variando de 30 a 50 cm de diâmetro (Lorenzi 2002a). É uma espécie arbórea de dossel, decídua, tolerante a sombra e comum em floresta estacional semidecidual (Lorenzi 2002a). Floresce entre os meses de setembro e novembro e os frutos maturam entre novembro e dezembro (Pimenta 1998, Lorenzi 2002a), sendo uma espécie zoocórica (Lorenzi 2002a). Em estudo florístico e fitossociológico desenvolvido no PEMSF, foi observado que *C. xanthocarpa* ocupou a 26<sup>a</sup> posição em IVI (Tomé et al. 1999).



**Figura 9.** Exemplos da espécie *Campomanesia xanthocarpa*. Imagens: a = Diego R. Rodrigues; b = Yves R. Bovolenta.

#### 2.2.4 *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms

A espécie *G. integrifolia* (Figura 10) pertence à família Phytolaccaceae e é popularmente conhecida como pau-d'alho. Possui altura que varia entre 15 a 30 m apresentando uma copa ampla e densa com um tronco variando de 70-140 cm de diâmetro (Lorenzi 2002a). Planta heliófila, sendo característica de floresta ombrófila densa e da floresta estacional semidecidual da bacia do Paraná (Lorenzi 2002a). Ocorre principalmente em terrenos profundos e de alta fertilidade, sendo considerada uma espécie bioindicadora de solo fértil. Pode ser encontrada tanto em interior de floresta conservada quanto em floresta secundária (Lorenzi 2002a). Floresce durante os meses de fevereiro a abril e seus frutos alados amadurecem no período de setembro a outubro. A cada dois anos produz uma grande quantidade de sementes viáveis (Lorenzi 2002a). Em estudo florístico e fitossociológico desenvolvido no PEMSF, foi observado que *G. integrifolia* ocupou a 1ª posição em IVI (Tomé et al. 1999).



**Figura 10.** Exemplos da espécie *Gallesia integrifolia*. Imagens: a = Diego R. Rodrigues; b = Yves R. Bovolenta.

#### 2.2.5 *Holocalyx balansae* Micheli

A espécie *H. balansae* (Figura 11) pertence à família Fabaceae e é popularmente conhecida como alecrim-de-campinas. Possui altura que varia entre 15 e 25 m, com tronco fenestrado que varia de 50 a 80 cm de diâmetro (Lorenzi 2002a). Ocorre desde São Paulo até o Rio Grande do Sul, abrangendo a floresta ombrófila densa e a estacional

semidecidual da bacia do Paraná (Lorenzi 2002a). Planta semidecídua, prefere solos rochosos e úmidos de boa fertilidade, mas não encharcados (Lorenzi 2002a). Apesar de ser uma espécie tolerante a sombra, de interior de floresta densa, tolera bem insolação direta. Os frutos são muito apreciados por morcegos e suas sementes são dispersas por animais (Lorenzi 2002a). Floresce mais que uma vez por ano, sendo mais intenso nos meses de outubro a novembro e seus frutos amadurecem principalmente no período de dezembro a fevereiro (Lorenzi 2002a). Em estudo florístico e fitossociológico desenvolvido no PEMSF, foi observado que *H. balansae* ocupou a 35<sup>a</sup> posição em IVI (Tomé et al. 1999).



**Figura 11.** Exemplares da espécie *Holocalyx balansae*. Imagens: a = Diego R. Rodrigues; b = Bianca B. Perina.

#### **2.2.6 *Inga marginata* Willd.**

A espécie *I. marginata* (Figura 12) pertence à família Fabaceae e é popularmente conhecida como ingá feijão. Possui altura que varia entre 5 a 15 m e um tronco variando de 30 a 50 cm de diâmetro (Lorenzi 2002b). É uma planta de subosque, característica de floresta estacional semidecidual, ocorrendo preferencialmente em vegetação secundária, situada em solos úmidos (Lorenzi 2002b). Floresce durante os meses de outubro até fevereiro e os frutos maturam entre março e maio (Lorenzi 2002b), apresentando dispersão zoocórica (Lorenzi 2002b). Em estudo florístico e

fitossociológico desenvolvido no PEMSF, foi observado que *I. marginata* ocupou a 16<sup>a</sup> posição em IVI (Tomé et al. 1999).



**Figura 12.** Exemplos da espécie *Inga marginata*. Imagens: a = Yves R. Bovolenta; b = Bianca B. Perina.

### **2.2.7 *Pachystroma longifolium* (Nees) I. M. Johnst**

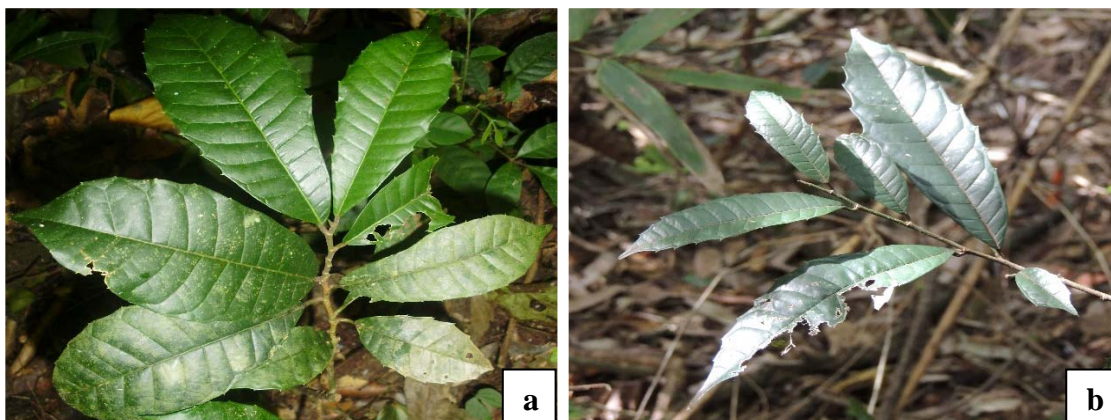
A espécie *P. longifolium* (Figura 13) pertence à família Euphorbiaceae e é popularmente conhecida como canxim. Possui altura que varia de 12 a 18 m e um tronco latescente que varia de 40 a 70 cm de diâmetro (Lorenzi 2002a). É uma espécie arbórea de dossel, tolerante à sombra e perenifólia (Lorenzi 2002a). É uma espécie indiferente quanto às condições físicas de solo, desenvolvendo-se basicamente no interior das florestas densas (Lorenzi 2002a). Floresce durante os meses de outubro a janeiro e seus frutos amadurecendo entre agosto e outubro (Lorenzi 2002a), sendo uma espécie autocórica (Lorenzi 2002a). Em estudo florístico e fitossociológico desenvolvido no PEMSF, foi observado que *P. longifolium* ocupou a 5<sup>a</sup> posição em IVI (Tomé et al. 1999).



**Figura 13.** Exemplos da espécie *Pachystroma longifolium*. Imagens: Yves R. Bovolenta.

### 2.2.8 *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer

A espécie *S. bonplandii* (Figura 14) pertence à família Moraceae e é popularmente conhecida como soroca. Possui altura que varia de 6 a 12 m e com um tronco variando de 15 a 25 cm de diâmetro (Lorenzi 2002b). Planta perenifólia, característica em florestas conservadas do sul do país, principalmente em floresta ombrófila densa (Lorenzi 2002b). É indiferente quanto às condições de solo, podendo ser encontrada também no interior de capoeirões em estágio sucessional avançado, bem como em floresta estacional semidecidual (Lorenzi 2002b). Floresce durante os meses de julho a setembro e os frutos amadurecendo entre novembro e dezembro (Lorenzi 2002b) com dispersão zoocórica (Lorenzi 2002b). A espécie não foi amostrada no estudo florístico e fitossociológico desenvolvidos no PEMSF (Tomé et al. 1999).



**Figura 14.** Exemplos da espécie *Sorocea bonplandii*. Imagens: Yves R. Bovolenta.

### 3. LITERATURA CITADA

- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., MORAES, G., GONÇALVES, J. L. M. & SPAROVEK, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22:711–728.
- ALVES, L. F. & METZGER, J. P. 2006. A regeneração florestal em áreas de floresta secundária na Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP. *Biota Neotropica* 6:1–26.
- ALVES, L. F. & SANTOS, F. A. M. 2002. Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, south-east Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 18:245–260.
- ARCHIBALD, S. & BOND, W. J. 2003. Growing tall vs growing wide: tree architecture and allometry of *Acacia karroo* in forest, savanna, and arid environments. *Oikos* 102:3–14.
- BANIN, L., FELDPAUSCH, T. R., PHILLIPS, O. L., BAKER, T. R., LLOYD, J., AFFUM-BAFFOE, K., ARETS, E. J. M. M., BERRY, N. J., BRADFORD, M., BRIENEN, R. J. W., DAVIES, S., DRESCHER, M., HIGUCHI, N., HILBERT, D. W., HLADIK, A., IIDA, Y., SALIM, K. A., KASSIM, A. R., KING, D. A., LOPEZ-GONZALEZ, G., METCALFE, D., NILUS, R., PEH, K. S. H., REITSMA, J. M., SONKÉ, B., TAEDOUMG, H., TAN, S., WHITE, L., WÖLL, H. & LEWIS, S. L. 2012. What controls tropical forest architecture? Testing environmental, structural and floristic drivers. *Global Ecology and Biogeography* 21:1179–1190.
- BATISTA, N. A., BIANCHINI, E., CARVALHO, E. S. & PIMENTA, J. A. 2014. Architecture of tree species of different strata developing in environments with the same light intensity in a semideciduous forest in southern Brazil. *Acta Botanica Brasilica* 28:34–45.
- BEGON, M., TOWNSEND, C. R. & HARPER, J. L. 2007. *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas* (4a ed.). Artmed Editora, Porto Alegre. 752 pp.
- BIANCHINI, E., ARAÚJO, C. G., GREEN, M. & PIMENTA, J. A. 2013. Demography and structures population of *Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg. (Euphorbiaceae) in flooded areas in Southern Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 56:69–79.
- BIANCHINI, E., POPOLO, R. S., DIAS, M. C. & PIMENTA, J. A. 2003. Diversidade e estrutura de espécies arbóreas em área alagável do município de Londrina, sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 17:405–419.
- BOHLMAN, S. & O'BRIEN, S. 2006. Allometry, adult stature and regeneration requirement of 65 tree species on Barro Colorado Island, Panama. *Journal of Tropical Ecology* 22:123–136.

- BOHLMAN, S. & PACALA, S. 2012. A forest structure model that determines crown layers and partitions growth and mortality rates for landscape - scale applications of tropical forests. *Journal of Ecology* 100:508–518.
- BOND, W. J., HONIG, M. & MAZE, K. E. 1999. Seed size and seedling emergence: an allometric relationship and some ecological implications. *Oecologia* 120:132–136.
- BONGERS, F. & STERCK, F. J. 1998. Architecture and development of rainforest trees: responses to light variation. Pp. 125–162 in Newbery, D. M., Prins, H. H. T. & Brown, N. D. (eds.) *Dynamics of tropical communities: the 37th Symposium of the British Ecological Society*. Blackwell Science, Cambridge.
- BOVOLENTA, Y. R. 2011. Influência do estado de conservação de fragmentos florestais na estrutura de populações de espécies arbóreas de diferentes estratos verticais. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil. 80 pp.
- BROWER, J. E. & ZAR, J. H. 1984. *Field and laboratory methods for general ecology*. (2 ed.). Brown Publishers, Dubuque. 226 pp.
- BURTON, J. I., ZENNER, E. K., FRELICH, L. E. & CORNETT, M. W. 2009. Patterns of plant community structure within and among primary and second-growth northern hardwood forest stands. *Forest Ecology and Management* 258:2556–2568.
- CARREÑO-ROCABADO, G., PEÑA-CLAROS, M., BONGERS, F., ALARCÓN, A., LICONA, J. & POORTER, L. 2012. Effects of disturbance intensity on species and functional diversity in a tropical forest. *Journal of Ecology* 100:1453–1463.
- CAVIGLIONE, J. H., KIIHL, L. R. B., CARAMORI, P. H. & OLIVEIRA, D. 2000. *Cartas climáticas do Estado do Paraná*. IAPAR, Londrina. <http://www.iapar.br/>.
- DEAN, T. J. & LONG, J. N. 1986. Validity of constant-stress and elastic-instability principles of stem formation in *Pinus contorta* and *Trifolium pratense*. *Annals of Botany* 58:833–840.
- EISENLOHR, P. V., OLIVEIRA-FILHO, A. T. & PRADO, J. 2015. The Brazilian Atlantic Forest: new findings, challenges and prospects in a shrinking hotspot. *Biodiversity and Conservation* 24:2129–2133.
- EMBRAPA. 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos* (3a ed.). Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 306 pp.
- GETZIN, S., WIEGAND, T., WIEGAND, K. & HE, F. 2008. Heterogeneity influences spatial patterns and demographics in forest stands. *Journal of Ecology* 96:807–820.
- GRIS, D., TEMPONI, L. G. & DAMASCENO-JUNIOR, G. A. 2014. Structure and floristic diversity of remnant semideciduous forest under varying levels of disturbance. *Acta Botanica Brasilica* 28:569–576.

- GUARIGUATA, M. R. & OSTERTAG, R. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 148:185–206.
- HADDAD, T. M., HERTEL, M. F., BIANCHINI, E. & PIMENTA, J. A. 2016. Architecture of four tree species from different strata of a semideciduous forest in southern Brazil. *Australian Journal of Botany* 64:89–99.
- HEINEMAN, K. D., JENSEN, E., SHAPLAND, A., BOGENRIEF, B., TAN, S., REBARBER, R. & RUSSO, S. E. 2011. The effects of belowground resources on aboveground allometric growth in Bornean tree species. *Forest Ecology and Management* 261:1820–1832.
- IAP. 2015. Plano de manejo do Parque Estadual Mata São Francisco - Volume II - Contextualização, enquadramento e caracterização da Unidade de Conservação. IAP, Curitiba. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/pagina-1395.html>. 283 pp.
- IIDA, Y., POORTER, L., STERCK, F. J., KASSIM, A. R., KUBO, T., POTTS, M. D. & KOHYAMA, T. S. 2012. Wood density explains architectural differentiation across 145 co - occurring tropical tree species. *Functional Ecology* 26:274–282.
- IIDA, Y., POORTER, L., STERCK, F., KASSIM, A. R., POTTS, M. D., KUBO, T. & KOHYAMA, T. S. 2014. Linking size-dependent growth and mortality with architectural traits across 145 co - occurring tropical tree species. *Ecology* 95:353–363.
- IMAI, N., SEINO, T., AIBA, S., TAKYU, M., TITIN, J. & KITAYAMA, K. 2012. Effects of selective logging on tree species diversity and composition of Bornean tropical rain forests at different spatial scales. *Plant Ecology* 213:1413–1424.
- INPE. 2014. *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2012-2013*. Fundação SOS Mata Atlântica/ INPE, São Paulo. 61 pp.
- KING, D. A. 1990a. The adaptive significance of tree height. *The American Naturalist* 135:809–828.
- KING, D. A. 1990b. Allometry of saplings and understorey trees of a Panamanian forest. *Functional Ecology* 4:27–32.
- KING, D. A. 1996. Allometry and life history of tropical trees. *Journal of Tropical Ecology* 12:25–44.
- KING, D. A. & CLARK, D. A. 2011. Allometry of emergent tree species from saplings to above-canopy adults in a Costa Rican rain forest. *Journal of Tropical Ecology* 27:573–579.
- KOBYAMA, T. 1987. Significance of architecture and allometry in saplings. *Functional Ecology* 1:399–404.
- KOBYAMA, T. & HOTTA, M. 1990. Significance of allometry in tropical saplings. *Functional Ecology* 4:515–521.

- KOBYAMA, T., SUZUKI, E., PARTOMIHARDJO, T., YAMADA, T. & KUBO, T. 2003. Tree species differentiation in growth, recruitment and allometry in relation to maximum height in a Bornean mixed dipterocarp forest. *Journal of Ecology* 91:797–806.
- LIEBSCH, D., MARQUES, M. C. M. & GOLDENBERG, R. 2008. How long does the Atlantic Rain Forest take to recover after a disturbance? Changes in species composition and ecological features during secondary succession. *Biological Conservation* 141:1717–1725.
- LORENZI, H. 2002a. *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil*. Vol. 01. Instituto Plantarum, Nova Odessa. 384 pp.
- LORENZI, H. 2002b. *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Vol. 02. Instituto Plantarum, Nova Odessa. 368 pp.
- MAGNAGO, L. F. S., EDWARDS, D. P., EDWARDS, F. A., MAGRACH, A., MARTINS, S. V. & LAURANCE, W. F. 2014. Functional attributes change but functional richness is unchanged after fragmentation of Brazilian Atlantic forests. *Journal of Ecology* 102:475–485.
- MAGNAGO, L. F. S., ROCHA, M. F., MEYER, L., MARTINS, S. V. & MEIRANETO, J. A. A. 2015. Microclimatic conditions at forest edges have significant impacts on vegetation structure in large Atlantic forest fragments. *Biodiversity and Conservation* 24:2305–2318.
- MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J. L. 2008. Allometric variation of shade-tolerant tree species in a Mexican tropical rain forest. *Revista de Biología Neotropical* 5:41–51.
- MCMAHON, T. 1973. Size and Shape in Biology. *Science* 179:1201–1204.
- MURCIA, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 10:58–62.
- MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., FONSECA, G. A. B. & KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853–858.
- NIKLAS, K. J. 1995. Size-dependent allometry of tree height, diameter and trunk-taper. *Annals of Botany* 75:217–227.
- O'BRIEN, S. T., HUBBELL, S. P., SPIRO, P., CONDIT, R. & FOSTER, R. B. 1995. Diameter, height, crown, and age relationship in eight neotropical tree species. *Ecology* 76:1926–1939.
- OSUNKOYA, O. O., OMAR-ALI, K., AMIT, N., DAYAN, J., DAUD, D. S. & SHENG, T. K. 2007. Comparative height–crown allometry and mechanical design in 22 tree species of Kuala Belalong rainforest, Brunei, Borneo. *American Journal of Botany* 94:1951–1962.
- PAULA, L. F. A., NEGREIROS, D., AZEVEDO, L. O., FERNANDES, R. L., STEHMANN, J. R. & SILVEIRA, F. A. O. 2015. Functional ecology as a missing

- link for conservation of a resource-limited flora in the Atlantic forest. *Biodiversity and Conservation* 24:2239–2253.
- PERINA, B. B. 2011. Fenologia de espécies arbóreas de uma floresta estacional semidecidual do Sul do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil. 53 pp.
- PIMENTA, J. A. 1998. Estudo populacional de *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg (Myrtaceae) no Parque Estadual Mata Godoy, Londrina, PR. Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, SP, Brasil. 158 pp.
- POORTER, L., BONGERS, F., STERCK, F. J. & WÖLL, H. 2003. Architecture of 53 rain forest tree species differing in adult stature and shade tolerance. *Ecology* 84:602–608.
- POORTER, L., BONGERS, F., STERCK, F. J. & WÖLL, H. 2005. Beyond the regeneration phase: differentiation of height–light trajectories among tropical tree species. *Journal of Ecology* 93:256–267.
- POORTER, L., BONGERS, L. & BONGERS, F. 2006. Architecture of 54 moist-forest tree species: traits, trade-offs, and functional groups. *Ecology* 87:1289–1301.
- POORTER, L., LIANES, E., HERAS, M. M. & ZAVALA, M. A. 2012. Architecture of Iberian canopy tree species in relation to wood density, shade tolerance and climate. *Plant Ecology* 213:707–722.
- PRIMACK, R. B. & RODRIGUES, E. 2001. *Biologia da Conservação*. Editora Planta, Londrina. 327 pp.
- REZENDE, C. L., UEZU, A., SCARANO, F. R. & ARAUJO, D. S. D. 2015. Atlantic forest spontaneous regeneration at landscape scale. *Biodiversity and Conservation* 24:2255–2272.
- RIBEIRO, M. C., METZGER, J. P., MARTENSEN, A. C., PONZONI, F. J. & HIROTA, M. M. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142:1141–1153.
- RICH, P. M., HELENURM, K., KEARNS, D., MORSE, S. R., PALMER, M. W. & SHORT, L. 1986. Height and stem diameter relationships for dicotyledonous trees and arborescent palms of Costa Rican tropical wet forest. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 1:241–246.
- RODRIGUES, D. R. 2011. Regeneração de espécies em floresta impactada. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil. 91 pp.
- SALLES, I. S. & BUCKERIDGE, M. S. 2014. Alometria e arquitetura de árvores. *Revista da Biologia* 12:17–20.
- SANTO-SILVA, E. E., ALMEIDA, W. R., TABARELLI, M. & PERES, C. A. 2016. Habitat fragmentation and the future structure of tree assemblages in a fragmented Atlantic forest landscape. *Plant Ecology* 217:1129–1140.

