

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA (ECOLOGIA)**

**FATORES DETERMINANTES DOS PADRÕES DE  
DISTRIBUIÇÃO E DENSIDADE DE *ALLOBATES*  
*SUMTUOSUS* (DENDROBATIDAE) E *ATELOPUS SPUMARIUS*  
(BUFONIDAE) EM DUAS BACIAS DE DRENAGEM EM UMA  
ÁREA DE FLORESTA DE TERRA-FIRME NA AMAZÔNIA  
CENTRAL**

**RAFAEL FILGUEIRA JORGE**

**Manaus - AM  
Março, 2014**

**RAFAEL FILGUEIRA JORGE**

FATORES DETERMINANTES DOS PADRÕES DE  
DISTRIBUIÇÃO E DENSIDADE DE *ALLOBATES*  
*SUMTUOSUS* (DENDROBATIDAE) E *ATELOPUS SPUMARIUS*  
(BUFONIDAE) EM DUAS BACIAS DE DRENAGEM EM UMA  
ÁREA DE FLORESTA DE TERRA-FIRME NA AMAZÔNIA  
CENTRAL

ORIENTADORA: Dra. ALBERTINA PIMENTEL LIMA  
COORIENTADOR: Dr. PEDRO IVO SIMÕES

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de  
Pesquisas da Amazônia como parte dos  
requisitos para a obtenção do título de Mestre  
em Biologia (Ecologia).

**Manaus - AM**  
**Março, 2014**

**BANCA EXAMINADORA DA DEFESA ORAL PÚBLICA:**

Dra. Fernanda de Pinho Werneck  
(Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia)

Dr. Igor Luis Kaefer  
(Universidade Federal do Amazonas)

Dr. Marcelo Gordo  
(Universidade Federal do Amazonas)

*Aprovado por unanimidade*

J82 Jorge, Rafael Filgueira  
Fatores determinantes dos padrões de distribuição e densidade de *Allobates sumtuosus* (Dendrobatidae) e *Atelopus spumarius* (Bufonidae) em duas bacias de drenagem em uma área de floresta de terra-firme na Amazônia central / Rafael Filgueira Jorge. ---  
Manaus: [s.n], 2014.  
xiv, 49 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) --- INPA, Manaus, 2014.  
Orientador : Albertina Pimentel Lima.  
Coorientador : Pedro Ivo Simões.  
Área de concentração : Ecologia.

1. Anuros diurnos. 2. Distribuição espacial. 3. Escala local.  
4. Variação ambiental. 5. Zonas ripárias. I. Título.

CDD 597.6

**Sinopse:**

Foi avaliada a influência da variação ambiental entre áreas ripárias sobre a distribuição e densidade local de duas espécies de anuros diurnos. Variações ambientais entre e dentro das bacias de drenagem agem como filtros ambientais, afetando a distribuição e densidade das espécies localmente. O desenho de reservas menores para conservação de anuros na Amazônia deve ser baseado em modelos de distribuição de espécies com dados obtidos *in situ* para avaliar a influência da variabilidade ambiental sutil sobre a ocorrência e densidade local de espécies com distribuição particionada.

**Palavras-Chave:** Anuros diurnos, Escala local, Filtros ambientais, Ocorrência, Variação ambiental, Zonas ripárias.

***Dedico esta dissertação a Marcos Jorge (in memoriam).***

***Em homenagem a Antônio Alencar Sampaio (Seu Antônio), pela sua magnífica compreensão do Universo e incansável dedicação na luta para protegê-lo.***

## AGRADECIMENTOS

Sou grato à Albertina P. Lima, pela orientação sempre presente, a atenção dada para esclarecer qualquer dúvida sobre o estudo e a preocupação para que meu aprendizado durante o mestrado fosse da melhor qualidade.

Ao Pedro Ivo Simões, por aceitar a coorientação deste projeto, pela incrível paciência para me ensinar e pela disponibilidade quase em tempo integral para esclarecer dúvidas do estudo, e representa para mim um bom exemplo de conduta profissional.

Ao Bill Magnusson pelos valiosos ensinamentos e por esclarecer as dúvidas durante as análises estatísticas e interpretação dos dados.

Aos pesquisadores Igor L. Kaefer e Marcelo Menin por beneficiarem o projeto inicial de dissertação com críticas e sugestões. Agradeço a disponibilidade de tempo que investiram neste propósito.

Ao pesquisador Gonçalo Ferraz e à pesquisadora Gisele R. Winck, integrantes da banca examinadora da versão escrita do projeto de dissertação, pela avaliação criteriosa do documento.

Às pesquisadoras Cintia Cornelius e Elizabeth Franklin e ao pesquisador Marcelo Gordo, integrantes da banca da aula de qualificação, pelas inúmeras sugestões, e pela discussão muito produtiva durante a ocasião.

À pesquisadora Fernanda Werneck e aos pesquisadores Igor Luis Kaefer e Marcelo Gordo, integrantes da banca da defesa oral pública da dissertação, pelas valiosas contribuições durante a ocasião, através de críticas e sugestões, ao longo de uma conversa muita positiva e produtiva.

Ao pesquisador Jansen Zuanon pelas dicas e sugestões dadas para a coleta dos parâmetros físico-químicos dos riachos e das poças d' água.

Ao pesquisador Alberto Quesada pelas dicas e sugestões dadas para as coletas de solo e pela ajuda na interpretação das análises físico-químicas do solo.

A pesquisadora Flávia Costa por sempre me receber em sua sala, mesmo quando muito ocupada, para esclarecer dúvidas sobre análises de autocorrelação espacial.

Ao Marcelo Santos (Brasa) por ter dedicado uma tarde inteira para me ensinar a utilizar o programa ArcGis de maneira tão artística e prática.

Ao David Valentim e Hélder Espírito-Santo pelas ajudas nas análises estatísticas e a solucionar intrusões demoníacas no programa estatístico R.

À Lívia Naman pela ajuda na preparação das planilhas de dados brutos e dos metadados para disponibilização em repositórios de dados públicos.

Aos técnicos e estagiários do Laboratório Temático de Solos e Plantas do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia pela ajuda durante a preparação das amostras e análises físico-químicas do solo.

Aos pesquisadores Carlos Freitas e Marcelo Menin por disponibilizarem os aparelhos (multiparâmetro e peagâmetro, respectivamente) para a medição das características químicas dos corpos d' água.

Ao Marcelo Lima do Laboratório de Triagem de Solo pela ajuda durante a secagem das amostras de solo.

Ao Sr. Valdir da Gerência de Informação e aos motoristas do Inpa (Sr. Peu, Sr. Jesus e Silvano) pelas ajudas na correria do trabalho de campo e desvios necessários no caminho para Reserva Ducke.

Ao Francisco Villamarin pelo auxílio durante a instalação das parcelas ripárias na Reserva Ducke.

Ao Sr. José da Silva Lopes pelo auxílio durante a instalação das parcelas ripárias e por me ensinar a deslocar por toda a Reserva Ducke.

À Andresa Viana por ajudar a atravessar as burocracias para entrada e permanência na Reserva Ducke e as muitas solicitações de transporte para os acampamentos da reserva.

Ao pesquisador Stefan Lötters por me disponibilizar prontamente artigos e informações necessárias sobre aspectos da biologia, filogenia e comportamento das espécies do gênero *Atelopus*.

Aos amigos do Laboratório da “Mãe Albertina” (Diana Rojas-Ahumada, Carla Silva, Igor Kaefer, Miquéias Ferrão, Rafael de Fraga, Randolpho Dias Terceiro, Eveline Selvático e Pedro Ivo Simões) pelas discussões produtivas que faziam os dias de trabalhos serem mais descontraídos.

À Claudia Keller por toda a dedicação prestada enquanto coordenadora do Curso de Pós-Graduação em Ecologia e por disponibilizar prontamente qualquer informação requisitada.

Aos colegas do mestrado da turma de 2012 por compartilharem momentos de discussões sempre produtivas e descontraídas.

Aos colegas do Inpa (mestrandos, doutorandos, bolsistas, técnicos, servidores) pela troca de informações nos corredores ou escadas do Instituto.



A todos os professores e pesquisadores do Instituto, especialmente àqueles vinculados ao Curso de Pós-Graduação em Ecologia, por proporcionarem oportunidades de debate e aprendizado sempre enriquecedoras.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, por fornecer infraestrutura e apoio logístico para a realização da minha dissertação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado, ao Programa de Suporte para Centros de Excelência (PRONEX) e ao Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM - 653/2009) pelo financiamento de todas as etapas de campo. Ao Programa de Pesquisas em Biodiversidade (PPBio) e Centro Integrado de Estudos da Biodiversidade Amazônica (INCT– CENBAM) por disponibilizar a infra-estrutura necessária para realização deste estudo.

A todos caros amigos, em qualquer parte do país, por apoiar minhas investidas Brasil afora e por todos os momentos de lazer, descontração e companheirismo, que além de me inspirar e dar força para continuar, me ajudaram a compreender um pouco mais sobre universo.

À minha companheira Alessandra S. M. Cacela pela revisão final dessa dissertação.

E, em especial, agradeço à minha família, por sempre me apoiar e acreditar nos meus sonhos, sempre buscando o melhor para mim e sempre dedicando ao máximo para nossa felicidade.