- SCARANO, F. R. & CEOTTO, P. 2015. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. *Biodiversity and Conservation* 24:2319–2331.
- SMITH, L. B., DOWNS, R. J. & KLEIN, R. M. 1988. Euforbiáceas In: REITZ, P.R. *Flora ilustrada Catarinense. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues*.
- SOARES-SILVA, L. H. & BARROSO, G. M. 1992. Fitossociologia do estrato arbóreo da floresta na porção norte do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina-PR, Brasil. P. In 'Anais do VIII Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo'. pp. 101-112 (Sociedade Botânica de São Paulo, São Paulo, Brasil).
- SOARES, F. S. & MEDRI, M. E. 2002. Alguns aspectos da colonização da bacia do rio Tibagi. Pp. 69–79 in Medri, M. E., Bianchini, E., Shibata, O. & Pimenta, J. A. (eds.) *A Bacia do rio Tibagi*. Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- SPOSITO, T. C. & SANTOS, F. A. M. 2001. Scaling of stem and crown in eight *Cecropia* (Cecropiaceae) species of Brazil. *American Journal of Botany* 88:939–949.
- STERCK, F. J. 1999. Crown development in tropical rain forest trees in gaps and understorey. *Plant Ecology* 143:89–98.
- STERCK, F. J. & BONGERS, F. 2001. Crown development in tropical rain forest trees: patterns with tree height and light availability. *Journal of Ecology* 89:1–13.
- TABARELLI, M., PINTO, L. P., SILVA, J., HIROTA, M. & BEDE, L. 2005. Challenges and opportunities for biodiversity conservation in the Brazilian Atlantic Forest. *Conservation Biology* 19:695–700.
- THOMAS, S. C. 1996. Asymptotic height as a predictor of growth and allometric characteristics in Malaysian rain forest trees. *American Journal of Botany*:556–566.
- TOMÉ, M., MIGLIORANZA, E., VILHENA, A. H. T. & FONSECA, E. P. 1999. Composição florística e fitossociológica do Parque Estadual Mata São Francisco. *Revista do Instituto Florestal* 11:13–23.
- TOMLINSON, P. B. 1987. Architecture of tropical plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18:1–21.
- TOREZAN, J. M. D., SOUZA, R. F. DE, RUAS, P. M., RUAS, C. F., CAMARGO, E. H. & VANZELA, A. L. L. 2005. Genetic variability of pre and post-fragmentation cohorts of *Aspidosperma polyneuron* Muell. Arg. (Apocynaceae). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48:171–180.
- VICENTE, R. F. 2006. O Parque Estadual Mata dos Godoy. Pp. 13–18 in Torezan, J. M. D. (org.) *Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy*. ITEDES, Londrina.
- VIEILLEDENT, G., COURBAUD, B., KUNSTLER, G., DHÔTE, J.-F. & CLARK, J. S. 2010. Individual variability in tree allometry determines light resource allocation in forest ecosystems: a hierarchical Bayesian approach. *Oecologia* 163:759–773.

- YAMADA, T., NGAKAN, O. P. & SUZUKI, E. 2005. Differences in growth trajectory and strategy of two sympatric congeneric species in an Indonesian floodplain forest. *American Journal of Botany* 92:45–52.
- ZAMA, M. Y., BOVOLENTA, Y. R., CARVALHO, E. S., RODRIGUES, D. R., ARAUJO, C. G., SORACE, M. A. F. & LUZ, D. G. 2012. Florística e síndromes de dispersão de espécies arbustivo-arbóreas no Parque Estadual Mata São Francisco, PR, Brasil. *Hoehnea* 39:369–378.
- ZANELLA, L., BORÉM, R. A. T., SOUZA, C. G., ALVES, H. M. R. & BORÉM, F. M. 2012. Atlantic Forest fragmentation analysis and landscape restoration management scenarios. *Natureza & Conservação* 10:57–63.



## **Capítulo 1**

### **Alometria de indivíduos de espécies arbóreas em sítios com diferentes níveis de perturbação em uma floresta estacional semidecidual do sul do Brasil**

Artigo a ser submetido ao periódico *Journal of Tropical Ecology*

**Alometria de indivíduos de espécies arbóreas em sítios com diferentes níveis de perturbação em uma floresta estacional semidecidual do sul do Brasil**

Rodrigues, Diego Resende<sup>1\*</sup>; Bianchini, Edmilson<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Aluno do Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas; Departamento de Biologia Animal e Vegetal; Centro de Ciências Biológicas; Universidade Estadual de Londrina; Caixa Postal 6001, 86051-970; Londrina - PR - Brasil.

E-mail: <diegorr2001@yahoo.com.br>.

<sup>2</sup> Departamento de Biologia Animal e Vegetal; Centro de Ciências Biológicas; Universidade Estadual de Londrina; Caixa Postal 6001, 86051-970; Londrina - PR - Brasil.

E-mail: <bianchi@uel.br>.

\* Autor para correspondência.

**Resumo:** O presente trabalho objetivou comparar as relações alométricas de oito espécies arbóreas em sítios com diferentes intensidades de exploração antrópica, em um fragmento de floresta estacional semidecidual. As características ambientais dos sítios em questão também foram comparadas. A hipótese é que existem diferenças na arquitetura dos indivíduos das espécies arbóreas entre os sítios com diferentes níveis de degradação e que haverá diferença nas características ambientais dos sítios em razão da exploração antrópica. Foram definidos seis blocos de 3000 m<sup>2</sup>, sendo dois blocos em áreas não exploradas diretamente e quatro blocos com vestígios de exploração antrópica, sendo dois com ausência e dois com dominância por bambus. Todos os indivíduos das oito espécies contidos nos blocos foram marcados e medidos a altura, o diâmetro e a copa. Apenas os blocos em que houve vestígio de exploração antrópica com dominância de bambus apresentou diferença nas características ambientais. A análise dos resultados indicou que a exploração antrópica contribuiu para as diferenças arquiteturais entre as populações e nas características ambientais, alterando a estrutura florestal nos sítios com vestígios de exploração antrópica.

**Palavras-chave:** arquitetura, corte seletivo, distúrbio, floresta tropical, variáveis ambientais.

**Abstract:** This study aimed to compare the allometric relationships of eight tree species in sites with anthropic exploitation evidences and sites with absence of anthropic exploitation evidences in a semideciduous Brazilian forest. We also compare the environmental characteristics of these sites. The hypothesis is there are differences in the tree population architecture in sites that showed anthropic exploitation evidences. We also expect that there are differences in the environmental characteristics in the studied sites. Six blocks of 3000 m<sup>2</sup> were selected, two blocks in areas directly not exploited and four blocks with anthropic exploitation evidences, two with absence of bamboo's dominance and two with bamboo's dominance. All individuals of eight species in the blocks were marked and measured the height, diameter and crown. Only sites with direct anthropic exploitation evidences with bamboo's dominance had different environmental characteristics. The analysis of the results indicated that anthropic exploitation contributed on architectural differences of tree populations and environmental characteristics, changing forest structure in sites with anthropic exploitation evidences.

**Keywords:** architecture, disturbance, environmental variables, selective logging, tropical forest.

## INTRODUÇÃO

A resposta das populações de plantas à exploração antrópica pode seguir por diferentes trajetórias dependendo da intensidade da mesma (Archibald & Bond 2003, Carreño-Rocabado *et al.* 2012). O processo de exploração antrópica em floresta tropical ocorreu e ainda ocorre, principalmente pela retirada de madeira (Liebsch *et al.* 2016), causando alterações na estrutura florestal e nas características ambientais como, por exemplo, luminosidade, solo, serapilheira, temperatura, umidade relativa do ar, etc. Estudos relataram que em partes de fragmentos em que houve exploração antrópica foram observadas maior abertura de dossel, temperaturas mais elevadas e menor umidade do ar e do solo em relação às áreas que não sofreram impacto (Badano *et al.* 2015, Islam *et al.* 2016, Pinto *et al.* 2010). Maior quantidade de serapilheira foi constatada em áreas de estágio sucessional menos avançado, em função das maiores taxas de luminosidade, temperatura e as menores taxas de umidade, que diminuíram a velocidade de decomposição da serapilheira, e isso pode estar relacionado à menor fertilidade de solo nesses locais (Cianciaruso *et al.* 2006). Além das alterações nas características ambientais da floresta, sugere-se também que há empobrecimento na composição de espécies indicadoras de floresta conservada (Pütz *et al.* 2011) e redução na densidade de grandes árvores (Oliveira *et al.* 2008, Osuri *et al.* 2014, Rutishauser *et al.* 2016). A mudança do microclima na floresta reduz também a diversidade de espécies típicas de subosque (Alves & Metzger 2006, Ribeiro *et al.* 2009).

Arquitetura de uma árvore caracteriza-se pela sua forma geral e pela posição espacial de seus componentes (Poorter *et al.* 2003) e o sucesso da planta na floresta é em grande parte determinada pela sua arquitetura (Poorter *et al.* 2003, 2006), pois a

arquitetura determina a captura de luz, a estabilidade e eficiência no crescimento de copa (Poorter *et al.* 2003).

O corte seletivo das grandes árvores reduz a competição para os indivíduos das espécies remanescentes, primariamente por luz (Rutishauser *et al.* 2016, Yamada *et al.* 2014) e secundariamente pelos recursos de solo (Shenkin *et al.* 2015, Vieilledent *et al.* 2010). Árvores em áreas com maior disponibilidade de luz, tal como ocorre em florestas com histórico de exploração antrópica, tendem a apresentar maior expansão de copa em detrimento da altura (Rutishauser *et al.* 2016, Sterck & Bongers 2001). Além disso, estudos demonstraram que árvores que crescem em ambientes com maior luminosidade apresentaram maior investimento em altura em detrimento do diâmetro. Em contrapartida, espécies que cresciam em ambientes mais sombreados apresentaram uma tendência de apresentarem maior investimento em diâmetro em relação à altura (Harja *et al.* 2012, Oliveira *et al.* 2008, Osuri *et al.* 2014, Rutishauser *et al.* 2016).

As variações no tamanho e forma dos indivíduos arbóreos, em resposta às condições ambientais, podem ser expressas quantitativamente através de relações alométricas (Batista *et al.* 2014, Haddad *et al.* 2016, Iida *et al.* 2012, King & Clark 2011, Kohyama 1987, Kohyama *et al.* 2003, Niklas 1995, Poorter *et al.* 2006), sendo base importante para o entendimento das populações (King 1996, Sposito & Santos 2001) e necessárias para a compreensão dos aspectos ecológicos das espécies (Bond *et al.* 1999) em ambientes com histórico de exploração antrópica.

O presente estudo objetivou-se comparar as características ambientais dos sítios com diferentes intensidades de exploração antrópica, além de comparar as relações alométricas de altura-diâmetro-copa de oito espécies arbóreas nos sítios em questão dentro de um fragmento de floresta estacional semidecidual do sul do Brasil. A hipótese é que existem diferenças na arquitetura dos indivíduos de espécies arbóreas localizados

em sítios com diferentes níveis de degradação. Espera-se que as populações em ambientes onde não houve vestígio de exploração antrópica apresentem maiores investimentos em altura e menores investimentos em volume de copa em relação ao diâmetro quando comparadas com espécies dos ambientes onde houve vestígio de exploração antrópica. Nestas áreas com vestígios de exploração antrópica, espera-se que as populações apresentem um menor investimento em altura e um maior investimento em volume de copa em relação ao diâmetro. Prevemos também que haverá diferença nas características ambientais dos sítios em razão da exploração antrópica ocorrida em algumas áreas do fragmento.

## MÉTODOS

O estudo foi conduzido em um fragmento de floresta estacional semidecidual, o Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF) (23°15'39"S e 50°45'45"W, centro do fragmento), situado no norte do estado do Paraná, Brasil, com extensão de 832,58 ha. O fragmento apresenta histórico de intensa interferência antrópica e elevado grau de degradação pelo corte de madeira e extração do palmitero (*Euterpe edulis* Mart.), que se estendeu até 1994, quando a área foi transformada em Parque Estadual.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região caracteriza-se como Cfa, (Alvares *et al.* 2013), apresentando uma precipitação média entre 1200 a 1400 mm, distribuída irregularmente durante o ano (Caviglione *et al.* 2000). As unidades de solo predominantes são Latossolo Vermelho Eutroférico e Nitossolo Vermelho Eutroférico, com inclusões de Chernossolos e Gleissolos considerados como solos de alta fertilidade (Embrapa 2006).

As oito espécies estudadas foram selecionadas pelo índice de valor de importância (IVI) (Brower & Zar 1984) em levantamentos fitossociológicos de floresta estacional semidecidual realizados na região (Soares-Silva & Barroso 1992, Tomé *et al.*

1999, Zama *et al.* 2012). As oito espécies selecionadas foram: *Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg. (Euphorbiaceae), *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. (Apocynaceae), *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg. (Myrtaceae), *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms (Phytolaccaceae), *Holocalyx balansae* Micheli (Fabaceae), *Inga marginata* Willd. (Fabaceae), *Pachystroma longifolium* (Nees) I.M. Johnst. (Euphorbiaceae) e *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer. (Moraceae).

No interior desse fragmento foram demarcados seis blocos de 0,3 ha (50 m × 60 m) cada, subdivididas em trinta parcelas de 100 m<sup>2</sup> (10 m × 10 m). Dois blocos (A1 e A2) foram alocados em áreas não exploradas diretamente, onde são observados exemplares adultos de *A. polyneuron*, ausência de base de troncos serrados e ausência de dominância por bambus. Dois blocos (B1 e B2) onde há base de troncos serrados de *A. polyneuron*, presença de indivíduos adultos dessa espécie nas proximidades e ausência de dominância por bambus. Os últimos dois blocos (C1 e C2) foram alocados em áreas dominadas por bambus, onde há base de troncos serrados de *A. polyneuron* e ausência de indivíduos adultos dessa espécie. A distância entre os blocos é de no mínimo 500 m.

Nos blocos, todos os indivíduos das oito espécies foram amostrados e mensurados o diâmetro à altura do solo (DAS, cm), a altura total (H - distância do solo à última folhagem da copa, m), a altura de fuste (distância do solo até a primeira ramificação, m) e os dois maiores diâmetros da seção transversal da copa (DI e DII, m). As plantas que apresentavam quebra foram excluídas da análise de relações alométricas. Para os indivíduos maiores foi mensurada a circunferência à altura do solo (C, m) e posteriormente transformada em DAS, utilizando a fórmula:  $DAS = C/\delta$ . As medidas em campo foram realizadas com auxílio de paquímetro e trena métrica e trena laser. A

profundidade de copa (PC) foi calculada subtraindo-se a altura do fuste da altura total. A área horizontal de copa (AHC, m<sup>2</sup>) (Bongers *et al.* 1988) e a área vertical de copa (AVC, m<sup>2</sup>) (Sterck *et al.* 2003) foram estimadas como uma elipse, utilizando-se as equações:

$$AHC = 0,25 \times \pi \times DI \times DII,$$

$$AVC = 0,25 \times \pi \times \left( \frac{DI+DII}{2} \right) \times PC.$$

O volume de copa (VC, m<sup>3</sup>) foi calculado assumindo a forma de um semi-elipsóide (Antin *et al.* 2013), por meio da fórmula:

$$VC = \frac{1}{2} \times \frac{4}{3} \times AHC \times PC.$$

As relações alométricas calculadas foram: DAS×H, PC×DAS, AHC×DAS, AVC×DAS, VC×DAS, PC×H, AHC×H, AVC×H e VC×H. Apenas na relação alométrica DAS×H, os dados foram transformados em logaritmos de base 10, por ser mais apropriado para comparar as dimensões de copa sem a transformação dos dados (King & Clark 2011).

A comparação das relações alométricas foi realizada entre as populações da mesma espécie nos diferentes sítios por meio da regressão SMA (*Standardized Major Axis*) mais indicadas para este tipo de estudo, pois as variáveis não são dependentes entre si. Para expressar essas relações, a seguinte equação foi usada:

$$y = \alpha + \beta x.$$

Nas comparações alométricas, as diferenças podem ocorrer em  $\hat{\alpha}$  (inclinação da reta) ou em  $\hat{\alpha}$  (intercepto em y). Se o  $\hat{\alpha}$  difere entre populações, a população com maior valor de  $\hat{\alpha}$  possui um maior incremento em y por incremento de x. Se os valores de  $\hat{\alpha}$  não diferem, mas houver diferença em  $\hat{\alpha}$ , aquelas com maior valor de  $\hat{\alpha}$  possuirão um maior

valor de  $y$  para o mesmo valor de  $x$  (Kohyama & Hotta 1990, Yamada *et al.* 2005). As comparações de  $\hat{a}$  e  $\acute{a}$  foram calculadas em nível de significância de 5% (Warton *et al.* 2006). Testes de multi-comparações (com  $P < 0,05$ ) foram feitos para verificar quais relações foram diferentes. Os testes foram realizados no software Rstudio versão 0.99.893 (RStudio Team 2016) utilizando o pacote *smatr* (Warton *et al.* 2012).

Para verificar se as características ambientais diferiam entre os sítios, foram feitas análises química e física do solo e comparados o volume e a massa de serapilheira, a umidade do solo, a temperatura, a umidade relativa do ar e o índice de cobertura vegetal.

Para a análise do solo foram coletadas, aleatoriamente, 15 amostras da camada superficial do solo (0-20 cm) por bloco, após a retirada da serapilheira. Após homogeneização das amostras simples, foram obtidas três amostras compostas por bloco, que foram enviadas ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) para análise química de rotina que inclui: concentração de fósforo, carbono orgânico, cálcio, magnésio, potássio, soma de bases, grau de acidez (pH), acidez potencial, saturação total das bases e capacidade de troca dos cátions. Também foi efetuada a análise física (granulométrica) do solo.

Coletou-se, aleatoriamente, 15 amostras de serapilheira em cada bloco com o auxílio de um gabarito de madeira de  $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$  ( $0,25 \text{ m}^2$ ). Após a coleta, mediu-se o volume em um balde de coleta graduado e a serapilheira foi armazenada em sacos de papel, seca em estufa a  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  e pesada em balança semi-analítica.

A umidade do solo foi mensurada durante as épocas chuvosa (fevereiro 2014) e seca (setembro 2014) em todas as parcelas de cada bloco, com um aparelho medidor de umidade de solo Fieldscout TDR 100 Moisture Meter. Foi realizada uma medida em cada vértice da parcela e calculou-se a média das quatro medidas.

A temperatura (°C) e a umidade relativa do ar (%) foram registradas por 18 coletores de dados eletrônicos automáticos (Hobo Data Logger), instalados nos seis blocos de estudo (três coletores em cada bloco), durante um período de nove meses (novembro 2013 a setembro 2014).

O índice de cobertura vegetal (ICV) foi obtido durante as épocas chuvosa (fevereiro 2014) e seca (setembro 2014) em todas as parcelas de cada bloco, utilizando-se um densiômetro de cobertura esférico (Lemmon 1956). O índice foi calculado a partir de quatro medidas feitas à altura do peito no centro de cada parcela, sendo cada uma voltada para um dos diferentes vértices, calculando-se a média dessas quatro medidas.

A análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) foram utilizados para os dados de umidade de solo e temperatura. Para as demais variáveis foram utilizados os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e de multicomparação ( $P < 0,05$ ), pois os dados, mesmo transformados, não alcançaram os pressupostos de normalidade e homocedasticidade. Os testes foram realizados no software Rstudio versão 0.99.893 (RStudio Team 2016) utilizando os pacotes `pgirmess` para Kruskal-Wallis e multicomparação e `stats` para análise de variância.

## **RESULTADOS**

Todos os blocos, exceto A2, apresentaram solos com mais de 60% de argila, sendo caracterizados como solos de textura muito argilosa (Tabela 1). A análise química do solo demonstrou que os blocos C1 e C2 apresentaram menor fertilidade em relação aos outros blocos, demonstrado pela maior acidez no solo, menores médias de cálcio, magnésio, potássio, capacidade de troca de cátions, soma das bases e saturação por bases. Apenas carbono e fósforo não apresentaram diferença entre os blocos (Tabela 1).

Os blocos A1 e A2 apresentaram maiores valores de umidade de solo e os menores valores foram registrados nos blocos C1 e C2. As maiores médias de umidade

de solo na estação seca são justificadas pelas chuvas ocorridas nas semanas anteriores ao período da coleta (Tabela 1).

O índice de cobertura vegetal (ICV) tanto na estação chuvosa (verão) quanto na estação seca (inverno) nos blocos C1 e C2 foi menor do que os registrados para os demais blocos, que não diferiram entre si (Tabela 1). O bloco B1 apresentou menores valores de ICV na estação seca devido a uma tempestade ocorrida na área durante a época de coleta de dados que gerou danos no dossel.

Os blocos C1 e C2 apresentaram maior volume de serapilheira em relação aos demais blocos e maior massa de serapilheira em relação aos blocos A1 e A2 (Tabela 1). Embora a temperatura média não tenha diferido entre blocos, as maiores temperaturas máxima (aproximadamente 2°C superior) e maiores amplitudes térmicas diárias foram observadas nos blocos C1 e C2, em relação aos outros blocos. A umidade relativa média do ar não apresentou diferença entre os blocos (Tabela 1).

Foram amostrados 12.253 indivíduos das oito espécies nos seis blocos. No bloco B1 foi observado o maior número de indivíduos (3.322) e os blocos C1 e C2 os menores (486 e 392 respectivamente). Nos blocos C1 e C2 as espécies *A. concolor*, *C. xathocarpa*, *H. balansae*, *P. longifolium* e *S. bonplandii* não apresentaram número suficiente de indivíduos para calcular as regressões lineares. Para *A. polyneuron* e *G. integrifolia* foi possível realizar apenas a regressão DAS×H.

Para a relação DAS×H, as populações de *A. polyneuron* e de *P. longifolium* do bloco A2 foram as que tiveram maior investimento em DAS para um mesmo incremento em altura, quando comparada com os demais blocos, enquanto que para *G. integrifolia*, as populações dos blocos A2 e B2 foram as que apresentaram os maiores valores de  $\hat{a}$ . As populações dos blocos C1 e C2 de *I. marginata* apresentaram maiores valores de  $\hat{a}$  em relação aos blocos B1 e A1. O maior valor de  $\hat{a}$  foi observado para a

população do bloco B1 de *A. concolor* em relação às demais populações, enquanto que para *S. bonplandii*, foi a população do bloco B2 que apresentou o maior valor de  $\hat{a}$ . Um menor valor de  $\hat{a}$  foi observado para a população de *H. balansae* do bloco A1. Não foi observada diferença no padrão de alocação de recursos entre as populações de *C. xanthocarpa* para a relação DAS $\times$ H (Tabela 2).

Foi observado menor investimento em PC por incremento de DAS para as populações de *A. concolor* no bloco B2, de *A. polyneuron* nos blocos A1 e A2 e de *G. integrifolia* nos blocos A1, A2 e B2, enquanto que para *S. bonplandii*, os valores de  $\hat{a}$  foram maiores para os blocos A1 e A2, quando comparados aos demais blocos. A população de *I. marginata* do bloco A2 apresentou um menor incremento em PC por aumento de DAS quando comparados com as demais populações analisadas, similar à população de *H. balansae* do bloco A2, quando comparada com as demais populações analisadas. A população de *P. longifolium* do bloco A1 e de *C. xanthocarpa* do bloco B1 apresentaram maior incremento em PC por aumento de DAS, quando comparada com demais populações (Tabela 2).

Para as populações de *A. polyneuron* dos blocos A1 e A2, foram observados maiores incrementos em AHC e AVC por aumento tanto em DAS quanto em altura, em relação aos blocos B1 e B2. Para as populações de *C. xanthocarpa* e *H. balansae* dos blocos A1 e A2, em geral, foram observados maiores incrementos em AVC e AHC por aumento tanto em DAS quanto em altura, em relação aos blocos B1 e B2. Em *I. marginata*, as populações dos blocos C1 e C2 apresentaram os menores valores de AHC e AVC por aumento tanto em DAS quanto em altura, em relação aos demais blocos. As populações de *A. concolor* dos blocos A1 e A2 apresentaram maior incremento de AHC por aumento de DAS em relação às populações aos blocos B1 e B2, enquanto que a população do bloco B1 apresentou o menor investimento em AHC e AVC por

incremento de altura. As populações de *G. integrifolia* e de *S. bonplandii* do bloco B1 apresentaram os menores investimentos em AHC e AVC por incremento tanto em DAS quanto em H. Para *P. longifolium*, as populações dos blocos A1 e A2 apresentaram os maiores incrementos em AVC por aumento tanto em DAS quanto em altura (Tabela 2).

Para as populações de *A. polyneuron*, *C. xanthocarpa*, *H. balansae*, *P. longifolium* e *S. bonplandii* dos blocos A1 e A2, foram observados maiores incrementos em VC por aumento tanto em DAS quanto em altura, em relação aos blocos B1 e B2. As populações de *A. concolor* dos blocos A1 e A2 apresentaram maior incremento de VC por aumento de DAS em relação às demais populações analisadas. No entanto, as populações de *A. concolor* dos blocos A1 e B1 apresentaram maiores valores de VC para a mesma altura, quando comparadas às populações dos blocos A2 e B2. A população de *G. integrifolia* do bloco A1 apresentou maior incremento de VC por aumento de DAS em relação às demais populações analisadas, enquanto que as populações dos blocos B2 e A2 apresentaram maiores incrementos de VC por aumento de H, em relação às demais populações analisadas. Em *I. marginata*, a população do bloco A2 apresentou maior incremento em VC por aumento tanto em DAS quanto altura em relação às demais populações analisadas. Além disso, as populações de *I. marginata* dos blocos C1 e C2 apresentaram os menores incrementos em VC por aumento em DAS quanto em altura em relação às demais populações analisadas (Tabela 2).

Todas as populações apresentaram altos valores de  $r^2$  (coeficiente de determinação) para a relação DAS×H. Para as demais relações alométricas de copa observou-se uma maior variabilidade nos valores de  $r^2$  principalmente para as populações de *I. marginata* (Tabela 2).

**Tabela 1.** Média ( $\pm$  EP) das variáveis ambientais analisadas nas seis áreas de estudo no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, Brasil. A1 e A2= blocos não explorados diretamente, onde são observados exemplares adultos de *Aspidosperma polyneuron*, ausência de base de troncos serrados e ausência de dominância por bambus; B1 e B2 = blocos com presença de base de troncos serrados de *A. polyneuron*, presença de indivíduos adultos dessa espécie nas proximidades e ausência de dominância por bambus; C1 e C2 blocos alocados em áreas dominadas por bambus, onde há base de troncos serrados de *A. polyneuron* e ausência de indivíduos adultos dessa espécie. Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si (ANOVA e Teste de Tukey; Kruskal-Wallis e multicomparação,  $P < 0,05$ ); EP = Erro padrão;  $n$  = número de amostras; ICV= Índice de Cobertura Vegetal. AE = Análise estatística; KW = Kruskal-Wallis; AOV = ANOVA.

Variáveis ambientais	Unidade de medida	Áreas						AE	n
		A1	A2	B1	B2	C1	C2		
Areia	%	5,00 $\pm$ 0,58 <sup>b</sup>	13,67 $\pm$ 3,18 <sup>a</sup>	6,00 $\pm$ 1,00 <sup>b</sup>	4,33 $\pm$ 0,88 <sup>b</sup>	3,67 $\pm$ 0,33 <sup>b</sup>	5,33 $\pm$ 0,33 <sup>b</sup>	KW	3
Argila	%	63,33 $\pm$ 0,33 <sup>ab</sup>	54,67 $\pm$ 4,91 <sup>b</sup>	66,00 $\pm$ 1,53 <sup>a</sup>	68,00 $\pm$ 2,64 <sup>a</sup>	70,33 $\pm$ 0,33 <sup>a</sup>	69,00 $\pm$ 2,08 <sup>a</sup>	KW	3
Silte	%	32,67 $\pm$ 0,33 <sup>a</sup>	32,00 $\pm$ 1,53 <sup>a</sup>	28,00 $\pm$ 0,58 <sup>ab</sup>	27,67 $\pm$ 1,76 <sup>ab</sup>	26,00 $\pm$ 0,58 <sup>b</sup>	25,67 $\pm$ 1,76 <sup>b</sup>	KW	3
Fósforo	mgdm <sup>-3</sup>	7,56 $\pm$ 0,42 <sup>a</sup>	25,30 $\pm$ 9,95 <sup>a</sup>	11,23 $\pm$ 1,84 <sup>a</sup>	14,60 $\pm$ 4,70 <sup>a</sup>	5,43 $\pm$ 0,09 <sup>a</sup>	5,60 $\pm$ 0,66 <sup>a</sup>	KW	3
Carbono	g dm <sup>-3</sup>	35,24 $\pm$ 0,038 <sup>a</sup>	36,21 $\pm$ 2,30 <sup>a</sup>	32,66 $\pm$ 1,69 <sup>a</sup>	34,68 $\pm$ 2,59 <sup>a</sup>	29,88 $\pm$ 0,80 <sup>a</sup>	29,27 $\pm$ 1,50 <sup>a</sup>	KW	3
pH	-	6,20 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	6,27 $\pm$ 0,22 <sup>a</sup>	6,60 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	6,53 $\pm$ 0,22 <sup>a</sup>	5,30 $\pm$ 0,06 <sup>b</sup>	5,43 $\pm$ 0,39 <sup>b</sup>	KW	3
Acidez potencial	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	3,18 $\pm$ 0,14 <sup>ab</sup>	3,40 $\pm$ 0,44 <sup>ab</sup>	2,74 $\pm$ 0,12 <sup>b</sup>	3,08 $\pm$ 0,49 <sup>b</sup>	5,63 $\pm$ 0,29 <sup>a</sup>	5,46 $\pm$ 1,10 <sup>a</sup>	KW	3
Cálcio	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	15,87 $\pm$ 0,22 <sup>a</sup>	17,52 $\pm$ 2,18 <sup>a</sup>	16,25 $\pm$ 1,22 <sup>a</sup>	15,49 $\pm$ 1,63 <sup>a</sup>	10,04 $\pm$ 0,66 <sup>b</sup>	10,50 $\pm$ 1,90 <sup>b</sup>	KW	3
Magnésio	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4,04 $\pm$ 0,20 <sup>a</sup>	3,60 $\pm$ 0,17 <sup>a</sup>	2,74 $\pm$ 0,18 <sup>ab</sup>	3,72 $\pm$ 0,24 <sup>a</sup>	2,49 $\pm$ 0,27 <sup>b</sup>	2,16 $\pm$ 0,20 <sup>b</sup>	KW	3
Potássio	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,50 $\pm$ 0,04 <sup>b</sup>	0,90 $\pm$ 0,13 <sup>a</sup>	0,68 $\pm$ 0,10 <sup>a</sup>	0,63 $\pm$ 0,08 <sup>ab</sup>	0,19 $\pm$ 0,04 <sup>c</sup>	0,21 $\pm$ 0,06 <sup>c</sup>	KW	3
Soma das bases	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	20,41 $\pm$ 0,32 <sup>a</sup>	22,02 $\pm$ 2,05 <sup>a</sup>	19,67 $\pm$ 1,20 <sup>ab</sup>	19,85 $\pm$ 1,89 <sup>ab</sup>	12,72 $\pm$ 0,94 <sup>b</sup>	12,87 $\pm$ 2,09 <sup>b</sup>	KW	3
Capacidade de troca de cátions	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	23,59 $\pm$ 0,19 <sup>a</sup>	25,42 $\pm$ 1,62 <sup>a</sup>	22,40 $\pm$ 1,11 <sup>ab</sup>	22,93 $\pm$ 1,52 <sup>ab</sup>	18,34 $\pm$ 0,66 <sup>b</sup>	18,33 $\pm$ 1,13 <sup>b</sup>	KW	3
Saturação por bases	%	86,51 $\pm$ 0,68 <sup>a</sup>	86,32 $\pm$ 2,48 <sup>a</sup>	87,68 $\pm$ 1,10 <sup>a</sup>	86,24 $\pm$ 2,77 <sup>a</sup>	69,12 $\pm$ 2,75 <sup>b</sup>	69,47 $\pm$ 7,10 <sup>b</sup>	KW	3
Umidade de solo –estação chuvosa	%	15,94 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>	15,38 $\pm$ 0,22 <sup>ab</sup>	14,99 $\pm$ 0,22 <sup>b</sup>	14,90 $\pm$ 0,24 <sup>b</sup>	10,06 $\pm$ 0,16 <sup>c</sup>	9,74 $\pm$ 0,18 <sup>c</sup>	AOV	120
Umidade de solo –estação seca	%	21,90 $\pm$ 0,47 <sup>a</sup>	19,38 $\pm$ 0,57 <sup>b</sup>	18,95 $\pm$ 0,43 <sup>b</sup>	15,75 $\pm$ 0,27 <sup>c</sup>	11,60 $\pm$ 0,19 <sup>d</sup>	12,62 $\pm$ 0,20 <sup>d</sup>	AOV	120
ICV–estação chuvosa	%	95,74 $\pm$ 0,26 <sup>a</sup>	96,33 $\pm$ 0,23 <sup>a</sup>	94,21 $\pm$ 0,64 <sup>a</sup>	93,95 $\pm$ 0,42 <sup>a</sup>	85,21 $\pm$ 1,58 <sup>b</sup>	82,67 $\pm$ 1,58 <sup>b</sup>	KW	30
ICV–estação seca	%	90,74 $\pm$ 1,41 <sup>a</sup>	94,10 $\pm$ 0,39 <sup>a</sup>	83,78 $\pm$ 1,99 <sup>b</sup>	91,98 $\pm$ 0,71 <sup>a</sup>	85,89 $\pm$ 1,47 <sup>b</sup>	85,16 $\pm$ 1,95 <sup>b</sup>	KW	30
Volume de Serapilheira	L	6,60 $\pm$ 0,35 <sup>b</sup>	6,00 $\pm$ 0,12 <sup>b</sup>	7,67 $\pm$ 0,37 <sup>ab</sup>	7,10 $\pm$ 0,37 <sup>b</sup>	8,37 $\pm$ 0,57 <sup>a</sup>	9,33 $\pm$ 0,36 <sup>a</sup>	KW	30
Massa de Serapilheira	g	622,12 $\pm$ 43,70 <sup>b</sup>	539,54 $\pm$ 23,73 <sup>b</sup>	722,40 $\pm$ 41,34 <sup>ab</sup>	701,72 $\pm$ 73,50 <sup>ab</sup>	794,02 $\pm$ 48,84 <sup>a</sup>	744,14 $\pm$ 30,56 <sup>a</sup>	KW	30
Temperatura do Ar	°C	20,34 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>	19,94 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>	20,19 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	20,27 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	20,19 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>	20,34 $\pm$ 0,07 <sup>a</sup>	KW	7308
Umidade Relativa do Ar	%	91,07 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	91,79 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	91,57 $\pm$ 0,16 <sup>a</sup>	92,50 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	90,07 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	88,88 $\pm$ 0,19 <sup>a</sup>	KW	7308

**Tabela 2.** Estimativa das regressões lineares (SMA) para as espécies amostradas em seis áreas no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, Brasil. DAS - diâmetro a altura do solo (cm); H - altura total (m); PC - profundidade da copa (m); VC - volume de copa (m<sup>3</sup>). Apenas na relação DAS×H os dados foram transformados em log de base 10.  $\hat{a}$  = intercepto em y;  $\hat{\alpha}$  = inclinação da reta  $r^2$  = coeficiente de determinação; A1 e A2 = blocos não explorados diretamente, onde são observados exemplares adultos de *Aspidosperma polyneuron*, ausência de base de troncos serrados e ausência de dominância por bambus; B1 e B2 = blocos com presença de base de troncos serrados de *A. polyneuron*, presença de indivíduos adultos dessa espécie nas proximidades e ausência de dominância por bambus; C1 e C2 = blocos alocados em áreas dominadas por bambus, onde há base de troncos serrados de *A. polyneuron* e ausência de indivíduos adultos dessa espécie. Letras iguais na mesma coluna para cada relação alométrica indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de multicomparação,  $P=0,05$ ); ns, não significativa ( $P>0,05$ ); – = não apresentaram número suficiente para calcular as regressões lineares.