## RESUMO

Modelos de Distribuição de Espécies baseados em dados obtidos por métodos remotos são apropriados para guiar tomadas de decisões conservacionistas em grandes escalas geográficas. Entretanto, eles são inadequados para planejamento de zonas de conservação dentro de reservas pequenas porque muitas espécies ocorrerem particionadas dentro de amplos envelopes definidos por tais modelos. Eu investiguei a distribuição espacial de duas espécies de anuros de interesse para conservação dentro de 64 Km<sup>2</sup> de reserva na Amazônia central, Brasil, *Allobates sumtuosus* e *Atelopus spumarius*. Eu empreguei buscas visuais e acústicas das espécies em 40 parcelas de amostragem distribuídas ao longo das duas maiores bacias de drenagem na Reserva Ducke, localizada ao norte da cidade de Manaus, entre janeiro e março de 2013. Cada espécie foi total ou parcialmente restrita a somente uma ou outra das maiores bacias de drenagem dentro da reserva, as quais diferiram significativamente em variáveis ambientais, como pH dos riachos e número de poças isoladas e conectadas ao leito. As diferenças em características abióticas das drenagens estão associadas aos limites de distribuição das espécies na área da reserva. Dentro das drenagens, as densidades foram influenciadas pela vazão dos riachos. A densidade de *Allobates sumtuosus* foi negativamente afetada pelo pH e vazão dos riachos e positivamente influenciada pelo número de poças isoladas. A ocorrência de *Atelopus spumarius* esteve associada a riachos com vazão intermediária, com pH próximo do neutro e com maior número de poças conectadas aos riachos. Reservas muito grandes provavelmente conterão paisagens heterogêneas suficientes para abrigar muitas espécies. No entanto, devido as distribuições fortemente particionadas, são necessários estudos *in situ* que avaliem através de modelos de distribuição de espécies em escala local a adequabilidade de reservas de poucos quilômetros quadrados na Amazônia para conservar espécies de anuros.

*Palavras-chave.* *Allobates sumtuosus*, *Atelopus spumarius*, Reservas, Modelos de Distribuição de Espécies, Variáveis abióticas, Zonas ripárias.

## ABSTRACT

Species-distribution models based on remote sensing data may be useful to support conservation decisions at wide geographical scales. However, they may be inadequate for planning conservation zones within small reserves because many species occur patchily within the broad envelopes defined by such models. I investigated the spatial distributions of two frog species of conservation concern, *Allobates sumtuosus* and *Atelopus spumarius*, within a 64 km<sup>2</sup> reserve in Brazilian Amazonia. I undertook visual and acoustic surveys in 40 riparian plots distributed throughout the two major drainage basins in Reserva Ducke, on the outskirts of Manaus, from January to March 2013. Each species was totally or largely confined to only one or other of the major drainage basins within the reserve. The drainages differ in environmental variables, such as stream pH and the density of connected and isolated pools. The differences in abiotic characteristics of drainages are associated the limited distributions of the frog species. Within drainages, distributions are also affected by stream discharge. The density of *Allobates sumtuosus* was negatively affected by stream pH and stream discharge and positively influenced by the number of isolated pools. The occurrence of *Atelopus spumarius* was associated with streams with intermediated discharge, pH near neutral and many pools connected to the stream. Very large reserves will probably contain sufficient landscape heterogeneity to accommodate most species. However, due to strongly patchy distributions, *in situ* studies using fine-scale species distribution models will be necessary to assess the adequacy of reserves with few square kilometers in Amazonia for the conservation of anurans.

*Key words.* Abiotic factors, *Allobates sumtuosus*, *Atelopus spumarius*, Reserves, Riparian zones, Species Distributions Models.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>xiii</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b>	<b>1</b>
<b>Espécies-Alvo</b>	<b>4</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 1: Fine-scale habitat heterogeneity explains the local distribution of two Amazonian frogs species of conservation concern</b>	<b>8</b>
<b>FIGURES LEGENDS</b>	<b>30</b>
<b>FIGURES</b>	<b>31</b>
<b>SUPPORTING INFORMATION</b>	
Figure S1	<b>35</b>
Figure S2	<b>36</b>
TABLE S1	<b>37</b>
APPENDIX S1	<b>38</b>
RESUMO	<b>39</b>
<b>CONCLUSÕES</b>	<b>40</b>
<b>PERSPECTIVAS</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>44</b>
<b>APÊNDICES</b>	
Ata da Aula de Qualificação	<b>48</b>
Ata da Defesa Oral Pública	<b>59</b>

## LISTA DE FIGURAS

### Introdução Geral

**Figura 1:** Mapa da Reserva Florestal Adolpho Ducke (RFAD), representando os limites da reserva (linhas pontilhada), o sistema de trilhas (linhas vermelha), o sistema de drenagem (linhas azuis) e as cotas altitudinais (cores graduais). A cor marrom escura no centro do mapa representa o platô central no sentido N-S. **4**

**Figura 2:** *Atelopus spumarius* **5**

**Figura 3:** *Allobates sumtuosus* **6**

**CAPÍTULO 1:** Fine-scale habitat heterogeneity explains the local distribution of two Amazonian frogs species of conservation concern

**Figura 1:** Localização da área de estudo na Reserva Florestal Adolpho Ducke, ao norte da cidade de Manaus, Estado do Amazonas, Brasil. As 40 parcelas de estudo estão representadas pelos círculos claros. **31**

**Figura 2:** Distribuição das densidades de *Allobates sumtuosus* (círculos brancos), de *Atelopus spumarius* (círculos pretos) e locais onde não foi registrado qualquer uma das espécies (quadrado) nas parcelas ripárias localizadas da Reserva Florestal Adolpho Ducke, ao norte de Manaus, Amazonas, Brasil. C1. 59°57'29" W, 2°59'58"S; C2. 59°53'52" W, 2°55'0.2" S – Sistema de Coordenadas Geográficas W84. **32**

**Figura 3:** Resultados parciais da análise de modelo linear generalizado mostrando os efeitos significativos das variáveis preditoras sobre a densidade de *Allobates sumtuosus* ( $P > 0.05$ ) em 26 parcelas de amostragem localizadas em zonas ripárias na Reserva Florestal Adolpho Ducke, ao norte de Manaus, Brasil, como indicado por (A) poças não conectadas, (B) vazão dos riachos e (C) pH dos riachos. **33**

**Figura 4:** Variação na ocorrência e na densidade de *Atelopus spumarius* em relação ao gradiente de pH dos riachos, como indicado por (A) e os resultados parciais das análises de regressão linear múltipla mostrando os efeitos significativos da vazão do riacho sobre a densidade de *A. spumarius* **34**

( $P > 0.05$ ), como indicado por (B) em 20 parcelas de amostragem na drenagem leste na Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, Amazonas, Brazil.

**Figura 5:** Variação da densidade local de *Atelopus spumarius* em resposta à variação dos gradientes de vazão e pH dos riachos em 20 parcelas de amostragem em ambientes ripários na drenagem leste localizadas na Reserva Florestal Adolpho Ducke, ao norte de Manaus, Amazonas, Brasil, como indicado por (A) pH e (B) vazão dos riachos. **34**

**Figura S1:** Representação esquemática das parcelas de amostragem em ambientes ripários instaladas na Reserva Florestal Adolpho Ducke, norte de Manaus, Amazonas, Brasil. A linha preta contínua representa o corredor de deslocamento de 1 m de largura utilizado em buscas visuais e auditivas. As linhas pontilhadas indicam os limites das contagens para dos indivíduos de *Atelopus spumarius* (4 m) e *Allobates sumtuosus* (10 m). **35**

**Figura S2:** Variação em escala local dos principais preditores ambientais da distribuição e densidades de *Atelopus spumarius* e *Allobates sumtuosus* em 40 parcelas de amostragens localização em 64 Km<sup>2</sup> de floresta de terra-firme na Reserva Florestal Adolpho Ducke, norte de Manaus, Amazonas, Brasil, como indicado por: (A) pH dos riachos, (B) vazão dos riachos, (C) poças conectadas aos riachos e (D) poças isoladas. **36**

## INTRODUÇÃO GERAL

A variação de características ambientais ao longo do espaço influencia o padrão de distribuição e densidade das espécies. Entre os locais de ocorrência, sejam eles semelhantes ou distintos, cada espécie é mais numerosa nos ambientes onde o conjunto de características ambientais é mais favorável ao seu *fitness* (Grinnel, 1917). Cada espécie tolera faixas diferentes de variação de características ambientais às quais estão associadas. Fatores ambientais que favorecem a sobrevivência e a reprodução de uma espécie atuam como filtros ambientais, impedindo que uma espécie ocupe todos os locais disponíveis em uma paisagem, mesmo quando ela é capaz de alcançá-los via dispersão, pois não proporcionam condições adequadas para sua permanência (Hutchinson, 1957).

O efeito de filtros ambientais sobre a distribuição e densidade das espécies é dependente da escala de observação (Wiens, 1989). Em escalas espaciais extensas, variações bruscas entre zonas climáticas ou cotas altitudinais resultam na substituição total da composição de espécies. Em escala regional, filtros ambientais podem ser determinados por diferentes tipos de habitat, como os incluídos dentro de um mesmo bioma. Em escala local, variações ambientais menos conspícuas podem ocorrer entre unidades amostrais distribuídas em uma mesma categoria de habitat (ex. florestas perenes, zonas ripárias, etc.) (Poff, 1997; Wiens, 2000). Nesta escala, as variações ambientais são pouco notáveis, e geralmente ocorrem em propriedades físico-químicas de corpos d'água ou do solo, as quais atuam como filtros sobre a distribuição e densidade local de espécies associadas a habitats específicos dentro de uma mesma paisagem (ex. Mendonça *et al.*, 2005; Bello *et al.*, 2013).

Uma técnica utilizada para prever a distribuição geográfica de espécies em resposta a variações ambientais é a Modelagem de Distribuição de Espécies (MDEs – Peterson *et al.*, 2011). É comum que as MDEs utilizem variáveis ambientais prontamente disponíveis em bancos de dados na internet (ex. *WorldClim*, *BioClim*), as quais representam, na maior resolução disponível, uma área de aproximadamente 1 Km com um único dado. As variáveis ambientais obtidas por métodos remotos incluem características bioclimáticas,

de elevação e topografia do terreno e geralmente são utilizadas em estudos que abrangem grandes escalas geográficas (ex. Bernardo-Silva *et al.*, 2012; Serra *et al.*, 2012).