<i>Actinostemon concolor</i>															
Área	$\hat{a}$	$\hat{\alpha}$	$r^2$	$\hat{a}$	$\hat{\alpha}$	$r^2$	$\hat{a}$	$\hat{\alpha}$	$r^2$	$\hat{a}$	$\hat{\alpha}$	$r^2$	$\hat{a}$	$\hat{\alpha}$	$r^2$
	logDAS × logH			PC × DAS			AHC × DAS			AVC × DAS			VC × DAS		
A1	0,04	0,98 <sup>b</sup>	0,95	-0,07	0,54 <sup>a</sup>	0,81	-1,53	1,53 <sup>a</sup>	0,79	-1,75	1,69 <sup>a</sup>	0,76	-6,25	4,72 <sup>a</sup>	0,60
A2	0,01	0,95 <sup>c</sup>	0,95	0,01	0,54 <sup>a</sup>	0,83	-1,67	1,54 <sup>a</sup>	0,80	-1,53	1,54 <sup>bc</sup>	0,85	-6,19	4,43 <sup>a</sup>	0,68
B1	0,01	1,05 <sup>a</sup>	0,92	-0,01	0,54 <sup>a</sup>	0,88	-1,35	1,38 <sup>b</sup>	0,81	-1,55	1,56 <sup>b</sup>	0,82	-5,56	4,34 <sup>ab</sup>	0,60
B2	0,02	1,00 <sup>b</sup>	0,94	0,08	0,49 <sup>b</sup>	0,82	-1,70	1,47 <sup>ab</sup>	0,81	-1,57	1,44 <sup>c</sup>	0,85	-6,08	3,87 <sup>b</sup>	0,74
C1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
C2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Actinostemon concolor</i>															
Área	$\hat{a}$	$\hat{A}$	$r^2$	$\hat{a}$	$\hat{\alpha}$	$r^2$	$\hat{a}$	$\hat{\alpha}$	$r^2$	$\hat{a}$	$\hat{\alpha}$	$r^2$	$\hat{a}$	$\hat{\alpha}$	$r^2$
	PC × H			AHC × H			AVC × H			VC × H					
A1	-0,15	0,61 <sup>b</sup>	0,87	-1,71	1,70 <sup>b</sup>	0,75	-1,95	1,88 <sup>ab</sup>	0,75	-6,62 <sup>a</sup>	5,16 <sup>ns</sup>	0,58			
A2	-0,21	0,65 <sup>a</sup>	0,91	-2,29	1,86 <sup>a</sup>	0,61	-2,15	1,86 <sup>ab</sup>	0,75	-7,61 <sup>b</sup>	5,16 <sup>ns</sup>	0,49			
B1	-0,11	0,62 <sup>b</sup>	0,89	-1,61	1,57 <sup>c</sup>	0,74	-1,84	1,78 <sup>b</sup>	0,75	-6,73 <sup>a</sup>	5,16 <sup>ns</sup>	0,51			
B2	-0,26	0,68 <sup>a</sup>	0,88	-2,74	2,02 <sup>a</sup>	0,65	-2,59	1,98 <sup>a</sup>	0,71	-8,49 <sup>b</sup>	5,16 <sup>ns</sup>	0,53			
C1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–			
C2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–			









**Tabela 2.** Continuação

<i>Inga marginata</i>															
Área	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>
	logDAS × logH			PC × DAS			AHC × DAS			AVC × DAS			VC × DAS		
A1	-0,05	0,90 <sup>b</sup>	0,94	-0,10	0,64 <sup>a</sup>	0,52	-0,50	0,82 <sup>b</sup>	0,64	-0,35	0,62 <sup>b</sup>	0,64	-0,59	0,89 <sup>c</sup>	0,54
A2	-0,05	0,93 <sup>ab</sup>	0,96	0,08	0,38 <sup>c</sup>	0,88	-1,45	1,89 <sup>a</sup>	0,78	-1,22	1,61 <sup>a</sup>	0,84	-6,08	6,59 <sup>a</sup>	0,71
B1	-0,05	0,83 <sup>b</sup>	0,85	-0,28	0,83 <sup>a</sup>	0,53	-0,38	0,63 <sup>c</sup>	0,74	0,31	0,55 <sup>b</sup>	0,75	-0,34	0,54 <sup>d</sup>	0,67
B2	-0,07	0,90 <sup>ab</sup>	0,94	-0,04	0,48 <sup>b</sup>	0,65	-1,88	1,95 <sup>a</sup>	0,80	-1,38	1,48 <sup>a</sup>	0,73	-5,35	4,74 <sup>b</sup>	0,57
C1	0,11	1,06 <sup>a</sup>	0,88	-0,11	0,55 <sup>b</sup>	0,69	-0,01	0,04 <sup>d</sup>	0,10	-0,01	0,04 <sup>c</sup>	0,43	0,00	0,01 <sup>e</sup>	0,13
C2	0,05	1,04 <sup>a</sup>	0,85	-0,11	0,61 <sup>a</sup>	0,24	0,00	0,00 <sup>d</sup>	0,24	0,00	0,02 <sup>c</sup>	0,24	0,00	0,00 <sup>e</sup>	0,24
<i>Inga marginata</i>															
Área	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>			
	PC × H			AHC × H			AVC × H			VC × H					
A1	-0,03	0,47 <sup>b</sup>	0,65	-0,42	0,60 <sup>c</sup>	0,67	-0,28	0,45 <sup>c</sup>	0,72	-0,50	0,65 <sup>c</sup>	0,57			
A2	-0,11	0,48 <sup>b</sup>	0,81	-2,39	2,39 <sup>a</sup>	0,61	-2,03	2,05 <sup>a</sup>	0,59	-9,35	8,35 <sup>a</sup>	0,47			
B1	-0,18	0,62 <sup>a</sup>	0,71	-0,30	0,47 <sup>c</sup>	0,54	-0,25	0,41 <sup>c</sup>	0,64	-0,27	0,40 <sup>c</sup>	0,50			
B2	-0,03	0,44 <sup>b</sup>	0,72	-2,19	1,76 <sup>b</sup>	0,70	-1,61	1,34 <sup>b</sup>	0,66	-6,09	4,29 <sup>b</sup>	0,48			
C1	0,11	0,65 <sup>a</sup>	0,79	-0,01	0,05 <sup>d</sup>	0,10	-0,01	0,04 <sup>d</sup>	0,47	0,00	0,01 <sup>d</sup>	0,13			
C2	-0,09	0,55 <sup>ab</sup>	0,48	0,00	0,00 <sup>d</sup>	0,48	0,00	0,02 <sup>d</sup>	0,48	0,00	0,00 <sup>d</sup>	0,48			





## DISCUSSÃO

A previsão de que os sítios em que houve vestígio de exploração antrópica apresentassem características ambientais alteradas em relação aos sítios considerados conservados, foi apenas em parte confirmada, pois foram encontradas diferenças apenas nos blocos dominados por bambus (C1 e C2), uma vez que houve similaridades entre os demais blocos (A1, A2, B1 e B2). Isto sugere que o fragmento apresenta um mosaico de manchas com diferentes intensidades de perturbação, similar a outros fragmentos estudados em que ocorreu algum tipo de distúrbio (Bennett & Saunders 2010, Gris *et al.* 2014, Rezende *et al.* 2015, Ribeiro *et al.* 2009, Vieira & Scariot 2008). No PEMSF, os blocos A1 e A2 podem ser considerados áreas do fragmento com características de floresta conservada, os blocos C1 e C2 considerados como blocos degradados e os blocos B1 e B2 considerado blocos com características intermediárias em relação aos blocos anteriormente citados.

Apesar do fragmento não ter mais indícios de ação antrópica após sua transformação em Unidade de Conservação, algumas de suas áreas estão dominadas por bambu, o que provavelmente afeta o processo de sucessão e regeneração natural dessas áreas. Os blocos B1 e B2 apresentaram-se, quanto as características ambientais, similares aos blocos A1 e A2, sugerindo que nos blocos B1 e B2, a intensidade da exploração foi menor, em relação a C1 e C2, e as clareiras formadas a partir do corte de madeira se fecharam, evitando assim a dominância por espécies oportunistas.

Observou-se que as áreas dominadas por bambu apresentaram menor fertilidade de solo, resultado que corrobora outros estudos em áreas dominadas por bambus em razão da exploração antrópica (Ferreira 2014, Lima *et al.* 2012, Tripathi *et al.* 2006). Embora se saiba que o recurso limitante mais importante em uma floresta tropical seja a luminosidade (Poorter *et al.* 2003, 2006), os recursos de solo podem alterar a arquitetura

das espécies, mesmo que em uma menor escala (Atger & Edelin 1994a, b, Harja *et al.* 2012, Rutishauser *et al.* 2016, Shenkin *et al.* 2015, Vieilledent *et al.* 2010).

Sugere-se que os maiores valores de volume e massa de serapilheira nos blocos C1 e C2, ocorreram devido ao bambu que produz uma maior quantidade de serapilheira proveniente da queda de suas folhas, e a menor umidade do solo nessas áreas, o que pode ter contribuído para a redução na decomposição da serapilheira. A menor umidade nas áreas C1 e C2, provavelmente, foram provocadas pela maior disponibilidade de luz em razão da maior abertura do dossel desses sítios, o que aumentou a evaporação do solo, conforme sugerido por Ospina *et al.* (2015).

Nos sítios dominados por bambus, observou-se a ausência ou a redução drástica no número de algumas espécies indicadoras de floresta madura, tais como *A. concolor*, *A. polyneuron*, *C. xanthocarpa*, *H. balansae*, *S. bonplandii*, dentre outras, sugerindo que houve substituição de espécies das fases finais da sucessão por espécies características de início de sucessão florestal (Joly *et al.* 2014, Leão *et al.* 2014, Liebsch *et al.* 2016, Lôbo *et al.* 2011, Murthy *et al.* 2016, Scarano & Ceotto 2015), como *I. marginata*, espécie de subosque característica de floresta secundária (Lorenzi 2002), demonstrando ser uma espécie com alta plasticidade arquitetural o que permite ocupar diferentes nichos (Batista *et al.* 2014), até mesmo ambientes degradados.

A maioria dos indivíduos nessas áreas apresentou algum tipo de quebra, sugerindo que as árvores estavam expostas à forte estresse mecânico. Embora não quantificado, observou-se também uma grande quantidade de lianas na copa dos indivíduos maiores nessas áreas. Mesmo alocando recursos para crescimento em diâmetro para suportar este tipo de estresse, ocorreram quebras que afetaram todos os indivíduos (adultos e juvenis). Além disso, é provável que o excesso de bambu possa estar relacionado a essas quebras, visto que em estudos em áreas dominadas por bambu

constatou-se evidências de repetidas quebras de caule e copa causadas pelo excesso de bambu na área (Carvalho *et al.* 2013, Silveira 1999). A grande concentração de bambus exerce uma carga de peso excessiva sobre as plantas próximas, ocorrendo as quebras ou até mesmo a queda das mesmas e, sem essa sustentação, os bambus tendem a se inclinar e também se quebram, caindo sobre as plantas menores, formando um bloqueio à passagem de luz e suprimindo o recrutamento de novos indivíduos (Ferreira 2014).

Esperava-se com a abertura de grandes clareiras causadas pela exploração antrópica e a consequente diminuição na competição por luz, espaço e em menor escala pelos recursos de solo (Harja *et al.* 2012, Rutishauser *et al.* 2016, Shenkin *et al.* 2015, Vieilledent *et al.* 2010), que as populações de espécies remanescentes realocassem os recursos para crescimento de copa e em diâmetro em detrimento da altura em comparação com as populações das áreas conservadas. Em áreas conservadas, a luz é um recurso limitado e as espécies tendem a investir em crescimento em altura em detrimento do diâmetro, tornando o caule mais esbelto. Isso permite um maior acesso à luz, porém reduzindo sua margem de segurança contra quebra mecânica (Harja *et al.* 2012, King 1990a, 1996, King & Clark 2011, Osunkoya *et al.* 2007, Poorter *et al.* 2003, 2006, Rutishauser *et al.* 2016, Vieilledent *et al.* 2010). Porém, para a maioria das populações dos blocos conservados, em geral, observou-se maiores investimentos em expansão de copa por aumento tanto em diâmetro quanto em altura em relação às populações dos blocos em que houve vestígios de exploração antrópica. Um maior investimento em copa aumenta a interceptação de luz e maior assimilação de carbono aumentando as chances de sobrevivência. Além disso, copas maiores e mais profundas aumentam a probabilidade de interceptação de luz lateral (Archibald & Bond 2003, Haddad *et al.* 2016, King & Clark 2011, Osunkoya *et al.* 2007), o que pode maximizar a área fotossinteticamente ativa (King 1990b, Kohyama & Hotta 1990, Martínez-Sánchez

2008, Osunkoya *et al.* 2007). Isto pode resultar em vantagem competitiva por meio do sombreamento de seus competidores (Bongers & Sterck 1998, O'Brien *et al.* 1995, Vieilledent *et al.* 2010).

Uma grande variedade na forma das copas foi observada, indicada pelos baixos coeficientes de determinação ( $r^2$ ). Esta grande variação na forma da copa pode estar relacionada à plasticidade fenotípica intraespecífica. Diferenças intraespecíficas na arquitetura da copa aumentam a capacidade de captação de luz vertical ao longo do dossel, constituindo-se em importante vantagem adaptativa, além de contribuir para a coexistência de espécies na floresta (Batista *et al.* 2014, King & Clark 2011, Kohyama 1993, Poorter *et al.* 2003, 2006, Vieilledent *et al.* 2010).

A grande maioria das populações apresentou para a relação  $DAS \times H$  valores de  $\hat{a} = 1,0$ , refletindo um tipo de crescimento isométrico (Alves & Santos 2002, Rich *et al.* 1986). Nestes blocos, maioria dos indivíduos apresentaram altura abaixo de um metro e nessa faixa de altura as condições de luz são ainda mais limitantes (Kohyama 1987, Portela & Santos 2003, Sposito & Santos 2001). Indivíduos que estão sujeitos a condições ambientais de baixa luminosidade investem predominantemente no crescimento vertical, para saírem dessa condição adversa (Kohyama 1987, Kohyama & Hotta 1990, Portela & Santos 2003, Rich *et al.* 1986, Sposito & Santos 2001).

As populações de *G. integrifolia* dos blocos A2 e B2 e a população de *P. longifolium* do bloco A2 apresentaram valores de  $\hat{a} > 1,5$ , indicando maiores investimentos em diâmetro que em altura, em relação as demais populações. As três populações apresentaram grande parte dos indivíduos amostrados com diâmetros acima dos 0,30 m e poucos indivíduos juvenis. Indivíduos adultos já estabelecidos no dossel ou acima dele investem predominantemente em aumento de área e volume de copa, reflexo de maior exposição à luz, aumentando a captação de luz para fotossíntese,

consequentemente o diâmetro do caule também aumenta para suportar mecanicamente o maior peso da copa, fugindo assim do limite de quebra mecânica (King 1990b, 1996, Poorter *et al.* 2003, 2005, 2006, Sposito & Santos 2001, Sterck 1999, Sterck & Bongers 2001). As populações de *G. integrifolia* e *P. longifolium* do bloco A2, estão sob condições de solo litólico e arenoso, caracteristicamente porosos (Embrapa 2006, Ronquim 2010). Em áreas de solo predominantemente arenoso e de pouca profundidade, árvores tendem a apresentar um maior investimento em crescimento em diâmetro com a principal função de aumentar a margem de segurança contra a quebra devido a maior porosidade do solo (Aiba & Kohyama 1997, Yamada *et al.* 2000).

A pequena variação na relação DAS×H em todas as espécies, indicada pelo alto valor de coeficiente de determinação, pode estar relacionada às suas histórias filogenéticas, sugerindo que os fatores genéticos podem ter um papel restritivo na alometria dessas espécies (Portela & Santos 2003).

Apesar dos blocos A1, A2, B1 e B2 não terem apresentado diferenças nas características ambientais, sugere-se que as diferenças nas relações alométricas entre as populações foi causada pela exploração antrópica pretérita, causado pelo corte seletivo de determinadas espécies. Uma das principais espécies alvo de corte seletivo, *A. polyneuron* apresentou aumento nos investimentos em diâmetro e copa após ultrapassar o dossel (Haddad *et al.* 2016). A retirada de indivíduos de grande porte, como ocorreu nos blocos B1 e B2 contribuiu para menor investimento em volume de copa em relação às populações dos blocos conservados. Não há registros de quais espécies foram alvos do corte seletivo, mas as espécies com menores investimentos em volume de copa nos blocos B1 e B2, como *H. balansae*, também podem ter sofrido o mesmo processo de exploração. As populações de *A. concolor* e *S. bonplandii*, espécies características de subosque, apresentaram maior investimento em volume de copa e maior número de

indivíduos acima de 6 m de altura nos blocos conservados. Esses indivíduos, de ambas as espécies, apresentaram maior investimento em expansão de copa a partir dos 6 m de altura (Haddad *et al.* 2016), permitindo maior interceptação de luz e, conseqüentemente, ganho de carbono, aumentando a probabilidade de sobrevivência em um ambiente onde a luz é um recurso limitante.

As populações de *I. marginata* dos blocos degradados, dominados por bambu, se caracterizaram por apresentarem os menores investimentos em área e volume de copa. A maioria dos indivíduos amostrados nesses blocos (81%) era menor que 0,50 m de altura. O fato dessas populações apresentarem arquitetura semelhante sugere que nessa fase do crescimento as variáveis ecológicas e genéticas podem ser bastante restritivas e terem um papel importante na arquitetura dos indivíduos de menor altura, principalmente por que essas populações estão sujeitas a condições ambientais adversas. No caso dos blocos dominados por bambu desse estudo, a menor disponibilidade de recursos do solo pode ter papel importante na redução no investimento em copa.

O presente estudo sugere que a exploração antrópica, ocorrida com intensidades distintas no PEMSF, teve influência nas diferenças arquiteturais das populações de plantas e nas diferenças ambientais entre os sítios estudados. As diferenças nas relações alométricas, entre os sítios de estudo, principalmente entre os blocos A1 e A2 comparados com B1 e B2, demonstram que a arquitetura de uma planta não é apenas o reflexo da condição presente sob a qual está crescendo, mas sim o resultado de fatores genéticos e principalmente ambientais que atuaram desde as fases iniciais de desenvolvimento (Archibald & Bond 2003). Portanto, as diferenças arquiteturais podem ser decorrentes da exploração antrópica pretérita, visto que os quatro blocos apresentaram características ambientais similares. Embora tenha cessado a ação antrópica após a transformação do PEMSF em Unidade de Conservação, percebe-se

ainda as consequências da exploração antrópica pretérita nos sítios em que houve vestígio de exploração.

### Literatura citada

- AIBA, S. I. & KOHYAMA, T. 1997. Crown architecture and life-history traits of 14 tree species in a warm-temperate rain forest: significance of spatial heterogeneity. *Journal of Ecology* 1:611–624.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., MORAES, G., GONÇALVES, J. L. M. & SPAROVEK, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22:711–728.
- ALVES, L. F. & METZGER, J. P. 2006. A regeneração florestal em áreas de floresta secundária na Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP. *Biota Neotropica* 6:1–26.
- ALVES, L. F. & SANTOS, F. A. M. 2002. Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, south-east Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 18:245–260.
- ANTIN, C., PÉLISSIER, R., VINCENT, G. & COUTERON, P. 2013. Crown allometries are less responsive than stem allometry to tree size and habitat variations in an Indian monsoon forest. *Trees* 27:1485–1495.
- ARCHIBALD, S. & BOND, W. J. 2003. Growing tall vs growing wide: tree architecture and allometry of *Acacia karroo* in forest, savanna, and arid environments. *Oikos* 102:3–14.
- ATGER, C. & EDELIN, C. 1994a. Premières données sur l'architecture comparée des systèmes racinaires et caulinaires. *Canadian Journal of Botany* 72:963–975.
- ATGER, C. & EDELIN, C. 1994b. Stratégies d'occupation du milieu souterrain par les systèmes racinaires des arbres. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)* 49:343–356.
- BADANO, E. I., SAMOUR-NIEVA, O. R., FLORES, J. & DOUTERLUNGNE, D. 2015. Microclimate and seeding predation as drivers of tree recruitment in human-disturbed oak forests. *Forest Ecology and Management* 356:93–100.
- BATISTA, N. A., BIANCHINI, E., CARVALHO, E. S. & PIMENTA, J. A. 2014. Architecture of tree species of different strata developing in environments with the same light intensity in a semideciduous forest in southern Brazil. *Acta Botanica Brasílica* 28:34–45.
- BENNETT, A. F. & SAUNDERS, D. A. 2010. Habitat fragmentation and landscape change. Pp. 88–106 in Sodhi, N. S. & Ehrlich, P. R. (eds.). *Conservation biology for all*. Oxford University Press, Oxford.
- BOND, W. J., HONIG, M. & MAZE, K. E. 1999. Seed size and seedling emergence: an allometric relationship and some ecological implications. *Oecologia* 120:132–136.
- BONGERS, F., POPMA, J., CASTILLO, J. M. & CARABIAS, J. 1988. Structure and floristic composition of the lowland rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. *Vegetatio* 74:55–80.
- BONGERS, F. & STERCK, F. J. 1998. Architecture and development of rainforest trees: responses to light variation. Pp. 125–162 in Newbery, D. M., Prins, H. H. T. & Brown, N. D. (eds.). *Dynamics of tropical communities: the 37th Symposium of the British Ecological Society*. Blackwell Science, Cambridge.

- BROWER, J. E. & ZAR, J. H. 1984. *Field and laboratory methods for general ecology*. (2 ed.). Brown Publishers, Dubuque. 226 pp.
- CARREÑO-ROCABADO, G., PEÑA-CLAROS, M., BONGERS, F., ALARCÓN, A., LICONA, J. & POORTER, L. 2012. Effects of disturbance intensity on species and functional diversity in a tropical forest. *Journal of Ecology* 100:1453–1463.
- CARVALHO, A. L., NELSON, B. W., BIANCHINI, M. C., PLAGNOL, D., KUPLICH, T. M. & DALY, D. C. 2013. Bamboo-dominated forests of the southwest Amazon: detection, spatial extent, life cycle length and flowering waves. *Plos One* 8:1–13.
- CAVIGLIONE, J. H., KIIHL, L. R. B., CARAMORI, P. H. & OLIVEIRA, D. 2000. *Cartas climáticas do Estado do Paraná*. IAPAR, Londrina. <http://www.iapar.br/>.
- CIANCIARUSO, M. V., PIRES, J. S. R., DELITTI, W. B. C. & SILVA, É. F. L. P. 2006. Litter fall and leaf decomposition in cerradão Jataí Reserve, municipality of Luiz Antônio, São Paulo State, Brazil. *Acta Botanica Brasilica* 20:49–59.
- EMBRAPA. 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos* (3a ed.). Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 306 pp.
- FERREIRA, E. J. L. 2014. O bambu é um desafio para a conservação e o manejo de florestas no sudoeste da Amazônia. *Ciência e Cultura* 66:46–51.
- GRIS, D., TEMPONI, L. G. & DAMASCENO-JUNIOR, G. A. 2014. Structure and floristic diversity of remnant semideciduous forest under varying levels of disturbance. *Acta Botanica Brasilica* 28:569–576.
- HADDAD, T. M., HERTEL, M. F., BIANCHINI, E. & PIMENTA, J. A. 2016. Architecture of four tree species from different strata of a semideciduous forest in southern Brazil. *Australian Journal of Botany* 64:89–99.
- HARJA, D., VINCENT, G., MULIA, R. & VAN NOORDWIJK, M. 2012. Tree shape plasticity in relation to crown exposure. *Trees* 26:1275–1285.
- IIDA, Y., POORTER, L., STERCK, F. J., KASSIM, A. R., KUBO, T., POTTS, M. D. & KOHYAMA, T. S. 2012. Wood density explains architectural differentiation across 145 co-occurring tropical tree species. *Functional Ecology* 26:274–282.
- ISLAM, M., SALIM, S. H., KAWSAR, M. H. & RAHMAN, M. 2016. The effect of soil moisture content and forest canopy openness on the regeneration of *Dipterocarpus turbinatus* CF Gaertn. (Dipterocarpaceae) in a protected forest area of Bangladesh. *Tropical Ecology* 57:455–464.
- JOLY, C. A., METZGER, J. P. & TABARELLI, M. 2014. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. *New Phytologist* 204:459–473.
- KING, D. A. 1990a. Allometry of saplings and understorey trees of a Panamanian forest. *Functional Ecology* 4:27–32.
- KING, D. A. 1990b. The adaptive significance of tree height. *The American Naturalist* 135:809–828.

- KING, D. A. 1996. Allometry and life history of tropical trees. *Journal of Tropical Ecology* 12:25–44.
- KING, D. A. & CLARK, D. A. 2011. Allometry of emergent tree species from saplings to above-canopy adults in a Costa Rican rain forest. *Journal of Tropical Ecology* 27:573–579.
- KOBYAMA, T. 1987. Significance of architecture and allometry in saplings. *Functional Ecology* 1:399–404.
- KOBYAMA, T. 1993. Size-structured tree populations in gap-dynamic forest- the forest architecture hypothesis for the stable coexistence of species. *Journal of Ecology*:131–143.
- KOBYAMA, T. & HOTTA, M. 1990. Significance of allometry in tropical saplings. *Functional Ecology* 4:515–521.
- KOBYAMA, T., SUZUKI, E., PARTOMIHARDJO, T., YAMADA, T. & KUBO, T. 2003. Tree species differentiation in growth, recruitment and allometry in relation to maximum height in a Bornean mixed dipterocarp forest. *Journal of Ecology* 91:797–806.
- LEÃO, T. C. C., FONSECA, C. R., PERES, C. A. & TABARELLI, M. 2014. Predicting extinction risk of Brazilian Atlantic forest angiosperms. *Conservation Biology* 28:1349–1359.
- LEMMON, P. E. 1956. A spherical densiometer for estimating forest overstory density. *Forest Science* 2:314–320.
- LIEBSCH, D., MAÇANEIRO, J. P., MARCON, A. K. & GALVÃO, F. 2016. Influência de impactos antrópicos em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista em Santa Catarina. *Pesquisa Florestal Brasileira* 36:277–287.
- LIMA, R. A. F., ROTHER, D. C., MULER, A. E., LEPSCH, I. F. & RODRIGUES, R. R. 2012. Bamboo overabundance alters forest structure and dynamics in the Atlantic Forest hotspot. *Biological Conservation* 147:32–39.
- LÔBO, D., LEÃO, T., MELO, F. P. L., SANTOS, A. M. M. & TABARELLI, M. 2011. Forest fragmentation drives Atlantic forest of northeastern Brazil to biotic homogenization. *Diversity and Distributions* 17:287–296.
- LORENZI, H. 2002. *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Vol.02. Instituto Plantarum, Nova Odessa. 368 pp.
- MAGNAGO, L. F. S., ROCHA, M. F., MEYER, L., MARTINS, S. V. & MEIRANETO, J. A. A. 2015. Microclimatic conditions at forest edges have significant impacts on vegetation structure in large Atlantic forest fragments. *Biodiversity and Conservation* 24:2305–2318.
- MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J. L. 2008. Allometric variation of shade-tolerant tree species in a Mexican tropical rain forest. *Revista de Biología Neotropical* 5:41–51.
- MURTHY, I. K., BHAT, S., SATHYANARAYAN, V., PATGAR, S., BEERAPPA, M., BHAT, P. R., BHAT, D. M., RAVINDRANATH, N. H., KHALID, M. A. & PRASHANT, M. 2016. Vegetation structure and composition of tropical evergreen

- and deciduous forests in Uttara Kannada District, Western Ghats under different disturbance regimes. *Tropical Ecology* 57:77–88.
- NIKLAS, K. J. 1995. Size-dependent allometry of tree height, diameter and trunk-taper. *Annals of Botany* 75:217–227.
- O'BRIEN, S. T., HUBBELL, S. P., SPIRO, P., CONDIT, R. & FOSTER, R. B. 1995. Diameter, height, crown, and age relationship in eight neotropical tree species. *Ecology* 76:1926–1939.
- OLIVEIRA, M. A., SANTOS, A. M. M. & TABARELLI, M. 2008. Profound impoverishment of the large-tree stand in a hyper-fragmented landscape of the Atlantic forest. *Forest Ecology and Management* 256:1910–1917.
- OSPINA, K. R., BRIONES, O. & PÉREZ-GARCÍA, B. 2015. Spore germination of three tree fern species in response to tight, water potential, and canopy openness. *American Fern Journal* 105:59–72.
- OSUNKOYA, O. O., OMAR-ALI, K., AMIT, N., DAYAN, J., DAUD, D. S. & SHENG, T. K. 2007. Comparative height–crown allometry and mechanical design in 22 tree species of Kuala Belalong rainforest, Brunei, Borneo. *American Journal of Botany* 94:1951–1962.
- OSURI, A. M., KUMAR, V. S. & SANKARAN, M. 2014. Altered stand structure and tree allometry reduce carbon storage in evergreen forest fragments in India's Western Ghats. *Forest Ecology and Management* 329:375–383.
- PINTO, S. R. R., MENDES, G., SANTOS, A. M. M., DANTAS, M., TABARELLI, M. & MELO, F. P. L. 2010. Landscape attributes drive complex spatial microclimate configuration of Brazilian Atlantic forest fragments. *Tropical Conservation Science* 3:389–402.
- POORTER, L., BONGERS, F., STERCK, F. J. & WÖLL, H. 2003. Architecture of 53 rain forest tree species differing in adult stature and shade tolerance. *Ecology* 84:602–608.
- POORTER, L., BONGERS, F., STERCK, F. J. & WÖLL, H. 2005. Beyond the regeneration phase: differentiation of height–light trajectories among tropical tree species. *Journal of Ecology* 93:256–267.
- POORTER, L., BONGERS, L. & BONGERS, F. 2006. Architecture of 54 moist-forest tree species: traits, trade-offs, and functional groups. *Ecology* 87:1289–1301.
- PORTELA, R. C. Q. & SANTOS, F. A. M. 2003. Alometria de plântulas e jovens de espécies arbóreas: copa x altura. *Biota Neotropica* 3:1–5.
- PÜTZ, S., GROENEVELD, J., ALVES, L. F., METZGER, J. P. & HUTH, A. 2011. Fragmentation drives tropical forest fragments to early successional states: a modelling study for Brazilian Atlantic forests. *Ecological Modelling* 222:1986–1997.
- REZENDE, C. L., UEZU, A., SCARANO, F. R. & ARAUJO, D. S. D. 2015. Atlantic forest spontaneous regeneration at landscape scale. *Biodiversity and Conservation* 24:2255–2272.

- RIBEIRO, M. C., METZGER, J. P., MARTENSEN, A. C., PONZONI, F. J. & HIROTA, M. M. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142:1141–1153.
- RICH, P. M., HELENURM, K., KEARNS, D., MORSE, S. R., PALMER, M. W. & SHORT, L. 1986. Height and stem diameter relationships for dicotyledonous trees and arborescent palms of Costa Rican tropical wet forest. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 1:241–246.
- RONQUIM, C. C. 2010. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (Embrapa)* 8:1–26.
- RSTUDIO TEAM. 2016. *RStudio: Integrated Development for R, Version 0.99.893*. Rstudio, Boston. <https://www.rstudio.com/>.
- RUTISHAUSER, E., HÉRAULT, B., PETRONELLI, P. & SIST, P. 2016. Tree height reduction after selective logging in a Tropical Forest. *Biotropica* 48:285–289.
- SCARANO, F. R. & CEOTTO, P. 2015. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. *Biodiversity and Conservation* 24:2319–2331.
- SHENKIN, A., BOLKER, B., PEÑA-CLAROS, M., LICONA, J. C. & PUTZ, F. E. 2015. Fates of trees damaged by logging in Amazonian Bolivia. *Forest Ecology and Management* 357:50–59.
- SILVEIRA, M. 1999. Ecological aspects of bamboo-dominated forest in southwestern Amazonia: an ethnoscience perspective. *Ecotropica* 5:213–216.
- SOARES-SILVA, L. H. & BARROSO, G. M. 1992. Fitossociologia do estrato arbóreo da floresta na porção norte do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina-PR, Brasil. P. In *Anais do VIII Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo*. pp. 101-112 (Sociedade Botânica de São Paulo, São Paulo, Brasil).
- SPOSITO, T. C. & SANTOS, F. A. M. 2001. Scaling of stem and crown in eight *Cecropia* (Cecropiaceae) species of Brazil. *American Journal of Botany* 88:939–949.
- STERCK, F. J. 1999. Crown development in tropical rain forest trees in gaps and understorey. *Plant Ecology* 143:89–98.
- STERCK, F. J. & BONGERS, F. 2001. Crown development in tropical rain forest trees: patterns with tree height and light availability. *Journal of Ecology* 89:1–13.
- STERCK, F., MARTINÉZ-RAMOS, M., DYER-LEAL, G., RODRÍGUEZ-VELAZQUEZ, J. & POORTER, L. 2003. The consequences of crown traits for the growth and survival of tree saplings in a Mexican lowland rainforest. *Functional Ecology* 17:194–200.
- TOMÉ, M., MIGLIORANZA, E., VILHENA, A. H. T. & FONSECA, E. P. 1999. Composição florística e fitossociológica do Parque Estadual Mata São Francisco. *Revista do Instituto Florestal* 11:13–23.
- TRIPATHI, S. K., SUMIDA, A., SHIBATA, H., ONO, K., UEMURA, S., KODAMA, Y. & HARA, T. 2006. Leaf litterfall and decomposition of different above-and belowground parts of birch (*Betula ermanii*) trees and dwarf bamboo (*Sasa*

- kurilensis*) shrubs in a young secondary forest in Northern Japan. *Biology and Fertility of Soils* 43:237–246.
- VIEILLEDENT, G., COURBAUD, B., KUNSTLER, G., DHÔTE, J.-F. & CLARK, J. S. 2010. Individual variability in tree allometry determines light resource allocation in forest ecosystems: a hierarchical Bayesian approach. *Oecologia* 163:759–773.
- VIEIRA, D. L. M. & SCARIOT, A. 2008. Environmental variables and tree population structures in deciduous forests of central Brazil with different levels of logging. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 51:419–431.
- WARTON, D. I., DUURSMA, R. A., FALSTER, D. S. & TASKINEN, S. 2012. SMATR 3 – an R package for estimation and inference about allometric lines. *Methods in Ecology and Evolution* 3:257–259.
- WARTON, D. I., WRIGHT, I. J., FALSTER, D. S. & WESTOBY, M. 2006. Bivariate line - fitting methods for allometry. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 81:259–291.
- YAMADA, T., NGAKAN, O. P. & SUZUKI, E. 2005. Differences in growth trajectory and strategy of two sympatric congeneric species in an Indonesian floodplain forest. *American Journal of Botany* 92:45–52.
- YAMADA, T., YAMAKURA, T. & LEE, H. S. 2000. Architectural and allometric differences among *Scaphium* species are related to microhabitat preferences. *Functional Ecology* 14:731–737.
- YAMADA, T., YOSHIOKA, A., HASHIM, M., LIANG, N. & OKUDA, T. 2014. Spatial and temporal variations in the light environment in a primary and selectively logged forest long after logging in Peninsular Malaysia. *Trees* 28:1355–1365.
- ZAMA, M. Y., BOVOLENTA, Y. R., CARVALHO, E. S., RODRIGUES, D. R., ARAUJO, C. G., SORACE, M. A. F. & LUZ, D. G. 2012. Florística e síndromes de dispersão de espécies arbustivo-arbóreas no Parque Estadual Mata São Francisco, PR, Brasil. *Hoehnea* 39:369–378.

## **Anexo I**

### **Instructions for contributors: Journal of Tropical Ecology**

Potential contributors are advised that careful attention to the details below will greatly assist the Editor and thus speed the processing of their manuscripts. Poorly prepared manuscripts will be returned to authors.

#### **Scope of the journal**

Journal of Tropical Ecology publishes papers in the important and now established field of the ecology of tropical regions. Papers may deal with terrestrial, freshwater and strand/coastal tropical ecology, and both those devoted to the results of original research as well as those which form significant reviews will be considered. Papers normally should not exceed 6000 words of main text. Short Communications are acceptable: they should not exceed four printed pages in total length.

#### **Manuscript Preparation**

All manuscripts must be submitted online via the website:

<http://mc.manuscriptcentral.com/jte>

Detailed instructions for submitting your manuscript online can be found at the submission website by clicking on the 'Instructions and Forms' link in the top right of

the screen; and then clicking on the 'Author Submission Instructions' icon on the following page.

The Editor will acknowledge receipt of the manuscript, provide it with a manuscript reference number and assign it to reviewers. The reference number of the manuscript should be quoted in all correspondence with Journal of Tropical Ecology Office and Publisher.

Submission of a manuscript implies that it has been approved in its final form by all the named authors, that it reports on unpublished work and that it has not been published or concurrently submitted for publication, in whole or in part, elsewhere. Papers are first inspected for suitability by the Editor or an editorial board member. Those suitable papers are then critically reviewed by usually two or three expert persons. On their advice the Editor provisionally accepts, or rejects, the paper. If acceptance is indicated the manuscript is usually returned to the author for revision. In some cases a resubmission is invited and on receipt of the new version, the paper may be sent to a third referee. If the author does not return the revised or resubmitted version within six months the paper will be classified as rejected. Final acceptance is made when the manuscript has been satisfactorily revised.

### **Language**

All papers should be written in English, and spelling should generally follow The Concise Oxford Dictionary of Current English. Abstracts in other languages will be printed if the author so desires together with an abstract in English. All abstracts must be provided by the author.

Cambridge Core recommends that authors have their manuscripts checked by an English language native speaker before submission; this will ensure that submissions

are judged at peer review exclusively on academic merit. We list a number of third-party services specializing in language editing and / or translation, and suggest that authors contact as appropriate. Use of any of these services is voluntary, and at the author's own expense. [www.cambridge.org/core/services/authors/language-services](http://www.cambridge.org/core/services/authors/language-services)

### **Preparation of the manuscript**

Authors are strongly advised to consult a recent issue of the JTE to acquaint themselves with the general layout of articles. You can view a free sample issue of the journal at [www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology](http://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology).

Manuscripts should be prepared according to the following structure:

Page 1. ***Title page***. This should contain (a) the full title, preferably of less than 20 words and usually containing the geographical location of the study; (b) a running title of not more than 48 letters and spaces; (c) a list of up to 10 key words, separated by commas, in alphabetical order suitable for international retrieval systems; (d) the full name of each author; (e) the name of the institution in which the work was carried out; and (f) the present email address of the author to whom PDF proofs should be sent.

Page 2. ***Abstract***. This should be a single paragraph, in passive mode, no more than 200 words long, concise summary of the paper intelligible on its own in conjunction with the title, without abbreviations or references.

Page 3. ***et seq.*** The main body of the text may contain the following sections in the sequence indicated: (a) Introduction, (b) Methods, (c) Results, (d) Discussion, (e) Acknowledgements, (f) Literature Cited, (g) Appendices, (h) Tables, (i) Legends to

Figures. An extra section between (a) and (b) for Study Site or Study Species might be necessary.

Main headings should be in capital type and centred; sub-headings should be ranged left and in bold. A *Short Communication* has a title, abstract and keywords but no section headings until Acknowledgements and item Literature Cited.

Acknowledgements should be brief. *Notes* should be avoided if at all possible; any notes will be printed at the end of the paper and not as footnotes.

Tables (preferably in MS Word, they must not be submitted as images) should be provided either at the end of the manuscript or as separate files. Tables should be numbered consecutively with Arabic numerals and every table should be cited at least once in the text, in consecutive order.

Figures should be submitted as separate files in TIF or EPS format but captions to figures should be supplied on a separate sheet at the end of the main manuscript. All figures must be cited in consecutive order.

The page size should be set to A4 and the text should be in a font size of 12 or greater throughout. Double spacing must also be used throughout, allowing wide margins (about 3 cm) on all sides. Main text pages should be numbered.