As MDEs utilizam um conjunto de dados sobre as localidades de ocorrência de uma espécie de interesse e outro conjunto de dados de variáveis ambientais desses locais, que descrevem alguns dos fatores relacionados com os requerimentos ecológicos e que tornam um ambiente habitável para a espécie em questão. Com essas informações são estimadas a distribuição espacial potencial, baseado na provável resposta da espécie frente à variação ambiental, em locais onde as condições ambientais são semelhantes àquelas dos locais onde a espécie ocorre, dentro de um limite de semelhança estabelecido pelo pesquisador (Rangel e Loyola, 2012).

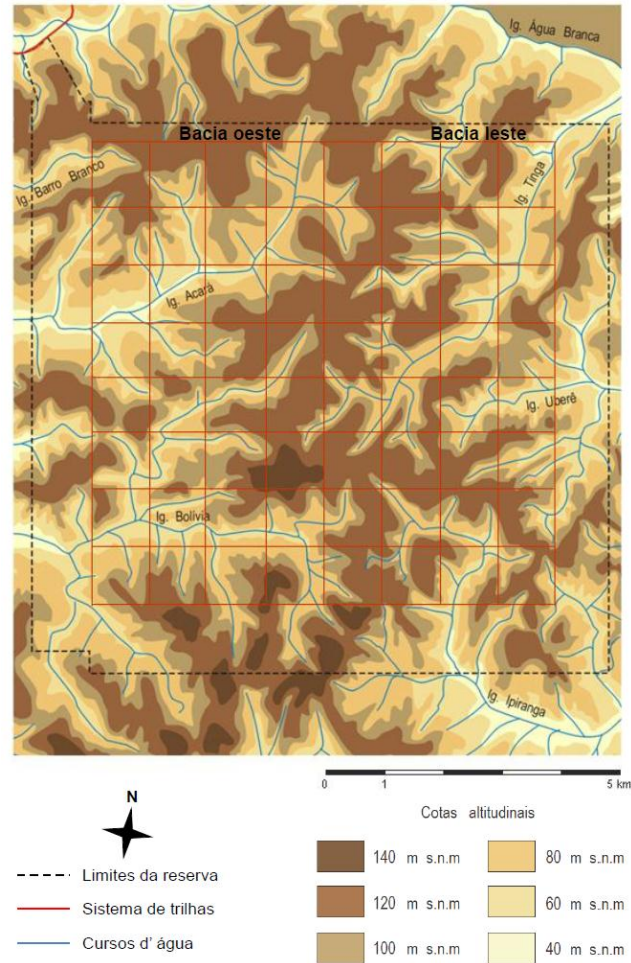
Como as MDEs são baseadas em dimensões geográficas e ambientais, pode-se caracterizar o nicho potencial da espécie de interesse, através de um mapa de Índice de Habitat Adequado representado por cores distribuídas na área de estudo, geralmente onde as cores quentes (ex. vermelho) representam os locais com maior adequabilidade do habitat para dada espécie. Utilizando MDEs é possível identificar áreas de ocorrência antes desconhecida de uma espécie rara ou ameaçada, o potencial geográfico de ocupação de espécies invasoras e potenciais áreas para conservação, geralmente maiores que 100 Km<sup>2</sup> (Peterson *et al.*, 2011; Peterson e Soberón, 2012).

No entanto, em regiões com grandes adensamentos populacionais humanos, áreas de cobertura vegetal nativa contínuas são escassas e comumente reduzidas a fragmentos florestais urbanos ou peri-urbanos, com áreas que raramente ultrapassam alguns quilômetros quadrados (Leroux *et al.*, 2010). A proteção da biodiversidade neste tipo de paisagem depende da criação de reservas ambientais menores, sendo necessária a utilização de modelos de distribuição de espécies em escala local para mapear as porções de paisagens mais apropriadas para permanência de espécies que ocorrem particionadas dentro dos envelopes amplos definidos pelas variáveis climáticas mais frequentemente utilizadas em MDEs (Araújo e Peterson, 2012). Essas espécies podem tolerar faixas estreitas de variação ambiental e ocorrer descontinuamente entre ambientes semelhantes inseridos em uma mesma categoria de habitat. Assim, variações em suas densidades ao longo destes habitats são bons indicativos de áreas mais favoráveis a sua permanência (Pullian, 2000).



Os anuros, devido seu ciclo de vida bifásico, têm requerimentos ecológicos complexos e alguns ocorrem exclusivamente em habitats específicos, tornando-os bons modelos para investigar descontinuidade na ocorrência e variações em densidade de indivíduos em escala local. Alguns anuros ocorrem preferencial ou exclusivamente em zonas ripárias e dependem da existência e manutenção de sítios reprodutivos específicos para reprodução. Um estudo geral sobre a composição de anfíbios em uma área de 64 Km<sup>2</sup> de floresta de terra-firme na Amazônia central revelou um padrão interessante de distribuição de dois anuros diurnos, *Allobates sumtuosus* (Família Dendrobatidae) e *Atelopus spumarius* (Família Bufonidae), associados a ambientes ripários (Menin *et al.*, 2011). Na área de estudo, a Reserva Florestal Adolpho Ducke (RFAD), localizada na periferia de Manaus, Amazonas, existem duas drenagens principais divididas por um platô central que se estende em sentido N-S (Figura 1). Cada uma das espécies foi registrada em somente uma das drenagens abrangidas pela reserva: *A. sumtuosus* na drenagem oeste e *A. spumarius* na drenagem leste. No entanto, devido à baixa representatividade de zonas ripárias entre as unidades amostrais utilizadas por este estudo, não foi possível detectar quais fatores determinam este padrão de distribuição (Menin *et al.*, 2011).

Neste estudo, investiguei a existência de filtros ambientais ao longo de áreas ripárias da Reserva Florestal Adolpho Ducke, representados pela variação em características edáficas, hidrológicas e de estrutura da vegetação do sub-bosque relacionadas à história natural destas duas espécies. Especificamente, procurei testar se o gradiente de variação ambiental entre áreas ripárias da reserva seria suficiente para explicar os limites de ocorrência e a variação nas densidades locais das espécies.



**Figura 1:** Mapa da Reserva Florestal Adolpho Ducke (RFAD), representando os limites da reserva (linhas pontilhadas), o sistema de trilhas (linhas vermelhas), o sistema de drenagem (linhas azuis) e as cotas altitudinais (cores graduais). A cor marrom escura no centro do mapa representa o platô central no sentido N-S.

## Espécies-Alvo

*Atelopus spumarius* (Figura 2) é uma espécie terrestre e diurna, com coloração aposemática relacionada à presença de toxinas no tegumento. Está distribuída somente em terras baixas (altitude inferior a 600 metros) na Amazônica central e setentrional (Lötters *et al.*, 2002). Na RFAD, foi registrada até o momento na bacia de drenagem do lado leste, onde está distribuída nas micro-bacias dos igarapés Tinga, Uberê e Ipiranga

(Lima *et al.*, 2006; Menin *et al.*, 2011). Algumas espécies do gênero *Atelopus* são consideradas territorialistas e fieis aos sítios de reprodução, permanecendo no mesmo local pelos menos durante toda estação reprodutiva (veja Crump, 1986; Lötters, 1996), sugerindo uma baixa troca de indivíduos entre grupos de indivíduos próximos nos períodos de reprodução (Lampo *et al.*, 2012).



**Figura 2:** *Atelopus spumarius*

Na RFAD, os indivíduos machos de *Atelopus spumarius* medem entre 26 e 29 mm e as fêmeas entre 31 e 39 mm de comprimento rostro-cloacal, e geralmente são encontrados sobre a serrapilheira ou sobre troncos caídos nas proximidades de igarapés. De novembro a maio, durante a estação chuvosa, os machos da espécie vocalizam nas margens de igarapés (Lima *et al.*, 2006). Desovas da espécie podem ser encontradas em poças conectadas aos igarapés e os girinos no próprio igarapé, geralmente fixados sobre rochas no substrato (Gascon, 1989). Considerando a biologia e o modo reprodutivo da espécie, além de sua coloração aposemática, é provável, por exemplo, que igarapés com maior vazão (permitindo a formação de um maior número de poças marginais e uma maior incidência luminosa) possam relacionar-se a uma maior disponibilidade de sítios reprodutivos adequados, e conseqüentemente a uma maior densidade de indivíduos adultos em suas margens.

*Atelopus spumarius* está listado como “Vulnerável” na lista de espécies ameaçadas da IUCN, devido a uma projeção de declínio populacional da espécie, inferida a partir do declínio de outras espécies do gênero *Atelopus* (Azevedo-Ramos *et al.*, 2012). Uma das causas do declínio dessas outras espécies de *Atelopus* é a contaminação pelo fungo patogênico *Batrachochytrium dendrobatidis* (BD) e a supressão da vegetação nas localidades onde estão distribuídas (La marca *et al.*, 2005). Portanto, monitoramentos de

espécies de *Atelopus*, que já foram afetadas em outras localidades na Amazônia brasileira, são necessários para assim poder registrar possíveis declínios caso venham a acontecer.

*Allobates sumtuosus* (Figura 3) é uma espécie terrestre e diurna, a qual os indivíduos machos medem, na RFAD, entre 14 e 16 mm e as fêmeas entre 16 e 19 mm de comprimento rostro-cloacal, e reproduzem-se intensamente de janeiro a março (Lima *et al.*, 2006). Neste período, os machos vocalizam nas proximidades de poças isoladas, principalmente em ambientes ripários da RFAD. Outras espécies do gênero *Allobates* são territorialistas e, após estabelecerem um território, permanecem fieis ao sítio reprodutivo durante o período de reprodução, sendo que em algumas espécies do gênero a fêmea é fiel a sua área de vida e em outras os machos permanecem por até 255 dias em um mesmo sítio reprodutivo (veja Guida *et al.*, 2002; Kaefer *et al.*, 2012).



**Figura 3:** *Allobates sumtuosus*

*Allobates sumtuosus* está distribuído amplamente na bacia Amazônica, ao norte dos rios Negro e Amazonas (Simões *et al.*, 2013). Na RFAD foi registrado na bacia de drenagem do lado oeste, onde ocorre nas micro-bacias dos igarapés Barro Branco, Acará e Bolívia (Lima *et al.*, 2006; Menin *et al.*, 2011). Com base na biologia reprodutiva e comportamento da espécie, solos mais argilosos, ambientes ripários com maior cobertura vegetal do sub-bosque e maior número de poças isoladas possam influenciar positivamente sua ocorrência e densidade local. *A. sumtuosus* está listada na lista da IUCN como “Dados insuficientes” (Salas, 2004). Portanto, informações sobre os fatores que influenciam a distribuição e densidade local são importantes para definir o status de conservação da espécie.

## OBJETIVOS

Objetivo geral deste estudo foi:

– Utilizar dados sobre a distribuição e densidade local de duas espécies de anuros diurnos (*Allobates sumtuosus* e *Atelopus spumarius*) para investigar a existência de filtros ambientais determinados por gradientes ambientais existentes em zonas ripárias e nos riachos adjacentes, em uma área de 64 Km<sup>2</sup> de floresta de terra-firme da Amazônia central.

Objetivos específicos deste estudo foram:

- Avaliar se os ambientes ripários da RFAD diferem entre as duas principais bacias de drenagem, em termos de fatores edáficos, hidrológicos e vegetacionais, provavelmente importantes na história natural das duas espécies de sapos;
- Avaliar se a ocorrência e densidade de *Allobates sumtuosus* e *Atelopus spumarius* respondem, em escala local, a diferenças sutis de filtros ambientais.

## CAPÍTULO 1

---

Jorge, R.F., Simões, P.I., Magnusson, W.E., & Lima, A.P.  
Fine-scale habitat heterogeneity explains the local  
distribution of two Amazonian frog species of  
conservation concern. Submetido a *Biotropica*.

1

2

3 LRH: Jorge, Simões, Magnusson, and Lima.

4 RRH: Environmental filters affect anuran distributions.

5

6 ***Title: Fine-Scale Habitat Heterogeneity Explains the Local Distribution of Two Amazonian***  
7 ***Frog Species of Conservation Concern***

8

9 *Authors: Rafael F. Jorge<sup>1,\*</sup>, Pedro I. Simões<sup>2</sup>, William E. Magnusson<sup>2</sup> & Albertina P. Lima<sup>2</sup>*

10

11 <sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia  
12 (INPA), Avenida Efigênio Sales, 2239, Bairro Aleixo, Manaus, Amazonas, Brasil

13 <sup>2</sup>Coordenação de Biodiversidade – INPA, Avenida Efigênio Sales, 2239, Bairro Aleixo, Manaus,  
14 Amazonas, Brasil

15 *\*Corresponding author: rafajorgebio@gmail.com*

16

17 Received \_\_\_\_\_; Revision accepted \_\_\_\_\_.

18

19

20

1

2 **ABSTRACT**

3 Species-distribution models based on remote sensing data may be useful to support conservation  
4 decisions at wide geographical scales. However, they may be inadequate for planning  
5 conservation zones within small reserves because many species occur patchily within the broad  
6 envelopes defined by such models. We investigated the spatial distributions of two frog species  
7 of conservation relevance, *Allobates sumtuosus* and *Atelopus spumarius*, within a 64 km<sup>2</sup> reserve  
8 in the Brazilian Amazonia. We undertook visual and acoustic surveys in 40 riparian plots  
9 distributed throughout the two major drainage basins in the Reserva Ducke, on the outskirts of  
10 Manaus, from January to March 2013. Each species was totally or largely confined to only one or  
11 other of the major drainage basins within the reserve. The drainages differ in environmental  
12 variables, such as stream pH and the density of connected and isolated pools. The differences in  
13 abiotic characteristics of drainages are associated the limited distributions of the frog species.  
14 Within drainages, distributions are also affected by stream discharge. The density of *Allobates*  
15 *sumtuosus* was negatively affected by stream pH and stream discharge and positively influenced  
16 by the number of isolated pools. The occurrence of *Atelopus spumarius* was associated with  
17 streams with intermediated discharge, pH near neutral and many pools connected to the stream.  
18 Very large reserves will probably contain sufficient landscape heterogeneity to accommodate  
19 most species. However, due to strongly patchy distributions, *in situ* studies using fine-scale  
20 species distribution models will be necessary to assess the adequacy of reserves with few square  
21 kilometers in Amazonia for the conservation of anurans.

22 *Key words:* Abiotic environment; Amazonia; *Allobates sumtuosus*; *Atelopus spumarius*; reserves;  
23 riparian zones; Species Distribution Models.

24



1  
2 IN REGIONS OF HIGH HUMAN POPULATION DENSITY, REMNANTS OF ORIGINAL  
3 HABITAT AVAILABLE FOR THE CREATION OF CONSERVATION UNITS are rare, and  
4 normally include only very small areas that retain native vegetation cover, and may be less than a  
5 few square kilometers (Leroux *et al.* 2010). Therefore, management strategies concerned with the  
6 detection, delimitation or implementation of conservation units must consider the subtle levels of  
7 environmental variation that exist within such remnants, and their influence on the occurrence  
8 and local densities of the species they are intended to conserve (Groves *et al.* 2002). Recent  
9 studies have attempted to evaluate the geographical distribution of species and identify priority  
10 areas for conservation using Species Distribution Modeling (SDM) techniques (Sattler *et al.*  
11 2007, Peterson & Soberón 2012, Rangel & Loyola 2012, Serra *et al.* 2012, Bernardo-Silva *et al.*  
12 2012). These analyses commonly use variables obtained by remote sensing methods to represent  
13 environmental characteristics in relatively large areas, and they are useful to identify extensive  
14 areas, generally exceeding 100 km<sup>2</sup>, as conservation priorities (*e.g.* Serra *et al.* 2012, Bernardo-  
15 Silva *et al.* 2012). However, to conserve species that occur within natural remnants surrounded  
16 by urban areas, it is essential to use an appropriate scale to identify the environmental variation  
17 relevant to the species of concern. This is especially pertinent in urban and peri-urban forest  
18 remnants as these are generally less than 50 km<sup>2</sup> in extent (*e.g.* Sharma *et al.* 2014).

19         Analyses that employ SDM often use variables available in on-line databases (*e.g.*  
20 WorldClim), the majority of which contain climatic characteristics that vary at relatively gross  
21 geographic scales (Hijmans *et al.* 2005). Due to the difficulty in obtaining some environmental  
22 variables at the local scale by remote and interpolation methods, the smallest resolution variables  
23 used for SDM are limited to topographic, elevation and vegetation arboreal cover in scales that  
24 generally vary 1 to 10 Km<sup>2</sup> (*e.g.* Mackey & Lindenmayer 2001, Bellamy *et al.* 2013, Keil *et al.*  
25 2013). However, some species have discontinuous distributions in response to fine variations in  
26 environmental characteristics, such as the physical-chemical parameters of water bodies or soils,  
27 and the structure of forest understory, that are rarely distinguished by remote sensing techniques  
28 (Elith & Leathwick 2009, Ferraz *et al.* 2012). To predict the occurrence of such taxa, it is  
29 necessary to use models of species distribution at a scale of less than 1 km. Changes in these  
30 variables can occur between spatially proximate points and within narrow ranges of thresholds  
31 (Wiens 1989, 2000), and often result in the discontinuous distribution of the species under study.

1           At large scales, rapid changes between climatic zones or altitudinal bands can result in a  
2 complete turnover of species composition in assemblages (*e.g.* Terborgh 1971, Chust *et al.* 2006).  
3 At the regional scale, discrete topographic variation and changes in vegetation growth filter  
4 species composition, changing densities and distribution within the landscape (Phillips *et al.*  
5 2003, Vormisto *et al.* 2004, Filloy & Bellocq 2013). However, the environmental variation also  
6 acts as a filter at local scale, causing species substitution between patches within the same gross  
7 habitat, such as within riparian zones (Poff 1997, Wiens 2000). At the local scale, environmental  
8 filters can cause selection and variation on the density of species associated with specific  
9 environmental conditions, such as the physical-chemical properties of the soil or water courses or  
10 vegetation structure of the immediate area (Vormisto *et al.* 2000, Browne *et al.* 2009). Even when  
11 the scale is reduced to one of a few tens of square kilometers, some species are not distributed  
12 uniformly in space, because they are restricted by thresholds in environmental gradients within  
13 the extensive envelopes identified by SDMs. One way of choosing areas for conservation is to  
14 evaluate the complementarity of their species composition (Le Saout *et al.* 2013), and it is  
15 desirable for new conservation units to contain portions of the available environmental  
16 heterogeneity that are complementary to those already protected in existing reserves, providing  
17 adequate conditions for the survival of the greatest number of species possible (Groves *et al.*  
18 2002).

19           Species distributions in areas of *terra-firme* forest (*i.e.* forests that are not inundated  
20 seasonally by large rivers) in central Amazonia frequently show discontinuities in areas adjacent  
21 to small water courses in response to micro-topographic gradients (Costa *et al.* 2005, Costa *et al.*  
22 2008, Bueno *et al.* 2012, Menin *et al.* 2011, Ribeiro Jr. *et al.* 2012, Rojas-Ahumada *et al.* 2012)  
23 or in streamside areas influenced by sporadic flooding (Drucker *et al.* 2008, Espírito-Santo *et al.*  
24 2013). Such associations are difficult to detect in analyses that use large geographical scales  
25 (Wiens 1989).