### *Scientific names*

The complete Latin name (genus, species and authority) must be given in full for every organism when first mentioned in the text unless a standard nomenclatural reference is available which can be cited. Authorities might alternatively appear in Tables where they are first used. Names of taxa at generic rank and below should be in italics.

### ***Units of measurement***

Measurements must be in metric units; if not, metric equivalents must also be given. The minus index (m-1, mm-3) should be used except where the unit is an object, e.g. 'per tree', not 'tree-1'). Use d-1, wk-1, mo-1 and y-1 for per day, per week, per month and per year.

### ***Abbreviations***

In general, abbreviations should be avoided. Numbers one to nine should be spelled out and number 10 onwards given in figures. Dates should follow the sequence day-month-year, e.g. 1 January 1997. The 24-hour clock should be used, e.g. 16h15.

### ***Appendix material***

Unavoidably large tables or lists disrupt the flow and layout of the main text and are best included in appendices. Appendices are numbered consecutively with Arabic numerals and must be cited in numerical order in the text. Very large appendices may be published online only. In this case, the material is not copy edited or typeset but loaded directly as supplied by the authors (see below). All appendix material must conform to the journal style. Publication of appendix material remains at the discretion of the editor. Appendices are not normally included with short communications.

### **Literature cited**

References to literature in the text should conform to the 'name-and-date' system. For example, direct citation as: Benzing (2000) or Moses & Semple (2011); or parenthetically (Holsteet *al.* 1981). If a number of references are cited at one place in the text, they should not be arranged chronologically, but alphabetically by first author,

with single-author references before those with two authors, which in turn come before those with three or more authors, e.g. (Chan 2008, Dubois & Blanc 1999, Silva & Almeida 2011, Silva *et al.* 2009, Williams 2003). In the reference list citations should take the forms given below. References with two or more authors should be arranged first alphabetically then chronologically. The names of cited journals should be given in full. Certain foreign language citations may be translated into English, and this should always be done where the English alphabet is not used (e.g. Chinese, Hindi, Thai).

BENZING, D. H. 2000. Bromeliaceae - profile of an adaptive radiation. Cambridge University Press, Cambridge. 690 pp.

HOLSTE, E. K., KOBE, R. K. & VRIESENDORP, C. F. 2011. Seedling growth responses to soil resources in the understory of a wet tropical forest. *Ecology* 92:1828-1838.

MOSES, K. & SEMPLE, S. 2011. Primary seed dispersal by the black-and-white ruffed lemur (*Vareciavariegata*) in the Manombo forest, south-east Madagascar. *Journal of Tropical Ecology* 27:1-10.

ROHWER, S., BUTLER, L. K. & FROEHLICH, D. R. 2005. Ecology and demography of east- west differences in molt scheduling of Neotropical migrant passerines. Pp. 87-105 in Greenberg, R. & Marra, P. P. (eds.). *Birds of two worlds: the ecology and evolution of migration*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Use the following as contractions in text: 'pers. obs.', 'pers. comm.', 'unpubl. data', 'in press'. Authors should double-check that all references in the text correspond exactly to those in the Literature Cited section.

## **Tables and figures**

### **Tables**

Tables should be in a simple form, with one set of column and row headings per table. Tables in parts with different column headings are not acceptable. These should be split into two or more separate tables. Column headings should be brief, with units of measurement in parentheses. Vertical lines should not be used to separate columns. Avoid presenting tables that are too large to be printed across the page; table width must not exceed 80 characters, including spaces between words, figures and columns. Each table should be numbered consecutively with Arabic numerals. They can either be submitted as separate files (Microsoft Word) or appended to the main manuscript text file. Each table must be accompanied by a clear and concise caption. All 4 tables and figures must be cited in the text.

### **Figures and Illustrations**

Please ensure that your figures are saved at final publication size and are in our recommended file formats. Following these guidelines will result in high quality images being reproduced in both the print and the online versions of the Journal.

Authors should ensure that all figures, whether line drawings or photographs, clarify or reduce the length of the text. Figures should be submitted in TIF or EPS format at approximate final publication size. Resolution of artwork should be at the following minimum resolutions: line artwork (black & white), 1200 dpi; combination, i.e. line/tone (greyscale), 800 dpi; black-and-white halftone (greyscale), 300 dpi; and colour halftone, 300 dpi. Colour is only encouraged where its use adds materially to the comprehension of the figure. All colour images should be clear when reproduced in

black-and-white if authors are not paying for colour in print. Comprehensive guidance on creating suitable electronic figures is available in the Cambridge Core [Artwork Guide](#).

Please:

1. ensure text figures, line drawings, computer-generated figures and graphs are of sufficient size and quality to allow for reduction;
2. avoid the use of solid black infills or complex hatching;
3. use halftone images where they make a real contribution to the text, and ensure they are of good quality at the intended final size with any required lettering or numbering inserted by the author; include figure legends and numbers on a separate page at the end of the body text of the manuscript; individual parts of a figure should be clearly labelled with lowercase letters consecutively from 'a' and referred to in the legend. Legends to multipart figures should open with a statement summarising the whole figure. The individual parts should then be itemised with the part labels in full parentheses AFTER each item. Legends to figures and tables should be informative, ideally allowing readers to comprehend what the figure/table represents without reference to the main text of the paper.
4. where possible put keys to symbols and lines in legends not on figures;
5. inform the Editorial Office at the earliest opportunity if you wish to use colour figures (we will ask authors to pay in advance for the use of colour, but we can advise on how this can be kept to a minimum if we know your plans). If you request colour figures in the printed version, you will be contacted by CCC-

Rightslink who are acting on our behalf to collect Author Charges. Please follow their instructions in order to avoid any delay in the publication of your article.

### **Supplementary Material**

There will normally be one of the following reasons for you to supply supplementary material to accompany the online version of your article:

1. You wish to link to additional information which due to its nature does not lend itself to print media (examples- full data sets, moving-image or sound files etc.).
2. The Editor of the journal has requested that you extract certain information from the original article in order to allow for space constraints of the print version.

N.B. Please note that no copyediting or quality assurance measures will be undertaken on supplementary material (other than to ensure that the file is intact). The authors therefore warrant that the supplementary material that they submit when the paper is accepted is in a suitable format for publication in this manner. The material shall be published online in exactly the form that it is supplied.

Please follow the following instructions to supply supplementary material to accompany the online version of your article:

1. Each supplementary file must be supplied as a separate file. Do not supply this material as part of the file destined for publication in the print journal;
2. Each supplementary file must have a clear title (e.g., S. Jones\_supplementary\_figure\_1);
3. Provide a text summary for each file of no more than 50 words. The summary should describe the contents of the file. Descriptions of individual figures or

tables should be provided if these items are submitted as separate files. If a group of figures is submitted together in one file, the description should indicate how many figures are contained within the file and provide a general description of what the figures collectively show;

4. The file type and file size in parentheses;
5. Ensure that each piece of supplementary material is clearly referred to at least once in the print version of the paper at an appropriate point in the text, and is also listed at the end of the paper.

### **Format and file size**

1. File sizes should be as small as possible in order to ensure that users can download them quickly, particularly the main text;
2. Avoid generic file names such as 'manuscript' or 'text'; instead use author names or subject topic to reduce the likelihood of duplication with other submissions;
3. Images should be a maximum size of 640 × 480 pixels at a resolution of 72 pixels per inch;
4. Authors should limit the number of files to under ten, with a total size not normally exceeding 3 MB. Sound/movie files may be up to 10 MB per file; colour images may be up to 5 MB per file; all other general file types may be up to 2 MB per file but most files should be much smaller;
5. We accept files in any of the following formats (if in doubt please enquire first):

MS Word document (.doc), Plain ASCII text (.txt), Rich Text Format (.rtf), WordPerfect document (.wpd), HTML document (.htm), MS Excel spreadsheet (.xls), GIF image (.gif), JPEG image (.jpg), TIFF image (.tif), MS PowerPoint slide (.ppt),

QuickTime movie (.mov), Audio file (.wav), Audio file (.mp3), MPEG/MPG animation (.mpg).

If your file sizes exceed these limits, or if you cannot submit in these formats, please seek advice from the editor/board member handling your manuscript.

## Capítulo 2

### **Coexistência de espécies arbóreas tropicais de subosque por meio da diferenciação na arquitetura em uma floresta estacional semidecidual do sul do Brasil**

Artigo a ser submetido no periódico *Plant Ecology*

## **Coexistência de espécies arbóreas tropicais de subosque por meio da diferenciação na arquitetura**

Rodrigues, Diego Resende<sup>1\*</sup>; Bianchini, Edmilson<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluno do Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas; Departamento de Biologia Animal e Vegetal; Centro de Ciências Biológicas; Universidade Estadual de Londrina; Caixa Postal 6001, 86051-970; Londrina - PR - Brasil.

E-mail: <diegorr2001@yahoo.com.br>.

<sup>2</sup> Departamento de Biologia Animal e Vegetal; Centro de Ciências Biológicas; Universidade Estadual de Londrina; Caixa Postal 6001, 86051-970; Londrina - PR - Brasil.

E-mail: <bianchi@uel.br>.

\* Autor para correspondência.

**Resumo** O presente estudo foi conduzido em fragmento de floresta estacional semidecidual para avaliar se diferenças arquiteturais ocorrem, durante o desenvolvimento de espécies típicas de subosque, que possam contribuir para a coexistência das mesmas. Quatro áreas de 3000 m<sup>2</sup> foram selecionadas, todas com índice de cobertura vegetal acima de 90%. Nestas áreas, todos os indivíduos de três espécies de subosque foram amostrados, medidos e divididos em classes de altura. Comparações arquiteturais entre as espécies foram avaliadas por meio de relações alométricas em cada classe de altura. Os resultados indicaram que as espécies apresentaram diferenças nas relações alométricas ao longo das fases de crescimento em resposta às diferentes condições ambientais, sugerindo que as mesmas apresentam diferentes estratégias de sobrevivência o que permite a coexistência de múltiplas espécies no mesmo estrato em uma floresta tropical.

**Palavras-chave** Alometria • Floresta Tropical • Luminosidade • Nicho

**Abstract** This study was conducted in a seasonal semi-deciduous forest to evaluate if architectural differences occur during the development of understory species plants which may promote the coexistence of species. Four areas with 3000 m<sup>2</sup>, all with cover index higher than 90% were selected. In these areas, all individuals of three understory species were sampled, measured and divided in height classes. Architectural comparisons between species were evaluated through allometric relationships within each height class. The results showed that the species had differences in the allometric relationships throughout the tree growth in response to the different environmental conditions, suggesting that the species have different survival strategies, which allows the coexistence of multiple species in the same stratum in a tropical forest.

**Keywords** Allometry • Luminosity • Niche • Tropical Forest

## Introdução

O padrão de alocação de recursos e a arquitetura das plantas são importantes eixos de diferenciação de nicho promovendo a coexistência de espécies em uma floresta (O'Brien et al. 1995; Yamada et al. 2005; Iida et al. 2014). Os indivíduos, de uma determinada espécie arbórea, podem apresentar diferentes arquiteturas, durante seu desenvolvimento e o entendimento de como as plantas se diferenciam têm importância para explicar a alta riqueza de espécies arbóreas em florestas tropicais (Kohyama 1987; O'Brien et al. 1995; Weiner 2004; Poorter et al. 2006; King and Clark 2011; Iida et al. 2012; Iida et al. 2014).

Arquitetura arbórea refere-se a forma global da árvore (Tomlinson 1987; Poorter et al. 2003; 2006), resultado de um *trade-off* entre crescimento vertical e lateral (Ackerly and Donoghue 1998; Archibald and Bond 2003), além de ser o reflexo das condições atuais sob a qual o indivíduo está crescendo, aliado aos fatores genéticos e ambientais que atuam desde as fases iniciais até a maturidade (Archibald and Bond 2003; Heineman et al. 2011; Antin et al. 2013). As diferenças na arquitetura podem ser quantificadas através do estudo das relações alométricas entre diâmetro, altura e copa (Kohyama 1987; Niklas 1995; Kohyama et al. 2003; Poorter et al. 2006; King and Clark 2011; Batista et al. 2014; Iida et al. 2014; Haddad et al. 2016).

O sucesso de uma espécie arbórea em ambiente florestal em termos de interceptação de luz é em grande parte determinada pela sua arquitetura de copa (Valladares and Pearcy 2000; Poorter et al. 2003; 2006; Valladares et al. 2012). No interior da floresta tropical, apenas 1-4% de luminosidade que atinge o dossel alcança o subosque (Chazdon and Fetcher 1984; Poorter et al. 2003; 2006; Osunkoya et al. 2007),

tornando a luz um recurso extremamente limitante, principalmente para os indivíduos que ocupam este estrato florestal (King 1990a, b; Poorter et al. 2006; Iida et al. 2014).

Plantas típicas de subosque sofrem mudanças arquiteturais para sobreviver em um ambiente com baixa luminosidade (King 1990b; King 1996; Bohlman and O'Brien 2006; Poorter et al. 2006; Osunkoya et al. 2007; Martínez-Sánchez 2008; Batista et al. 2014; Iida et al. 2014; Haddad et al. 2016). Estudos demonstram que espécies adaptadas a viver todo seu ciclo de vida no subosque maximizam os investimentos em crescimento de copa e um menor incremento em altura, consequência da própria ontogenia e também alocando carbono para um aumento em diâmetro promovendo maior resistência à quebra (King 1990a; King 1996; Sterck 1999; Poorter et al. 2003; 2005; 2006; Batista et al. 2014; Haddad et al. 2016).

O objetivo do presente estudo foi avaliar comparativamente a arquitetura de indivíduos de diferentes classes de tamanho de três espécies arbóreas de subosque de uma floresta estacional semidecidual. Testou-se a hipótese que indivíduos de diferentes classes de tamanho destas espécies exibem variações interespecíficas em sua arquitetura. Espera-se grande variabilidade de arquitetura entre as espécies o que pode estar contribuindo para a coexistência.

## **Métodos**

O estudo foi conduzido no Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), um fragmento de floresta estacional semidecidual. O PEMSF (23°15'39"S e 50°45'45"W, centro do fragmento) está situado no norte do estado do Paraná, sul do Brasil, com extensão de 832,58 ha. Este local possui histórico de intensa interferência antrópica (retirada de lenha, madeira, palmito, caça, etc.) e elevado grau de degradação, que se estendeu até 1994, quando a área foi transformada em Parque Estadual.

O clima da região caracteriza-se como Cfa, segundo a classificação de Köppen (Alvares et al. 2013), com precipitação média entre 1200 a 1400 mm, distribuída irregularmente durante o ano (Caviglione et al. 2000). As unidades de solo predominantes são Latossolo Vermelho Eutroférico e Nitossolo Vermelho Eutroférico, com inclusões de Chernossolos e Gleissolos considerados como solos de alta fertilidade (Embrapa 2006).

Para o estudo, foram selecionadas três espécies de subosque: *Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg. (Euphorbiaceae), *Inga marginata* Willd. (Fabaceae) e *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & De Boer (Moraceae). As espécies foram escolhidas porque são comuns em floresta estacional semidecidual, apresentando alto valor de importância nos fragmentos florestais da região (Soares-Silva and Barroso 1992; Tomé et al. 1999; Zama et al. 2012).

No interior do PEMSf foram demarcadas quatro áreas de 0,3 ha (50 m × 60 m) cada, subdivididas em trinta parcelas de 100 m<sup>2</sup> (10 m × 10 m). As áreas foram alocadas em locais cujo dossel apresentava índice de cobertura vegetal acima de 90%. Todos os indivíduos acima de 0,50 m de altura das três espécies foram amostrados e mensurados o diâmetro à altura do solo (DAS, cm), altura total (H - distância do solo à última folhagem da copa, m), altura de fuste (distância do solo até a primeira ramificação, m) e dois diâmetros da seção transversal da copa (DI e DII, m). As plantas que apresentavam quebra foram excluídas da análise. As medidas em campo foram realizadas com auxílio paquímetro, trena métrica e uma trena laser. Para os indivíduos maiores foi mensurada a circunferência à altura do solo (C, m) e posteriormente transformada em DAS, utilizando a fórmula:  $DAS = C/\pi$ . A profundidade de copa (PC, m) foi calculada subtraindo-se o fuste da altura total. A área horizontal de copa (AHC, m<sup>2</sup>) (Bongers et

al. 1988) e a área vertical de copa (AVC, m<sup>2</sup>) (Sterck et al. 2003) foram estimadas como uma elipse, utilizando-se as equações:

$$AHC = 0,25 \times \pi \times DI \times DII ,$$

$$AVC = 0,25 \times \pi \times \left( \frac{DI + DII}{2} \right) \times PC .$$

O volume de copa (VC, m<sup>3</sup>) foi calculado assumindo a forma de um semi-elipsóide (Antin et al. 2013), por meio da fórmula:

$$VC = \frac{1}{2} \times \frac{4}{3} \times AHC \times PC .$$

A esbeltez de tronco (ET) foi calculada pela divisão da altura (H) pelo DAS (Martínez-Sánchez 2008).

As relações alométricas calculadas foram: DAS×H, PC×H, AHC×H, AVC×H, VC×H e PC×DAS, AHC×DAS, AVC×DAS e VC×DAS. Apenas na relação alométrica DAS×H, os dados foram transformados em logaritmos de base 10, por ser mais apropriado para comparar as dimensões de copa sem a transformação dos dados (King & Clark 2011).

Para comparar a arquitetura entre espécies, os indivíduos foram divididos em quatro classes de altura: 0,50 m e 1,50 m (Classe 1), >1,50 m e 3,0 m (Classe 2), >3,0 m e 6,0 m (Classe 3), >6,0 m (Classe 4). A separação em classes de altura permite comparações entre indivíduos de altura similar e que estão sob condições ambientais similares (Poorter et al. 2003; 2006; Haddad et al. 2016).

As comparações das relações alométricas entre as espécies por classes de altura foram feitas por meio de regressão SMA (*Standardized Major Axis*) mais indicada para

este tipo de estudo, pois as variáveis não são dependentes entre si nas relações alométricas. Para expressar essas relações, a seguinte equação foi usada:

$$y = \alpha + \beta x .$$

Nas comparações alométricas, as diferenças podem ocorrer em  $\beta$  (inclinação da reta) ou em  $\alpha$  (intercepto em  $y$ ). Se o  $\beta$  difere entre populações, a população com maior valor de  $\beta$  possui um maior investimento em  $y$  por incremento de  $x$ . Se os valores de  $\beta$  não diferem, mas houver diferença em  $\alpha$ , aquelas com maior valor de  $\alpha$  possuirão um maior  $y$  para qualquer valor de  $x$  (Kohyama and Hotta 1990; Yamada et al. 2005). As comparações de  $\beta$  e  $\alpha$  foram calculadas em nível de significância de 5% (Warton et al. 2006). Testes de múlti-comparações (com  $P < 0,05$ ) foram feitos para verificar quais relações eram diferentes. Para avaliar se houve diferenças nas variáveis arquiteturais entre espécies em cada classe de altura utilizou-se análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

As relações alométricas e análise de variância (ANOVA), foram realizadas no software Rstudio versão 0.99.893 (RStudio Team 2016), com auxílio dos pacotes *smatr* (Warton and Weber 2002; Warton et al. 2006; Warton et al. 2012) e *stats* (RStudio Team 2016), respectivamente.

## Resultados

Nas quatro classes de altura, foi observado que *I. marginata* exibiu, para qualquer valor de H, os menores valores de DAS, quando comparados com *A. concolor* e *S. bonplandii* (Tabela 1 e 2). Para esta relação, *A. concolor* e *S. bonplandii* diferiram apenas na terceira classe de altura, com *S. bonplandii* apresentando para qualquer valor de altura os menores valores de DAS (Tabela 2).

Na primeira classe de altura, *A. concolor* obteve os maiores AHC, AVC e VC para um mesmo valor de H ou de DAS e *I. marginata* apresentou os menores valores

(Tabela 1). *Actinostemon concolor* apresentou, para um mesmo valor de DAS ou de H, menores profundidades de copa (PC) em relação a *I. marginata* e *S. bonplandii* (Tabela 1). Na comparação das variáveis arquiteturais na primeira classe de altura, a espécie *I. marginata* foi a que apresentou os menores valores de DAS, PC, AHC, AVC, VC e o maior valor de ET. *Sorocea bonplandii* apresentou maior média de DAS e menor PC e AHC em relação a *A. concolor*, porém estas espécies não diferiram em relação a AVC, VC e ET (Tabela 3).

*Actinostemon concolor* manteve na segunda classe de altura, os maiores AHC, AVC e VC para um mesmo valor de H e *I. marginata* os menores valores. As três espécies não diferiram para as relações AVC×DAS e VC×DAS. *Actinostemon concolor* apresentou para um mesmo valor de DAS, menores valores de PC e maiores valores de AHC em relação a *I. marginata* e *S. bonplandii* que não diferiram entre si (Tabela 1). Na comparação das variáveis arquiteturais na segunda classe de altura, a espécie *I. marginata* manteve os menores valores de DAS, PC, AHC, AVC, VC e o maior valor de ET. *Actinostemon concolor* apresentou maiores DAS, PC, AHC, AVC, VC e o menor valor de ET em relação a *S. bonplandii* (Tabela 3).

Na terceira classe de altura, *A. concolor* apresentou os maiores incrementos em DAS para um mesmo valor de H e *I. marginata* os menores incrementos. *I. marginata* apresentou os maiores incrementos em AHC e VC para um mesmo valor de DAS, enquanto que *A. concolor* e *S. bonplandii* não diferiram entre si (Tabela 2). O restante das características arquiteturais de *I. marginata* não se correlacionaram com altura e diâmetro, demonstrado pelo  $r^2$  não significativo para a maioria das correlações, indicando grande variabilidade arquitetural para as respectivas relações alométricas (Tabela 2). *Actinostemon concolor* apresentou menor investimento em H para um mesmo valor de DAS quando comparado com *I. marginata* e *S. bonplandii*. Com

exceção da relação DAS×H, não houve diferença nas relações alométricas entre *A. concolor* e *S. bonplandii* (Tabela 2). Na comparação das variáveis arquiteturais na terceira classe de altura, *A. concolor* exibiu maiores valores médios para as variáveis arquiteturais PC, AHC, AVC e VC e menor EC em relação a *S. bonplandii*. *Inga marginata* foi a espécie que apresentou a maior esbeltez de tronco e os menores valores de DAS, PC, AHC, AVC e VC em relação as demais espécies (Tabela 3).

Na quarta classe de altura, *I. marginata* apresentou os menores incrementos em DAS, PC, AHC, AVC, e VC para um mesmo valor tanto em DAS quanto em H em relação a *A. concolor* e *S. bonplandii*. *Actinostemon concolor* apresentou os maiores incrementos em PC, AVC, e VC para um mesmo valor tanto em DAS quanto em H em relação a *S. bonplandii* (Tabela 2). Nas comparações das variáveis arquiteturais para a quarta classe de altura, foi observado que não houve diferença para as variáveis PC, AVC, VC e ET entre as espécies. *Inga marginata* apresentou a maior média de AHC e DAS em relação a *A. concolor* e *S. bonplandii*, que não diferiram entre si (Tabela 3).

**Tabela 1** Estimativa das regressões lineares (SMA) para três espécies de subosque (*Actinostemon concolor* - AC, *Inga marginata* - IM, *Sorocea bonplandii* - SB) amostradas no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil. As espécies foram divididas em classes de altura (H). H1 =  $0,5 \geq H \leq 1,5$  m; H2 =  $1,5 > H \leq 3,0$  m). DAS = diâmetro à altura do solo (cm); H = altura (m); PC = profundidade de copa (m); AHC = área horizontal de copa (m<sup>2</sup>); AVC = área vertical de copa (m<sup>2</sup>); VC = volume de copa (m<sup>3</sup>); n = número de indivíduos; á = intercepto em y; â = inclinação da reta; r<sup>2</sup>, coeficiente de determinação. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que apresentam diferença significativa (teste de multicomparação, P < 0,05); ns, não significativo (P > 0,05).

Classes (m)	Espécies	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>	n	
H1		DAS×H			PC×H			AHC×H			AVC×H			VC×H				
	AC	0,00 <sup>a</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,69	-0,34 <sup>b</sup>	1,81 <sup>ns</sup>	0,31	-0,68 <sup>a</sup>	4,68 <sup>ns</sup>	0,38	-0,73 <sup>a</sup>	3,81 <sup>ns</sup>	0,36	-1,18 <sup>a</sup>	6,17 <sup>ns</sup>	0,38	1529	
	IM	-0,05 <sup>b</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,61	-0,27 <sup>a</sup>	1,81 <sup>ns</sup>	0,41	-1,60 <sup>c</sup>	4,68 <sup>ns</sup>	0,42	-1,14 <sup>c</sup>	3,81 <sup>ns</sup>	0,68	-2,07 <sup>c</sup>	6,17 <sup>ns</sup>	0,57	331	
	SB	0,00 <sup>a</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,63	-0,30 <sup>a</sup>	1,81 <sup>ns</sup>	0,48	-1,06 <sup>b</sup>	4,68 <sup>ns</sup>	0,30	-0,88 <sup>b</sup>	3,81 <sup>ns</sup>	0,52	-1,54 <sup>b</sup>	6,17 <sup>ns</sup>	0,43	1335	
			PC×DAS			AHC×DAS			AVC×DAS			VC×DAS						
	AC	-0,34 <sup>c</sup>	1,92 <sup>ns</sup>	0,29	-0,64 <sup>a</sup>	4,79 <sup>ns</sup>	0,41	-0,72 <sup>a</sup>	3,98 <sup>ns</sup>	0,36	-1,17 <sup>a</sup>	6,37 <sup>ns</sup>	0,39				1529	
	IM	-0,16 <sup>a</sup>	1,92 <sup>ns</sup>	0,23	-1,35 <sup>c</sup>	4,79 <sup>ns</sup>	0,35	-0,93 <sup>c</sup>	3,98 <sup>ns</sup>	0,51	-1,74 <sup>c</sup>	6,37 <sup>ns</sup>	0,45				331	
	SB	-0,29 <sup>b</sup>	1,92 <sup>ns</sup>	0,36	-1,06 <sup>b</sup>	4,79 <sup>ns</sup>	0,30	-0,88 <sup>b</sup>	3,98 <sup>ns</sup>	0,47	-1,54 <sup>b</sup>	6,37 <sup>ns</sup>	0,41				1335	
	H2		DAS×H			PC×H			AHC×H			AVC×H			VC×H			
		AC	-0,16 <sup>a</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	0,57	-0,73 <sup>a</sup>	2,33 <sup>ns</sup>	0,21	-1,74 <sup>a</sup>	5,06 <sup>ns</sup>	0,24	-1,42 <sup>a</sup>	4,15 <sup>ns</sup>	0,25	-2,39 <sup>a</sup>	6,60 <sup>ns</sup>	0,26	753
		IM	-0,27 <sup>b</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	0,50	-0,82 <sup>b</sup>	2,33 <sup>ns</sup>	0,25	-2,21 <sup>c</sup>	5,06 <sup>ns</sup>	0,06	-1,74 <sup>c</sup>	4,15 <sup>ns</sup>	0,29	-2,96 <sup>c</sup>	6,60 <sup>ns</sup>	0,17	120
		SB	-0,19 <sup>a</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	0,51	-0,73 <sup>a</sup>	2,33 <sup>ns</sup>	0,29	-1,93 <sup>b</sup>	5,06 <sup>ns</sup>	0,16	-1,52 <sup>b</sup>	4,15 <sup>ns</sup>	0,37	-2,60 <sup>b</sup>	6,60 <sup>ns</sup>	0,29	576
			PC×DAS			AHC×DAS			AVC×DAS			VC×DAS						
AC		-0,47 <sup>b</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	0,13	-1,17 <sup>a</sup>	3,53 <sup>ns</sup>	0,27	-0,96 <sup>a</sup>	2,89 <sup>ns</sup>	0,21	-1,66 <sup>a</sup>	4,61 <sup>ns</sup>	0,24				753	
IM		-0,37 <sup>a</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	0,13	-1,25 <sup>b</sup>	3,53 <sup>ns</sup>	0,11	-0,96 <sup>a</sup>	2,89 <sup>ns</sup>	0,30	-1,70 <sup>a</sup>	4,61 <sup>ns</sup>	0,22				120	
SB		-0,42 <sup>a</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	0,22	-1,26 <sup>b</sup>	3,53 <sup>ns</sup>	0,18	-0,97 <sup>a</sup>	2,89 <sup>ns</sup>	0,35	-1,72 <sup>a</sup>	4,61 <sup>ns</sup>	0,29				576	

**Tabela 2** Estimativa das regressões lineares (SMA) para três espécies de subosque (*Actinostemon concolor* - AC, *Inga marginata* - IM, *Sorocea bonplandii* - SB) amostradas no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil. As espécies foram divididas em classes de altura (H). H3 = 3,0 > H ≤ 6,0 m; H4 = H > 6,0 m). DAS = diâmetro à altura do solo (cm); H = altura (m); PC = profundidade de copa (m); AHC = área horizontal de copa (m<sup>2</sup>); AVC = área vertical de copa (m<sup>2</sup>); VC = volume de copa (m<sup>3</sup>); n = número de indivíduos; á = intercepto em y; â = inclinação da reta; r<sup>2</sup>, coeficiente de determinação. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que apresentam diferença significativa (teste de multicomparação, P < 0,05); ns, não significativo (P > 0,05); – representa as relações alométricas que não foram significativas.

Classe	Espécies	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>	á	â	r <sup>2</sup>	n	
H3		DAS×H			PC×H			AHC×H			AVC×H			VC×H				
	AC	-0,37 <sup>a</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	0,62	-0,86 <sup>a</sup>	1,97	0,24	-1,84	3,80 <sup>a</sup>	0,42	-1,62	3,54 <sup>a</sup>	0,38	-2,59	5,31 <sup>a</sup>	0,42	462	
	IM	-0,52 <sup>c</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	0,34	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	42	
	SB	-0,41 <sup>b</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	0,53	-0,73 <sup>a</sup>	1,72	0,33	-1,91	3,73 <sup>a</sup>	0,39	-1,44	3,10 <sup>a</sup>	0,48	-2,43	4,81 <sup>a</sup>	0,47	199	
			PC×DAS			AHC×DAS			AVC×DAS			VC×DAS						
	AC	-0,41	1,22 <sup>a</sup>	0,21	-0,98	2,35 <sup>b</sup>	0,56	-0,77 <sup>a</sup>	2,10 <sup>ns</sup>	0,43	-1,39	3,28 <sup>b</sup>	0,50				462	
	IM	–	–	–	-2,58	5,88 <sup>a</sup>	0,21	-0,83 <sup>a</sup>	2,10 <sup>ns</sup>	0,35	-2,33	5,24 <sup>a</sup>	0,29				42	
	SB	-0,30	1,06 <sup>a</sup>	0,25	-0,98	2,29 <sup>b</sup>	0,63	-0,78 <sup>a</sup>	2,10 <sup>ns</sup>	0,57	-1,22	2,96 <sup>b</sup>	0,63				199	
	H4		DAS×H			PC×H			AHC×H			AVC×H			VC×H			
		AC	-0,85 <sup>a</sup>	2,04 <sup>ns</sup>	0,27	-1,57 <sup>a</sup>	2,56 <sup>ns</sup>	0,13	-2,50 <sup>a</sup>	4,11 <sup>ns</sup>	0,19	-2,30 <sup>a</sup>	3,94 <sup>ns</sup>	0,21	-3,48 <sup>a</sup>	5,76 <sup>ns</sup>	0,23	157
IM		-0,93 <sup>b</sup>	2,04 <sup>ns</sup>	0,44	-1,87 <sup>c</sup>	2,56 <sup>ns</sup>	0,44	-2,70 <sup>b</sup>	4,11 <sup>ns</sup>	0,68	-2,65 <sup>c</sup>	3,94 <sup>ns</sup>	0,62	-3,91 <sup>c</sup>	5,76 <sup>ns</sup>	0,67	16	
SB		-0,85 <sup>a</sup>	2,04 <sup>ns</sup>	0,57	-1,66 <sup>b</sup>	2,56 <sup>ns</sup>	0,22	-2,56 <sup>a</sup>	4,11 <sup>ns</sup>	0,41	-2,40 <sup>b</sup>	3,94 <sup>ns</sup>	0,41	-3,60 <sup>b</sup>	5,76 <sup>ns</sup>	0,45	59	
			PC×DAS			AHC×DAS			AVC×DAS			VC×DAS						
AC		-0,51 <sup>a</sup>	1,25 <sup>ns</sup>	0,13	-0,78 <sup>a</sup>	1,99 <sup>ns</sup>	0,34	-0,67 <sup>a</sup>	1,93 <sup>ns</sup>	0,29	-1,08 <sup>a</sup>	2,80 <sup>ns</sup>	0,34				157	
IM		-0,70 <sup>c</sup>	1,25 <sup>ns</sup>	0,59	-0,80 <sup>a</sup>	1,99 <sup>ns</sup>	0,61	-0,86 <sup>b</sup>	1,93 <sup>ns</sup>	0,70	-1,27 <sup>b</sup>	2,80 <sup>ns</sup>	0,70				16	
SB		-0,59 <sup>b</sup>	1,25 <sup>ns</sup>	0,09	-0,84 <sup>a</sup>	1,99 <sup>ns</sup>	0,59	-0,76 <sup>b</sup>	1,93 <sup>ns</sup>	0,37	-1,20 <sup>ab</sup>	2,80 <sup>ns</sup>	0,48				59	

**Tabela 3** Variáveis arquiteturas para três espécies de subosque (*Actinostemon concolor* - AC, *Inga marginata* - IM, *Sorocea bonplandii* - SB) amostradas no Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, sul do Brasil. As espécies foram divididas em classes de altura (H). H1 =  $0,5 \geq H \leq 1,5$  m; H2 =  $1,5 > H \leq 3,0$  m; H3 =  $3,0 > H \leq 6,0$  m; H4 =  $H > 6,0$  m. DAS, diâmetro à altura do solo (cm); PC, profundidade de copa (m); AHC, área horizontal de copa (m<sup>2</sup>); AVC, área vertical de copa (m<sup>2</sup>); VC, volume de copa (m<sup>3</sup>), ET, esbeltez de tronco. Letras diferentes sobrescritas na mesma coluna indicam valores que apresentam diferenças significativas (ANOVA e teste Tukey, P < 0,05). As médias foram comparadas apenas dentro das classes de altura.

Classe	Espécies	DAS	PC	AHC	AVC	VC	ET
H1	AC	0,94 <sup>b</sup>	0,45 <sup>a</sup>	0,21 <sup>a</sup>	0,20 <sup>a</sup>	0,08 <sup>a</sup>	1,02 <sup>b</sup>
	IM	0,78 <sup>c</sup>	0,19 <sup>c</sup>	0,06 <sup>c</sup>	0,07 <sup>b</sup>	0,02 <sup>b</sup>	1,14 <sup>a</sup>
	SB	0,98 <sup>a</sup>	0,41 <sup>b</sup>	0,16 <sup>b</sup>	0,17 <sup>a</sup>	0,06 <sup>a</sup>	1,02 <sup>b</sup>
H2	AC	2,00 <sup>a</sup>	1,09 <sup>a</sup>	0,84 <sup>a</sup>	0,91 <sup>a</sup>	0,68 <sup>a</sup>	1,08 <sup>c</sup>
	IM	1,58 <sup>c</sup>	0,93 <sup>c</sup>	0,46 <sup>c</sup>	0,49 <sup>c</sup>	0,28 <sup>c</sup>	1,38 <sup>a</sup>
	SB	1,83 <sup>b</sup>	1,03 <sup>b</sup>	0,61 <sup>b</sup>	0,69 <sup>b</sup>	0,46 <sup>b</sup>	1,16 <sup>b</sup>
H3	AC	4,53 <sup>a</sup>	2,40 <sup>a</sup>	4,14 <sup>a</sup>	4,38 <sup>a</sup>	7,58 <sup>a</sup>	0,99 <sup>c</sup>
	IM	2,85 <sup>c</sup>	1,54 <sup>c</sup>	1,77 <sup>c</sup>	1,53 <sup>c</sup>	1,71 <sup>c</sup>	1,44 <sup>a</sup>
	SB	4,07 <sup>b</sup>	2,21 <sup>b</sup>	3,08 <sup>b</sup>	3,43 <sup>b</sup>	5,12 <sup>b</sup>	1,09 <sup>b</sup>
H4	AC	7,86 <sup>b</sup>	4,13 <sup>a</sup>	10,49 <sup>b</sup>	12,02 <sup>a</sup>	30,83 <sup>a</sup>	0,94 <sup>a</sup>
	IM	9,46 <sup>a</sup>	3,35 <sup>a</sup>	15,52 <sup>a</sup>	12,50 <sup>a</sup>	42,95 <sup>a</sup>	0,99 <sup>a</sup>
	SB	8,98 <sup>a</sup>	3,95 <sup>a</sup>	12,48 <sup>b</sup>	12,60 <sup>a</sup>	37,06 <sup>a</sup>	0,89 <sup>a</sup>

## Discussão

A espécie *A. concolor* diferiu em sua arquitetura em relação a *I. marginata* e *S. bonplandii* nas fases iniciais de desenvolvimento, investindo em formação e expansão de copa, enquanto que *I. marginata* e *S. bonplandii* investiram primordialmente em profundidade de copa. Portanto, observa-se que os indivíduos juvenis de *A. concolor* investiram em uma arquitetura baseada no aumento de copa, capturando o máximo de luz possível (Bongers and Sterck 1998; Martínez-Sánchez 2008; Batista et al. 2014; Haddad et al. 2016; Siliprandi et al. 2016). O investimento em profundidade de copa observado para *I. marginata* e *S. bonplandii* pode ser entendido como uma adaptação resultante da evolução das espécie aos baixos níveis de luz do subosque (Vieilledent et al. 2010) que aumenta a probabilidade de interceptação de luz lateral (King 1990a; Poorter et al. 2003; 2005; 2006; Antin et al. 2013).

A espécie *I. marginata* nas primeiras fases de desenvolvimento apresentou uma maior esbeltez do que *S. bonplandii* e *A. concolor*. Esta estratégia baseada em um

menor investimento em diâmetro permite um maior investimento em altura (King 1990b; Poorter et al. 2006; Batista et al. 2014; Haddad et al. 2016), sugerindo que este padrão de alocação de recursos em *I. marginata* nas fases iniciais de desenvolvimento pode ser uma vantagem adaptativa em relação as demais espécies de subosque. Este padrão possibilita que os indivíduos alcancem locais mais iluminados de forma mais rápida e passem então a alocar mais recursos para crescimento de copa (Kohyama and Hotta 1990; O'Brien et al. 1995; Portela and Santos 2003; Bohlman and O'Brien 2006; Vieilledent et al. 2010). Estes resultados foram similares aos encontrados por Batista et al. (2014) que também observaram que a arquitetura de *I. marginata*, nas classes iniciais, foi similar ao de espécies de dossel e emergentes.