26           Because they have a two-phase life-cycle, many amphibian species have complex  
27 ecological requirements and habitat specificities, depending on the existence and maintenance of  
28 specific breeding sites to survival, reproduction and permanence in an area, so are therefore good  
29 models for studies attempting to relate variations in occurrence and local density of individuals to

1 the existence of environmental filters imposed by physical-chemical differences between water  
2 bodies and their adjacent landscapes (e.g. Keller *et al.* 2009, von May *et al.* 2010).

3 In the current study, we used data on the distribution and local density of two species of  
4 diurnal anurans, *Atelopus spumarius* and *Allobates sumtuosus*, to investigate the effects of  
5 environmental gradients occurring along small streams and their adjacent riparian zones at  
6 Reserva Florestal Adolpho Ducke (RFAD), a 64 – km<sup>2</sup> reserve of *terra-firme* forest in central  
7 Amazonia. *Atelopus spumarius* Cope 1871 (Family Bufonidae) occurs mainly along the margins  
8 of small forest streams, and reproduction involves egg deposition in small ponds connected to  
9 streams and larval development on the streambed itself (Gascon 1989, Hödl 1990, Lima *et al.*  
10 2006). Species of *Atelopus* are vulnerable to the removal of native vegetation and to infection by  
11 the chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatidis*, and many clades are either extinct or have  
12 suffered extreme population declines in recent years (La Marca *et al.* 2005, Lips *et al.* 2008). *A.*  
13 *spumarius* is listed in IUCN Red List like “Vulnerable” and decrease population trend (Azevedo-  
14 Ramos *et al.* 2012). *Allobates sumtuosus* Morales 2002 (Family Dendrobatidae) lays its eggs in  
15 gelatinous nests on dead leaves on the forest floor. After hatching the tadpoles are transported by  
16 males to small isolated pools of water (Lima *et al.* 2006). The identity and distribution of this  
17 species remained obscure for more than a decade following its description, and information on  
18 the ecological factors associated with its occurrence and local abundance remain limited (Simões  
19 *et al.* 2013). *A. sumtuosus* is listed in IUCN Red List like “Data deficient” and unknown  
20 population trend. The spatial distribution of both species across the RFAD is poorly known and  
21 based on few records (Menin *et al.* 2011). We used *Atelopus spumarius* and *Allobates sumtuosus*  
22 as model to relate variations in occurrence and local density of individuals to the existence of  
23 environmental filters imposed by physical-chemical differences between water bodies and their  
24 adjacent alluvial plains.

25 We sought to evaluate whether the riparian environments of the RFAD differed between  
26 the two main drainage basins, in terms of edaphic, hydrological and vegetation factors likely to  
27 be important in the natural history of the two frog species, and if the occurrence and density of  
28 *Allobates sumtuosus* and *Atelopus spumarius* respond, at the local scale, to subtle differences in  
29 environmental filters.

1

2

3 **METHODS**

4

5 STUDY AREA.— The study was undertaken within the Reserva Florestal Adolpho Ducke – RFAD  
6 (59°55' W, 2°57' S), a 100 – km<sup>2</sup> forest remnant situated north of the city of Manaus, Amazonas  
7 State, Brazil (Fig. 1). The reserve has a humid tropical climate and the vegetation is  
8 predominantly Dense Evergreen *Terra-Firme* Forest (IBGE 1992). Canopy height in riparian  
9 areas varies between 25 and 30 m and the understory of stem-less palms, shrubs and herbaceous  
10 vegetation is dense (Ribeiro *et al.* 1999). The reserve has two major drainage basins, separated by  
11 a central plateau that runs north-south. Both drainage basins contain first-, second- and third-  
12 order streams, the margins of which have narrow alluvial terraces that vary between 18 and 78 m  
13 in width (Rodrigues 2006). The terraces are sporadically inundated by overflow from the streams  
14 after strong rains. Pools occur along the alluvial terraces and these may endure for periods  
15 varying from a few days to 12 months (Pazin *et al.* 2006).

16 DATA COLLECTION.—Collection of presence and density data for two species was undertaken  
17 between January and March 2013, coinciding with the reproductive season peak for the two  
18 species, when vocal activity facilitated their detection. Counts of individuals were undertaken in  
19 all plots on three occasions (10–25 de January, 6–21 de February and 25 February–10 March).  
20 All counts occurred between 0600 and 0900 h and between 1620 and 1730 h, the hours of peak  
21 activity for the two species (Lima *et al.* 2006). Outset of search hours were alternated between  
22 plots on each sampling occasion.

23 Twenty plots were located in each of the two main drainage basins (eastern and western),  
24 in a 64 – km<sup>2</sup> sector of the reserve (Fig. 1). The plots followed the RAPELD model for sampling  
25 plots in riparian zones (see details at <http://ppbio.inpa.gov.br/instalacao/riparias>). Plots were 250  
26 m in total length, divided into 25 linear segments, each 10 m in length. Due to the difference in  
27 the spatial distribution of species in relation to the adjacent stream, the width used to sample

1 *Atelopus spumarius* was 4 m (~ 1000 m<sup>2</sup> per plot) and 10 m (~ 2500 m<sup>2</sup> per plot) for *Allobates*  
2 *sumtuosus* (Fig. S1). During each sampling event, visual and auditory searches were conducted  
3 by one person, who walked along the sampling plot steadily at about 4 km/h. As the number of  
4 calling individuals can vary according to weather conditions, the largest number of individuals  
5 recorded per plot among the three sampling occasions was used as the index of relative density in  
6 the analyses described below.

7 In each sampling plot, we measured environmental variables relating to its riparian zone  
8 and adjacent stream. We counted the number of isolated pools within 10 m of the stream and the  
9 number of pools connected to the stream's main course.

10 The understory cover was measured at a distance of 50 cm from the center line of the plot  
11 in the direction of the stream. An aluminum rod 1.5 cm in diameter and 150 cm long was  
12 positioned vertically and moved along the center line. Each 2 m, we recorded whether or not any  
13 part of the rod touched the vegetation, giving a maximum of 125 records per plot (adapted from  
14 Bullock 1996).

15 Soil samples were collected at to depth of 10 cm, at six points along the length of the plot,  
16 with 50 m between each sample. The physical structure of the soil was estimated using the  
17 percentage of clay in a mixed sample derived from the six sub-samples, from which 5 g was  
18 taken for analysis. The physical analyses were done by technicians at the Laboratório Temático  
19 de Solos e Plantas (LTSP) at the Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) in  
20 Manaus, following the method described by Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias  
21 (Embrapa 2009). Percentage clay content was used in analyses because it has been shown to  
22 influence the composition and distribution of orders of soil invertebrates that are eaten by anurans  
23 in this region (Franklin *et al.* 2005, Aguiar *et al.* 2006).

24 The discharge of the stream adjacent to each plot was calculated by the formula  $Q = A$   
25  $\cdot V_m$ , where Q represents the discharge-rate, A the cross-sectional area of the stream and  $V_m$  is  
26 the median current velocity. Width, depth and current velocity were recorded every 50 m (six  
27 points). At each point, the width of the stream and 7 measurements made of depth at regular  
28 intervals the stream. Data were recorded between 1 and 30 September, 2012 (local dry season).  
29 The average of the six measurements was used to calculate the discharge (in m<sup>3</sup>/sec). Details of  
30 methods to describe the physical characteristics of streams are given on Appendix S1.

1           The pH of streams and pools was measured with a digital potentiometer (Aqua-Check™  
2 Water Analyzer, Analytical HI). The measurements were obtained at the end of the rainy season,  
3 when the larvae of the two focal species were already present in streams (*Atelopus spumarius*)  
4 and pools (*Allobates sumtuosus*).

5           We chose these environmental variables based on their biological importance for the  
6 natural history of the two species.

7           Details on the methods used to obtain the environmental variables in the field, the  
8 procedures for generating the values of stream discharge used in the statistical analyses and the  
9 raw data can be accessed in the Public Data Repository of the Program for Research on  
10 Biodiversity (Repositório Público de dados do Programa de Pesquisas da Biodiversidade in  
11 <http://ppbio.inpa.gov.br/repositorio/dados>).

12 STATISTICAL ANALYSES.—Environmental differences between drainages were investigated via  
13 Analysis of Variance (ANOVA) with one factor (drainage) and two levels (eastern or western  
14 drainage). To detect co-linearity between environmental variables a multiple linear correlation  
15 analysis was used. When cases of high co-linearity ( $> 0.7$ ) between variables were identified, one  
16 was chosen for use in subsequent regression models.

17           We used a correlogram based on Moran's I to identify and quantify possible spatial  
18 autocorrelation in the predictor and response variables because the presence of autocorrelation in  
19 both the predictor and response variable can induce type I errors in statistical tests (Legendre  
20 1993). As there was no significant autocorrelation in either of the response variables at any  
21 distance class ( $P > 0.05$  in all cases), no adjustments for autocorrelation were necessary in the  
22 statistical tests.

23           The effects of five environmental variables (number of isolated pools, understory  
24 vegetation cover, soil clay percentage, streams pH and discharge) on the density of *Allobates*  
25 *sumtuosus* were evaluated using a multiple linear regression model.

26           *Atelopus spumarius* was recorded in only a small number of sample plots, distributed  
27 exclusively in the eastern drainage (see Results). Therefore, a smaller number of predictor  
28 variables (number of pools connected to streams, stream pH and discharge) were tested using  
29 logistic regression models to evaluate their effect on the occurrence (presence/absence) of *A.*  
30 *spumarius* in the reserve. The densities of *A. spumarius* varied within the eastern drainage, and

1 the effects of the same three predictor variables on the local density of *A. spumarius* were  
 2 evaluated using a multiple linear regression model.

## 3 4 **RESULTS**

5  
 6 ENVIRONMENTAL DIFFERENCES BETWEEN DRAINAGE BASINS.— The mean pH in pools connected  
 7 to the streams was correlated with the average pH at both streams ( $r = 0.68$ ), and isolated pools ( $r$   
 8  $= 0.87$ ). Since pool pH is influenced by the frequent flooding from streams, stream pH was used  
 9 as a proxy for all these variables. There was little co-linearity among these variables (tolerance  $>$   
 10  $0.6$ , in all cases). Isolated pools (breeding sites for *A. sumtuosus*) were more frequent in plots in  
 11 western drainage ( $N = 40$ ,  $F_{1,38} = 6.75$ ,  $P = 0.013$ ), while ponds connected to streams (breeding  
 12 sites for *A. spumarius*) were more frequent in the eastern drainage ( $N = 40$ ,  $F_{1,38} = 6.20$ ,  $P =$   
 13  $0.017$ ; Fig. S2). Stream pH was significantly more acidic in the western drainage than in the  
 14 eastern ( $N = 40$ ,  $F_{1,38} = 83.55$ ,  $P < 0.0001$ ; Fig. S2). Understory vegetation cover, soil clay  
 15 content and stream discharge (Fig. S2) did not differ significantly between drainages (Table S1).

16 DISTRIBUTION AND LOCAL DENSITIES OF *ALLOBATES SUMTUOSUS* AND *ATELOPUS SPUMARIUS*.—  
 17 *Allobates sumtuosus* was detected in 26 of 40 plots. Its maximum density varied from one to 19  
 18 individuals per plot, and was higher in the western drainage. The highest number of individuals  
 19 recorded in the best of the three sampling occasions was 136 (Fig. 2). In contrast, a total of only  
 20 13 individuals of *A. sumtuosus* were recorded from six plots in the eastern drainage, with a  
 21 density ranging from zero to four individuals per plot.

22 *Atelopus spumarius* was recorded in 10 plots and detected only in the eastern drainage. The  
 23 maximum local density ranged from one to nine individuals per inhabited plot. *Allobates*  
 24 *sumtuosus* and *A. spumarius* co-occurred in four sampling plots, where their densities were  
 25 inversely proportional to one another (Fig. 2). The low number of observations of species co-  
 26 occurrence prevents statistical analysis of the extent and significance of this relationship. There  
 27 was no record of either species in eight of the sampling plots, all located in the eastern drainage.

28 ENVIRONMENTAL INFLUENCES ON THE DENSITY AND DISTRIBUTION OF *ALLOBATES SUMTUOSUS*. —  
 29 The multiple linear regression model explained 60% of the variation in *A. sumtuosus* density  
 30 (ALSD) in a model that included number of isolated pools (NIP), stream discharge (SD), pH,  
 31 understory vegetation cover (UVC) and soil clay content (SCC – %) as predictor variables

1 (ALSD = 2.63 + 0.94 NIP - 27.83 SD - 0.94 pH + 0.07 UVC + 0.25 SCC;  $R^2 = 0.60$ ,  $F_{5,20} = 5.92$ ,  
 2  $P = 0.002$ ). The local density of *A. sumtuosus* was positively related to the number of isolated  
 3 pools in plots (Fig. 3A). The discharge rate and pH of the stream adjacent to plots were  
 4 negatively related the local density of this species (Fig. 3B and 3C, respectively). *Allobates*  
 5 *sumtuosus* is distributed widely in riparian areas in RFAD, and occurred in plots with pH varying  
 6 from 2.02 to 8.21, stream discharges of 0.003 to 0.43 m<sup>3</sup>/sec and a number of connected pools  
 7 that ranged from 1 to 11. However, the lowest densities (1 to 4) were recorded adjacent to  
 8 streams that were less acidic (pH 6.8 to 8.2) and with higher stream discharge (0.1 to 0.43  
 9 m<sup>3</sup>/sec), as well as in plots with a reduced number of isolated pools (1 to 3).

10 ENVIRONMENTAL INFLUENCES ON THE PRESENCE/ABSENCE OF *ATELOPUS SPUMARIUS*.—The logistic  
 11 regression model indicated that much of the variation (McFadden's  $Rho^2 = 0.25$ ) in the presence  
 12 or absence of *A. spumarius* (PA) could be explained by a model that included pH, stream  
 13 discharge (SD), and number of connected pools (NCP) as predictor variables (PA = - 6.15 + 0.65  
 14 pH + 10.6 SD - 0.02 NCP;  $\chi^2 = 11.43$ ,  $P = 0.01$ ). Stream discharge ( $Z = 1.97$ ,  $P = 0.04$ ) and pH ( $Z$   
 15 = 2.02,  $P = 0.04$ ) were the variables that contributed most to explaining the occurrence of the  
 16 species in the logistic model.

17 The occurrence and density of *A. spumarius* was strongly associated with riparian areas  
 18 adjacent to streams with basic pH (Fig. 4). The species was found in plots with pH from 5.0 to  
 19 8.2, stream discharges of 0.01 to 0.43 m<sup>3</sup>/sec, and number of connected pools varying from 4 to  
 20 10. The multiple linear regression explained 37% of the variation in *A. spumarius* density  
 21 (ATSD) (ATSD = 10.421 - 0.9 PH + 14.69 SD - 0.63 NCP,  $R^2 = 0.37$ ,  $F_{3,16} = 3.18$ ,  $P = 0.05$ ). The  
 22 density of *A. spumarius* was strongly associated with riparian areas adjacent to streams with  
 23 higher stream discharge rates (Fig. 4). Within the eastern drainage, the densities of *A. spumarius*  
 24 were higher in plots with moderate numbers of connected pools (5), adjacent to streams with pH  
 25 nearer to neutral (6.38 to 8.15) and intermediate discharge (0.108 to 0.165 m<sup>3</sup>/sec) (Fig. 5).

26

## 27 **DISCUSSION**

28

29 The distributions of *Allobates sumtuosus* and *Atelopus spumarius* were not uniform across  
 30 riparian environments within the same landscape of upland forest. Gradual variation in



1 environmental characteristics of the riparian zones and adjacent streams appear to act as  
2 environmental filters, influencing the occurrence and density of the two frog species.

3         Variation in physical-chemical characteristics of water bodies inhabited by larvae appears  
4 to be more relevant to both the establishment of individuals and the determination of their local  
5 densities, than do the characteristics of terrestrial riparian habitat, which is inhabited by adults of  
6 these species. These findings suggest that species surveys conducted at small spatial scales, and  
7 evaluating associations between species and environmental variables measured *in situ*, can  
8 greatly benefit the planning of strategies for conservation of tropical frogs.

9         To orient strategies for the conservation of endangered frog species, several recent studies  
10 have used techniques of Species Distribution Modeling where key variables obtained by remote  
11 methods were used to locate areas which potentially could contain reproductive sites (*e.g.*  
12 Giovanelli *et al.* 2008, Gómez-Rodríguez *et al.* 2008, Bernardo-Silva *et al.* 2012). However, the  
13 environmental variables used in these studies were derived from relatively coarse scales and are  
14 effective in the demarcation of reserves only when large areas are available for conservation. The  
15 application of the results of these models to broader guidelines for establishment of protected  
16 areas could result in the inclusion of extensive areas of unsuitable habitats, and may or may not  
17 include areas with the ecological requirements necessary for the resilience of the species of  
18 interest. Thus, the information generated by the large-scale SDMs is not recommended for  
19 decisions regarding the environmental complementarity of small reserves (Loseille *et al.* 2003;  
20 this study). Environmental variables obtained in the field, as well as species abundance data are  
21 needed to predict the local distribution of species, and to foster appropriate local-scale  
22 management decisions and ensure the establishment of protected areas of sufficient size and  
23 habitat complexity (*e.g.* Gómez-Rodríguez *et al.* 2008, Costa *et al.* 2010).

24         The two species of diurnal frogs that formed the focus of this study are frequently  
25 encountered in RFAD, within riparian zones with either a larger number of isolated pools  
26 (*Allobates sumtuosus*) or pools connected to streams (*Atelopus spumarius*). This is probably due  
27 to the greater availability of conditions for larval development. Environmental characteristics  
28 associated with water bodies and their riparian zones differ between the two drainage basins  
29 within the reserve and these differences potentially limits the occurrence of *A. sumtuosus* and *A.*  
30 *spumarius* to RFAD's western and eastern sectors. Additionally, within the area in which each  
31 species occurs, their local density varies principally in relation to physical and chemical variation

1 in or adjacent to rainforest streams. Consequently, while all areas of continuous forest upland  
2 may typically be regarded as comprising almost identical habitat (*e.g.* riparian zones *sensu*  
3 Pinheiro 2007) they do, in fact, encompass environmental mosaics that act as environmental  
4 filters for some species of frogs.

5         Local distributions and abundances of frog assemblages associated with riparian areas are  
6 usually considered to be influenced by local soil characteristics or vegetation structure (Parris &  
7 McCarthy 1999, Keller *et al.* 2009, Menin *et al.* 2011, Ribeiro Jr. *et al.* 2012, Rojas-Ahumada *et*  
8 *al.* 2012). Our results indicate that factors not previously considered in those studies, such as pH  
9 and discharge of adjacent streams, need to be investigated in order to understand distribution of  
10 adult specimens of some Amazonian frogs. These effects may relate to particular stages in the life  
11 history of the species. Species with life histories similar to that of *A. sumtuosus* spawn on the leaf  
12 litter on the forest floor and transports larvae to isolated pools after a few weeks of development  
13 (Parris & McCarthy 1999). Hence, sporadic flooding from larger streams that inundate much of  
14 the floodplain potentially promotes great unpredictability in their reproductive success, as eggs  
15 and larvae may be washed into the main stream where they would be subject to predation by fish.  
16 For species with long larval stages developing in perennial streams and larger water bodies, such  
17 as *A. spumarius* (Gawor *et al.* 2012, Zimmerman & Simberloff 1996), the increased incidence of  
18 light and greater discharge should permit a greater production of algae and associated  
19 invertebrates, both of which are used as food by tadpoles (Gawor *et al.* 2012). The restriction of  
20 adults of *A. spumarius* to the banks of streams with a limited range of pH is, therefore, likely not  
21 associated with adult ecology, but to the restricted physiological tolerance of larvae to a range of  
22 pH values that are close to neutral (6.38 to 8.15). Similarly, tadpoles of *A. sumtuosus* do not  
23 tolerate alkaline waters and eventually die when placed in water with pH above 6.5, as a result of  
24 either developmental abnormalities or inhibited growth (see Pierce 1985). In consequence, the  
25 adults of this species were associated with banks of streams with more acidic water.