*Inga marginata* na terceira classe de altura demonstrou uma grande plasticidade arquitetural de copa ( $r^2$  não significativo para algumas correlações). A plasticidade aumenta a probabilidade de sobrevivência, a vantagem adaptativa na competição interespecífica e confere capacidade de ocupar diferentes nichos, permitindo a coexistência em um estrato altamente competitivo (Kohyama 1993; Alves and Santos 2002; Kohyama et al. 2003; Haddad et al. 2016). Mesmo apresentando um menor investimento em diâmetro de caule em relação a *A. concolor* e *S. bonplandii*, *I. marginata* nessa fase do desenvolvimento foi a espécie que apresentou maior incremento em volume e área horizontal de copa para um mesmo diâmetro. Essa estratégia baseada em uma baixa margem de segurança facilita o rápido crescimento em altura embora possa representar um risco maior à quebra mecânica (King 1996; Sposito and Santos 2001; Osunkoya et al. 2007). *Actinostemon concolor* e *S. bonplandii*, demonstraram um maior investimento em diâmetro de caule em relação a *I. marginata* mesmo apresentando menores investimentos em copa, promovendo assim uma maior resistência contra a quebra mecânica (Osunkoya et al. 2007; Haddad et al. 2016).

Na última classe de altura, as três espécies passaram a investir em diâmetro de caule e em formação de copa em detrimento da altura, aumentando a margem de segurança contra quebra mecânica (Dean and Long 1986; Niklas 1995; Bongers and Sterck 1998; Sposito and Santos 2001; Poorter et al. 2003; Sterck et al. 2003; Osunkoya et al. 2007), oferecendo também maior suporte a uma maior copa (Bongers and Sterck 1998; Sterck and Bongers 2001). Em florestas tropicais é observado que espécies de subosque apresentam grande investimento em copa com objetivo de interceptar maior quantidade de luz em ambiente em que este recurso é extremamente limitado (King 1990a; Kohyama and Hotta 1990; Bohlman and O'Brien 2006). Foi observado que *A. concolor* e *S. bonplandii*, tendem a investir mais recursos para crescimento de copa quando atingem suas máximas alturas, maximizando a captura de luz, similar à maioria das espécies de subosque que são adaptadas a passarem todo o ciclo de vida em um ambiente onde os níveis de luminosidade são limitados (King 1990a; King 1996; Poorter et al. 2003; 2006; Osunkoya et al. 2007; Iida et al. 2014; Haddad et al. 2016). Para *I. marginata*, foi observado, na última classe, menor investimento tanto em diâmetro de caule quanto para crescimento e expansão de copa, também observado por Batista et al. (2014). Esse padrão arquitetural possibilita que a espécie ocupe diferentes nichos, o que contribui para a coexistência de espécies no subosque (Batista et al. 2014).

Neste estudo foi observado que as três espécies de subosque apresentaram diferenças arquiteturais ao longo do crescimento demonstrado pelas diferenças nas relações alométricas, confirmando assim a hipótese de que as espécies de subosque podem exibir diferenças em sua arquitetura o que contribui para a partição de nicho (Bohlman and Pacala 2012; Antin et al. 2013), promovendo a coexistência de espécies em um único estrato (Yamada et al. 2005; Martínez-Sánchez 2008; Iida et al. 2012; Batista et al. 2014; Haddad et al. 2016). As diferentes estratégias de crescimento

observadas nas diferentes classes de altura para as espécies de subosque demonstram que o padrão de alocação de recursos muda ao longo do desenvolvimento em resposta às condições ambientais e genéticas, gerando mudanças na arquitetura dos indivíduos.

## Literatura citada

- Ackerly DD, Donoghue MJ (1998) Leaf size, sapling allometry, and Corner's rules: phylogeny and correlated evolution in maples (*Acer*). *Am Nat* 152:767–791.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Moraes G, Gonçalves JLM, Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol Zeitschrift* 22:711–728.
- Alves LF, Santos FAM (2002) Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, south-east Brazil. *J Trop Ecol* 18:245–260.
- Antin C, Péliissier R, Vincent G, Couteron P (2013) Crown allometries are less responsive than stem allometry to tree size and habitat variations in an Indian monsoon forest. *Trees* 27:1485–1495.
- Archibald S, Bond WJ (2003) Growing tall vs growing wide: tree architecture and allometry of *Acacia karroo* in forest, savanna, and arid environments. *Oikos* 102:3–14.
- Batista NA, Bianchini E, Carvalho ES, Pimenta JA (2014) Architecture of tree species of different strata developing in environments with the same light intensity in a semideciduous forest in southern Brazil. *Acta Bot Bras* 28:34–45.
- Bohlman S, O'Brien S (2006) Allometry, adult stature and regeneration requirement of 65 tree species on Barro Colorado Island, Panama. *J Trop Ecol* 22:123–136.
- Bohlman S, Pacala S (2012) A forest structure model that determines crown layers and partitions growth and mortality rates for landscape - scale applications of tropical forests. *J Ecol* 100:508–518.
- Bongers F, Popma J, Castillo JM, Carabias J (1988) Structure and floristic composition of the lowland rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. *Vegetatio* 74:55–80.
- Bongers F, Sterck FJ (1998) Architecture and development of rainforest trees: responses to light variation. In: Newbery DM, Prins HHT, Brown ND (eds) *Dynamics of tropical communities: the 37th Symposium of the British Ecological Society*. Blackwell Science, Cambridge, pp 125–162.
- Caviglione JH, Kiihl LRB, Caramori PH, Oliveira D (2000) *Cartas climáticas do Estado do Paraná*. IAPAR, Londrina. <http://www.iapar.br/>
- Chazdon RL, Fetcher N (1984) Photosynthetic light environments in a lowland tropical rain forest in Costa Rica. *J Ecol* 72:553–564.
- Dean TJ, Long JN (1986) Validity of constant-stress and elastic-instability principles of stem formation in *Pinus contorta* and *Trifolium pratense*. *Ann Bot* 58:833–840.
- Embrapa (2006) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, 3a ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.
- Haddad TM, Hertel MF, Bianchini E, Pimenta JA (2016) Architecture of four tree species from different strata of a semideciduous forest in southern Brazil. *Aust J Bot* 64:89–99.

- Heineman KD, Jensen E, Shapland A, Bogenrief B, Tan S, Rebarber R, Russo SE (2011) The effects of belowground resources on aboveground allometric growth in Bornean tree species. *For Ecol Manage* 261:1820–1832.
- Iida Y, Poorter L, Sterck F, Kassim AR, Potts MD, Kubo T, Kohyama TS (2014) Linking size-dependent growth and mortality with architectural traits across 145 co-occurring tropical tree species. *Ecology* 95:353–363.
- Iida Y, Poorter L, Sterck FJ, Kassim AR, Kubo T, Potts MD, Kohyama TS (2012) Wood density explains architectural differentiation across 145 co-occurring tropical tree species. *Funct Ecol* 26:274–282.
- King DA (1990a) Allometry of saplings and understorey trees of a Panamanian forest. *Funct Ecol* 4:27–32.
- King DA (1990b) The adaptive significance of tree height. *Am Nat* 135:809–828.
- King DA (1996) Allometry and life history of tropical trees. *J Trop Ecol* 12:25–44.
- King DA, Clark DA (2011) Allometry of emergent tree species from saplings to above-canopy adults in a Costa Rican rain forest. *J Trop Ecol* 27:573–579.
- Kohyama T (1987) Significance of architecture and allometry in saplings. *Funct Ecol* 1:399–404.
- Kohyama T (1993) Size-structured tree populations in gap-dynamic forest- the forest architecture hypothesis for the stable coexistence of species. *J Ecol* 131–143.
- Kohyama T, Hotta M (1990) Significance of allometry in tropical saplings. *Funct Ecol* 4:515–521.
- Kohyama T, Suzuki E, Partomihardjo T, Yamada T, Kubo T (2003) Tree species differentiation in growth, recruitment and allometry in relation to maximum height in a Bornean mixed dipterocarp forest. *J Ecol* 91:797–806.
- Martínez-Sánchez JL (2008) Allometric variation of shade-tolerant tree species in a Mexican tropical rain forest. *Rev Biol Neotrop* 5:41–51.
- Niklas KJ (1995) Size-dependent allometry of tree height, diameter and trunk-taper. *Ann Bot* 75:217–227.
- O'Brien ST, Hubbell SP, Spiro P, Condit R, Foster RB (1995) Diameter, height, crown, and age relationship in eight neotropical tree species. *Ecology* 76:1926–1939.
- Osunkoya OO, Omar-Ali K, Amit N, Dayan J, Daud DS, Sheng TK (2007) Comparative height–crown allometry and mechanical design in 22 tree species of Kuala Belalong rainforest, Brunei, Borneo. *Am J Bot* 94:1951–1962.
- Poorter L, Bongers F, Sterck FJ, Wöll H (2003) Architecture of 53 rain forest tree species differing in adult stature and shade tolerance. *Ecology* 84:602–608.
- Poorter L, Bongers F, Sterck FJ, Wöll H (2005) Beyond the regeneration phase: differentiation of height–light trajectories among tropical tree species. *J Ecol* 93:256–267.

- Poorter L, Bongers L, Bongers F (2006) Architecture of 54 moist-forest tree species: traits, trade-offs, and functional groups. *Ecology* 87:1289–1301.
- Portela R CQ, Santos FAM (2003) Alometria de plântulas e jovens de espécies arbóreas: copa x altura. *Biota Neotrop* 3:1–5.
- RStudio Team (2016) RStudio: Integrated Development for R, Version 0.99.893. Rstudio, Boston. <https://www.rstudio.com/>
- Siliprandi NC, Nogueira EM, Toledo JJ, Fearnside PM, Nascimento HEM (2016) Inter-site variation in allometry and wood density of *Goupia glabra* Aubl. in Amazonia. *Braz J Biol* 76:268–276.
- Soares-Silva LH, Barroso GM (1992) Fitossociologia do estrato arbóreo da floresta na porção norte do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina-PR, Brasil. In: In “Anais do VIII Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo.” pp. 101-112 (Sociedade Botânica de São Paulo, São Paulo, Brasil),
- Sposito TC, Santos FAM (2001) Scaling of stem and crown in eight *Cecropia* (Cecropiaceae) species of Brazil. *Am J Bot* 88:939–949.
- Sterck FJ, Martínéz-Ramos M, Dyer-Leal G, Rodríguez-Velazquez J, Poorter L (2003) The consequences of crown traits for the growth and survival of tree saplings in a Mexican lowland rainforest. *Funct Ecol* 17:194–200.
- Sterck FJ (1999) Crown development in tropical rain forest trees in gaps and understorey. *Plant Ecol* 143:89–98.
- Sterck FJ, Bongers F (2001) Crown development in tropical rain forest trees: patterns with tree height and light availability. *J Ecol* 89:1–13.
- Tomé M, Miglioranza E, Vilhena AHT, Fonseca EP (1999) Composição florística e fitossociológica do Parque Estadual Mata São Francisco. *Rev do Inst Florest* 11:13–23.
- Tomlinson PB (1987) Architecture of tropical plants. *Annu Rev Ecol Syst* 18:1–21.
- Valladares F, Pearcy RW (2000) The role of crown architecture for light harvesting and carbon gain in extreme light environments assessed with a structurally realistic 3-D model. In: *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. pp 3–16.
- Valladares F, Saldana A, Gianoli E (2012) Costs versus risks: architectural changes with changing light quantity and quality in saplings of temperate rainforest trees of different shade tolerance. *Austral Ecol* 37:35–43.
- Vieilledent G, Courbaud B, Kunstler G, Dhôte J-F, Clark JS (2010) Individual variability in tree allometry determines light resource allocation in forest ecosystems: a hierarchical Bayesian approach. *Oecologia* 163:759–773.
- Warton DI, Duursma RA, Falster DS, Taskinen S (2012) SMATR 3 – an R package for estimation and inference about allometric lines. *Methods Ecol Evol* 3:257–259.
- Warton DI, Weber NC (2002) Common slope tests for bivariate errors-in-variables models. *Biometrical J* 44:161.

- Warton DI, Wright IJ, Falster DS, Westoby M (2006) Bivariate line - fitting methods for allometry. *Biol Rev Camb Philos Soc* 81:259–291.
- Weiner J (2004) Allocation, plasticity and allometry in plants. *Perspect Plant Ecol Evol Syst* 6:207–215.
- Yamada T, Ngakan OP, Suzuki E (2005) Differences in growth trajectory and strategy of two sympatric congeneric species in an Indonesian floodplain forest. *Am J Bot* 92:45–52.
- Zama MY, Bovolenta YR, Carvalho ES, Rodrigues DR, Araujo CG, Sorace MAF, Luz DG (2012) Florística e síndromes de dispersão de espécies arbustivo-arbóreas no Parque Estadual Mata São Francisco, PR, Brasil. *Hoehnea* 39:369–378.

## **Anexo II**

### **Instructions for Authors: Plant Ecology**

#### **PORTABLE PEER-REVIEW**

To limit multiple reviews of the same manuscript and therefore to decrease the workload on the scientific reviewer community, Plant Ecology supports portable peer-review. If your manuscript has already been through peer-review and you feel that these reports would help our Editorial Board reach a final decision on your manuscript more quickly, we would welcome the submission of these documents as an attachment along with your cover letter. Previous reviews must be submitted as an unaltered copy of the original email received by you from the journal. Please discuss how you have responded to these previous reviewer's comments in your cover letter as a point-for-point list indicating the changes you have made to the submitted manuscript.

#### **Online Submission**

Please follow the hyperlink "Submit online" on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

#### **ARTICLE TYPES**

Original Research manuscripts report the results of primary research investigations in plant ecology and have a maximum length of 6,000 words.

Short Communication manuscripts have a maximum length of 2,500 words and a total of no more than four tables plus figures. This manuscript type should have a clear focus on topical issues in plant ecology, including pertaining to theory and methodology. Manuscripts reporting preliminary research results based on limited evidence will generally not be considered.

The Braun-Blanquet Reviews in Plant Ecology provide in-depth analyses of our current understanding for wide-ranging topics in plant ecology. Braun-Blanquet Reviews are written by authoritative workers in the subject area, and help researchers and students to identify new topics for fruitful research, and to more readily place their own research into current context. Manuscripts for consideration as a Braun-Blanquet Review are solicited by invitation and are also available via direct contribution, with prospective authors to seek agreement from the journal Reviews Editor concerning suitability of the proposed review prior to submission for consideration. Manuscripts may be up to 9000 words in length, including references (50% longer than the current research manuscripts word limit).

Review Articles are invited on any topic in plant ecology. Manuscripts will be handled by a dedicated reviews editor who may be approached for further advice concerning this submission type. In general, reviews should be no more than 6,000 words in length, but with prior agreement from the reviews editor, may be up to 9,000 words in length.

Letter to the Editor (maximum of 2,000 words) contributions provide the opportunity for readers to respond to recently published work in the journal where they believe that further discussion of a research result or position is warranted. These submissions will be sent to the authors of critiqued work for their comment and response, and will be reviewed also by an appropriate handling editor.

Editorial (normally a maximum of 2,000 words) – not available to other than the journal editorial team and guest editors. Editorials are not a refereed publication output.

Authors should include their final word count at the top of the manuscript when submitting. The word count should include title, abstract, keywords, body of the text, figures, and tables but excluding authors affiliations, references and on-line supplementary material. Manuscripts exceeding the word limit will be returned.

**TITLE PAGE**

## 1. Title Page

The title page should include:

1. The name(s) of the author(s)
2. A concise and informative title
3. The affiliation(s) and address(es) of the author(s)
4. The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

**Abstract**

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

**Keywords**

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

**ADDITIONAL REMARK ABSTRACT**

The abstract must not exceed 250 words and must include all of the following points:

1. The explicit purpose of the study (clear aims and objectives)
2. The location of the study
3. A brief summary of the methodology used – including anything unusual
4. Key results
5. Main point/s of significance in terms of the field of plant ecology, including how it may be novel

**TEXT**

1. Text Formatting

2. Manuscripts should be submitted in Word.
3. Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
4. Use italics for emphasis.
5. Use the automatic page numbering function to number the pages.
6. Do not use field functions.
7. Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
8. Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
9. Use the equation editor or MathType for equations.
10. Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

### **Headings**

Please use no more than three levels of displayed headings.

### **Abbreviations**

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

### **Footnotes**

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

### **Acknowledgments**

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

### **ADDITIONAL REMARK TEXT**

1. Text – double spaced, and line numbered using continuous line numbers throughout
2. Figures – one per page at end of manuscript, with a separate List of Captions prior to the figures
3. Tables – one per page at end of manuscript (before Figures), captions included above each table

### **REFERENCES**

#### **Citation**

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

1. Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).
2. This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).
3. This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995a, b; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999, 2000).

#### **Reference list**

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished

works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work. Order multi-author publications of the same first author alphabetically with respect to second, third, etc. author. Publications of exactly the same author(s) must be ordered chronologically.

### **1. Journal article**

Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J ApplPhysiol* 105:731-738. doi: 10.1007/s00421-008-0955-8

Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al” in long author lists will also be accepted:

Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 965:325–329

### **2. Article by DOI**

Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med*. doi:10.1007/s001090000086

### **3. Book**

South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London

### **4. Book chapter**

Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) *The rise of modern genomics*, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257

### **5. Online document**

Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007

## **6. Dissertation**

Trent JW (1975) Experimental acute renal failure. Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal's name according to the ISSN List of

Title Word Abbreviations, see

If you are unsure, please use the full journal title.

For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list.

## **TABLES**

1. All tables are to be numbered using Arabic numerals.
2. Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
3. For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
4. Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
5. Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

## **ELECTRONIC SUPPLEMENTARY MATERIAL**

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This

feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Before submitting research datasets as electronic supplementary material, authors should read the journal's Research data policy. We encourage research data to be archived in data repositories wherever possible.

### **Submission**

1. Supply all supplementary material in standard file formats.
2. Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.
3. To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

### **Text and Presentations**

1. Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.
2. A collection of figures may also be combined in a PDF file.

### **Spreadsheets**

1. Spreadsheets should be converted to PDF if no interaction with the data is intended.
2. If the readers should be encouraged to make their own calculations, spreadsheets should be submitted as .xls files (MS Excel).

### **Specialized Formats**

1. Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

### **Collecting Multiple Files**

1. It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

### **Numbering**

1. If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.
2. Refer to the supplementary files as “Online Resource”, e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4”.
3. Name the files consecutively, e.g. “ESM\_3.mpg”, “ESM\_4.pdf”.

### **ENGLISH LANGUAGE SUPPORT**

For editors and reviewers to accurately assess the work presented in your manuscript you need to ensure the English language is of sufficient quality to be understood. If you need help with writing in English you should consider:

1. Asking a colleague who is a native English speaker to review your manuscript for clarity.
  2. Visiting the English language tutorial which covers the common mistakes when writing in English.
  3. Using a professional language editing service where editors will improve the English to ensure that your meaning is clear and identify problems that require your review. Two such services are provided by our affiliates Nature Research Editing Service and American Journal Experts.
- English language tutorial

- Nature Research Editing Service
- American Journal Experts

Please note that the use of a language editing service is not a requirement for publication in this journal and does not imply or guarantee that the article will be selected for peer review or accepted.

If your manuscript is accepted it will be checked by our copyeditors for spelling and formal style before publication.