26         Other unmeasured ecological factors may influence the distribution of both species in the  
27 reserve. In the four sampling units where the species co-occurred, a negative correlation was  
28 observed between their densities. The existence of asymmetrical competition has been  
29 documented between other diurnal frogs (Lehtinen 2005, Twomey *et al.* 2008). However, the  
30 natural histories of *Allobates sumtuosus* and *Atelopus spumarius* are very distinct from each other  
31 (Lima *et al.* 2006), which makes it difficult to pinpoint a single ecological factor likely to trigger

1 competitive interactions between both taxa. Historic factors don't influence the distribution and  
2 density pattern of *A. sumtuosus* and *A. spumarius* locally, because the two species reach the both  
3 sides (east and west) of the reserve by dispersing (Rodrigues 2006, this study).

4 We demonstrate that, even within a relatively small area (64 km<sup>2</sup>) of the same forest  
5 vegetation type, floodplains bordering small streams contain sufficient environmental variation to  
6 limit the occurrence of frog species. Small and imperceptible environmental variations such as  
7 incremental differences in discharge rate and pH in the areas immediately adjacent to these  
8 streams, seem to be more effective environmental filters to the distribution of these species than  
9 those factors from the terrestrial environment that have been investigated.

10 Presence-absence mapping of species may not be sufficient to develop distribution models  
11 for species in all geographic contexts. In this study, *Allobates sumtuosus* occurred in low  
12 densities in one catchment (the eastern drainage basin) where the species may not maintain self-  
13 sustaining demographic processes. Data on density reveal that those areas are probably  
14 suboptimal for the species. At the local scale, where mass effects may results in dispersing  
15 individuals occupying suboptimal conditions, modeling algorithms based on species relative  
16 densities will probably be more useful for conservation planning than models based on presence-  
17 absence data. Field studies are more demanding, and sometimes more costly, than studies based  
18 on remote sensing, but they seem to be an essential complement to the use the remote-sensing  
19 surrogates to define the location of small reserves in the Amazon.

## 21 **ACKNOWLEDGENTS**

22  
23 We thank J. S. Lopes and the other field assistants for their help in data collection. J. Zuanon for  
24 suggestions regarding obtaining physical-chemical variables of streams. A. Quesada for the  
25 suggestions on collection, analysis and interpretation of physical-chemical data of soil, F. Costa  
26 for assistance for implementation of the auto-correlation analyses and A. Barnett for correction  
27 the English. C.E.C. Freitas and M. Menin (Universidade Federal do Amazonas) for help on using  
28 digital potentiometer. The Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
29 (CNPq) granted scholarships to R. F. Jorge (Project 830002/1999-5) and P. I. Simões (Project  
30 401327/2012-4 – Programa Ciência sem Fronteiras). The fieldwork was funded with resources  
31 from the Programa de Suporte a Núcleos de Excelência (PRONEX) and Fundo de Amparo à

1 Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM - 653/2009). This study was conducted at the Site #  
2 1 of the Programa Ecológico de Longa Duração (PELD). The Programa de Pesquisa em  
3 Biodiversidade (PPBio) and Centro Integrado de Estudos da Biodiversidade Amazônica (INCT-  
4 CENBAM) provide the infrastructure.

5

6

## 7 **LITERATURE CITED**

8

- 9 AZEVEDO-RAMOS, C., S. RON, L.A. COLOMA, M.R. BUSTAMANTE, A. SALAS, R. SCHULTE, S.  
10 LÖTTERS, A. ANGULO, F. CASTRO, J. LESCURE, C. MARTY, E. LA MARCA, AND M.  
11 HOOGMOED. 2012. *Atelopus spumarius*. In IUCN Red List of Threatened Species. Version  
12 2012.1. Available in: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org). Accessed in: 13 August 2012.
- 13 AGUIAR, N. O., T. L. GUALBERTO, AND E. FRANKLIN. 2006. A medium-spatial scale distribution  
14 pattern of Pseudoscorpionida (Arachnida) in a gradient of topography (altitude and  
15 inclination), soil factors, and litter in a central Amazonia forest reserve, Brazil. *Braz. J.*  
16 *Biol.* 66: 791–802.
- 17 BELLAMY, C., C. SCOTT, AND J. ALTRINGHAM. 2013. Multiscale, presence-only habitat suitability  
18 models: fine-resolution maps for eight bat species. *J. Biogeogr.* 50: 892–901.
- 19 BERNARDO-SILVA, J., C. MARTINS-FERREIRA, R. MANEYRO, AND T. R. O. FREITAS. 2012.  
20 Identification of Priority Areas for conservation of two endangered parapatric species of  
21 red-bellied toads using ecological niche models and hotspot analyses. *Natureza &*  
22 *Conservação* 10: 207–213.
- 23 BROWNE, C. L., C. A. PASZKOWSKI, A. L. FOOTE, A. MOENTING, AND S. M. BOSS. 2009. The  
24 relationship of amphibian abundance to habitat features across spatial scales in the boreal  
25 plains. *Ecoscience* 16: 209–223.
- 26 BUENO, A. S., R. S. BRUNO, T. P. PIMENTEL, T. M. SANAIOTTI, AND W. E. MAGNUSSON. 2012. The  
27 width of riparian habitats for understory birds in a Amazonian forest. *Ecol. Appl.* 22: 722–

- 1           734.
- 2   BULLOCK, J. 1996. Plants. in: Sutherland, W.F. ed. *Ecological Census Techniques*. Cambridge  
3           University Press. Cambridge, U.S.A.
- 4   CHUST, G., CHAVE, J., CONDIT, R., AGUILAR, S., LAO, S., AND PÉREZ, R. 2006. Determinants and  
5           spatial modeling of tree  $\beta$ -diversity in a tropical forest landscape in Panama. *J. Veg. Sci.*  
6           17: 83–92.
- 7   COSTA, F. R. C., W. E. MAGNUSSON, AND R. C. LUIZÃO. 2005. Mesoscale distribution patterns of  
8           Amazonian understory herbs in relation to topography, soil and watersheds. *J. Ecol.* 93:  
9           863–878.
- 10   COSTA, F. R. C., G. JEAN-LOUIS, A. P. LIMA, AND O. S. PEREIRA. 2008. Gradients within  
11           gradients: The mesoscale distribution patterns of palms in a central Amazonian forest. *J.*  
12           *Veg. Sci.* 20: 1–10.
- 13   COSTA, G. C., C. NOGUEIRA, R. B. MACHADO, AND G. R. COLLI. 2010. Sampling bias and the use  
14           of ecological niche modeling in conservation planning: a field evaluation in a biodiversity  
15           hotspot. *Biodivers. Conserv.* 19: 883–899.
- 16   DRUCKER, D. P., F. R. C. COSTA, AND W. E. MAGNUSSON. 2008. How wide is the riparian zone of  
17           small streams in tropical forests? A test with terrestrial herbs. *J. Trop. Ecol.* 24: 65–74.
- 18   ELITH, J., AND J. R. LEATHWICK. 2009. Species Distribution Models: Ecological explanation and  
19           prediction across space and time. *Annu. Rev. Ecol. Evolution, and Syst.* 40: 677–697
- 20   EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) 2009. Manual de análises  
21           químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Informação Tecnológica, Embrapa  
22           Solos, Brasília, DF.
- 23   ESPÍRITO-SANTO, H. M. V., M. A. RODRÍGUEZ, AND J. ZUANON. 2013. Reproductive strategies of  
24           Amazonian stream fishes and their fine-scale use of habitat are ordered along a  
25           hydrological gradient. *Freshwater Biol.* 58: 2494–2504.

- 1 FERRAZ, K. M. P. M. DE B., S. F. DE B. FERRAZ, R. C. DE PAULA, B. BEISIEGEL, AND C.  
2 BREITENMOSER. 2012. Species Distribution Modeling for conservation purposes. *Natureza*  
3 & *Conservação* 10: 214–220.
- 4 FILLOY, J., AND M. I. BELLOCQ. 2013. Spatial variation in bird species abundances:  
5 Environmental constraints across southern Neotropical regions. *Basic Appl. Ecol.* 14: 263–  
6 270.
- 7 FRANKLIN, E., W. E. MAGNUSSON, AND F. J. LUIZÃO. 2005. Relative effects of biotic and abiotic  
8 factors on the composition of soil invertebrates communities in an Amazonian savannah.  
9 *Appl. Soil Ecol.* 29: 259–273.
- 10 GARDA, A. A., H. C. WIEDERHECKER, A. M. GAINSBURY, G. C. COSTA, R. A. PYRON, G. H. C.  
11 VIEIRA, F. P. WERNECK, AND G. R. COLLI. 2013. Microhabitat variation explains local scale  
12 distribution of terrestrial Amazonian lizards in Rondônia, western Brazil. *Biotropica* 45:  
13 245–252.
- 14 GASCON, C. 1989. The tadpole of *Atelopus pucher* Boulenger (Anura:Bufonidae) from Manaus,  
15 Amazonas. *Rev. Bras. Zool.* 6: 235–239.
- 16 GAWOR, A., A. RAUHAUS, D. KARBE, K. VAN DER STRAETEN, S. LÖTTERS, AND T. ZIEGLER. 2012.  
17 Is there a chance for conservation breeding? *Ex situ* management, reproduction, and early  
18 life stages of the Harlequin toad *Atelopus flavescens* DUMÉRIL & BIBRON 1841 (Amphibia:  
19 Anura: Bufonidae). *Amphib. Reptile Conserv.* 5: 29–44.
- 20 GIOVANELLI, J. G. R. 2008. Modelagem do nicho ecológico de *Phyllomedusa ayeaye* (Anura :  
21 Hylidae): previsão de novas áreas de ocorrência para uma espécie rara. *Neotrop. Biol.*  
22 *Conserv.* 3: 59–65.
- 23 GÓMEZ-RODRÍGUEZ, C., J. BUSTAMANTE, S. KOPONEN, AND C. DÍAZ-PANIAGUA. 2008. High-  
24 resolution remote-sensing data in amphibian studies: identification of breeding sites and  
25 contribution to habitat models. *Herpetol. J.* 18: 103–113.

- 1 GROVES, C. R., D. B. JENSEN, L. L. VALUTIS, K. H. REDFORD, M. L. SHAFFER, J. M. SCOTT, J. V.  
2 BAUMGARTNER, J. V. HIGGINS, M. W. BECK, AND M. G. ANDERSON. 2002. Planning for  
3 biodiversity conservation: putting conservation science into practice. *Bioscience* 52: 499–  
4 512.
- 5 HIJMANS, R. J., S. E. CAMERON, J. L. PARRA, P. G. JONES, AND A. JARVIS. 2005. Very high  
6 resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25: 1965–  
7 1978.
- 8 HÖDL, W. 1990. Reproductive diversity in Amazonian lowland frogs. *In* W. Hanke (Ed.). *Biology*  
9 *and Physiology of Amphibians*, pp. 41–60. *Fortschrine der Zoologie*, Gusrav Fischer  
10 Verlag . Swrtsarr, New York, EUA.
- 11 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 1992. Manual técnico da  
12 vegetação brasileira. Série Manuais Técnicos em Geociências. Série Manuais Técnicos em  
13 Geociências. IBGE, Rio de Janeiro, Brasil.
- 14 KEIL, P., J. BELMAKER, A. M. WILSON, P. UNITT, AND W. JETZ. 2013. Downscaling of species  
15 distribution models: a hierarchical approach. *Methods Ecol. Evol.* 4: 82–94.
- 16 KELLER, A., O-M. RÖDEL, K. E. LINSENMAIR, AND T. U. GRAFE. 2009. The importance of  
17 environmental heterogeneity for species diversity and assemblage structure in Bornean  
18 stream frogs. *J. Anim. Ecol.* 78: 305–314.
- 19 LA MARCA, E., K. R. LIPS, S. LÖTTERS, R. PUSCHENDORF, R. IBÁÑEZ, J. V. RUEDA-ALMONACID,  
20 R. SCHULTE, C. MARTY, F. CASTRO, J. MANZANILLA-PUPPO, J. E. GARCÍA-PÉREZ, E. TORAL,  
21 F. BOLAÑOS, G. CHAVES, J. A. POUNDS, AND B. YOUNG. 2005. Catastrophic population  
22 declines and extinctions in Neotropical harlequin frogs (*Bufo*idae: *Atelopus*). *Biotropica*  
23 37: 190–201.
- 24 LE SAOUT, S., M. HOFFMANN, Y. SHI, A. HUGHES, C. BERNARD, T. M. BROOKS, B. BERTZKY, S. H.  
25 M. BUTCHART, S. N. STUART, T. BADMAN, A. S. L. RODRIGUES. 2013. Protected areas and  
26 effective biodiversity conservation. *Science* 342: 803–805.

- 1 LEGENDRE, P. 1993. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? *Ecology* 74: 1659–1673.
- 2 LEHTINEN, R. M. 2005. Competitive interactions and distributional dynamics in two Malagasy  
3 frogs. *J. Trop. Ecol.* 21: 569–576.
- 4 LEROUX, S. J., M. A. KRAWCHUK, F. SCHMIEGELOW, S. G. CUMMING, K. LISGO, L. G. ANDERSON,  
5 M. PETKOVA. 2010. Global protected areas and IUCN designations: Do the categories  
6 match the conditions? *Biol. Conserv.* 143: 609–616.
- 7 LIMA, A. P., W. E. MAGNUSSON, M. MENIN, L. K. ERDTMANN, D. J. RODRIGUES, C. KELLER, AND  
8 W. HÖDL. 2006. *Guia de Sapos da Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazônia central.*  
9 Átterna Design Editorial, Manaus, Amazonas, Brasil.
- 10 LIPS, K. R., J. DIFFENDORFER, J. R. MENDELSON, AND M. W. SEARS. 2008. Riding the wave:  
11 reconciling the roles of disease and climate change in amphibian declines. *PLOS Biology* 6:  
12 441–454.
- 13 LOISELLE, B. A., C. A. HOWELL, C. H. GRAHAM, J. M. GOERCK, T. BROOKS, K. G. SMITH, AND P.  
14 H. WILLIAMS. 2003. Avoiding pitfalls of using Species Distribution Models in conservation  
15 planning. *Conserv. Biol.* 17: 1591–1600.
- 16 MACKEY, B. G., AND B. D. LINDENMAYER. 2001. Towards a hierarchical framework for modeling  
17 the spatial distribution of animals. *J. Biogeogr* 28: 1147–1166.
- 18 MENDONÇA, F. P., W. E. MAGNUSSON, AND J. ZUANON. 2005. Relationships between habitat  
19 characteristics and fish assemblages in small streams of central Amazonia. *Copeia* 2005:  
20 750–763.
- 21 MENIN, M., F. WALDEZ, AND A. P. LIMA. 2011. Effects of environmental and spatial factors on the  
22 distribution of anuran species with aquatic reproduction in central Amazonia. *Herpetol. J.*  
23 21: 255–261.



- 1 MORALES, V. C. 2002. Sistemática y biogeografía del grupo *trilineatus* (Amphibia, Anura,  
2 *Dendrobatidae*, *Colostethus*), con descripción de once especies nuevas. Publicaciones de La  
3 Asociación de Amigos de Doñana 13: 1–59.
- 4 PAZIN, F. V., W. E. MAGNUSSON, J. ZUANON, AND F. P. MENDONÇA. 2006. Fish assemblages in  
5 temporary ponds adjacent to “terra-firme” streams in central Amazonia. *Freshwater Biol.*  
6 51: 1025–1037.
- 7 PARRIS, K. M., AND M. A. MCCARTHY. 1999. What influences the structure of frog assemblages  
8 at forest streams? *Aust. J. Ecol.* 24: 495–502.
- 9 PETERSON, A. T., AND J. SOBERÓN. 2012. Species distribution modeling and ecological niche  
10 modeling: Getting the concepts right. *Natureza & Conservação* 10: 102–107.
- 11 PHILLIPS, O. L., P. N. VARGAS, A. LORENZO, A. P. CRUZ, M. CHUSPE, W. G. SÁNCHEZ, M. YLI-  
12 HALLA, AND S. A. M. ROSE. 2003. Habitat association among Amazonian tree species: a  
13 landscape-scale approach. *J. Ecol.* 91: 757–775.
- 14 PIERCE, B. A. 1985. Acid tolerance in amphibians. *BioScience* 35: 239–243.
- 15 PINHEIRO, T. F. 2007. Caracterização de fitofisionomias em uma floresta de terra-firme da  
16 Amazônia central por inventário florístico e por textura de imagens de simulação do  
17 Mapsar (Multi-Application Purpose Sar). MSc Dissertation. Instituto Nacional de Pesquisas  
18 Espaciais, São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil.
- 19 POFF, N. L. 1997. Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and  
20 prediction in stream ecology. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 16: 291–409.
- 21 FILLOY, J., AND M. I. BELLOCQ. 2013. Spatial variation in bird species abundances:  
22 Environmental constraints across southern Neotropical regions. *Basic Apl. Ecol.* 14: 263–  
23 270.
- 24 RANGEL, T. F, AND R. D. LOYOLA. 2012. Labeling Ecological Niche Models. *Natureza &*  
25 *Conservação* 10: 119–12.

- 1 RIBEIRO, J. E. L. DA S., M. J. G. HOPKINS, A. VICENTINI, C. A. SOTHERS, M. A. S. COSTA, J. M.  
2 BRITO, M. A. D. SOUZA, L. H. P. MARTINS, L. G. LOHMANN, P. A. C. L. ASSUNÇÃO, E. C.  
3 PEREIRA, C. F. SILVA, M. R. MESQUITA, AND E. L. C. PROCÓPIO. 1999. Flora da Reserva  
4 Florestal Adolpho Ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de  
5 terra-firme na Amazônia central. INPA/DFID, Manaus, Amazonas, Brasil.
- 6 RIBEIRO, JR. J. W., A. P. LIMA, AND W. E. MAGNUSSON. 2012. The effect of riparian zones on  
7 species diversity of frogs in Amazonian forests. *Copeia* 3: 375–381.
- 8 RODRIGUES, D. J. 2006. Influência de fatores bióticos e abióticos na distribuição temporal e  
9 espacial de girinos de comunidades de poças temporárias em 64 km<sup>2</sup> de floresta de terra  
10 firme na Amazônia central. PhD Dissertation, Instituto Nacional de Pesquisas da  
11 Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil.
- 12 ROJAS-AHUMADA, D. P., LANDEIRO, V. L., AND MENIN, M. 2012. Role of environmental and  
13 spatial processes in structuring anuran communities across a tropical rain forest. *Austral*  
14 *Ecol.* 37: 865–873.
- 15 SATTLER, T., F. BONTADINA, A. H. HIRZEL, AND R. ARLETTAZ. 2007. Ecological Niche Modeling  
16 of two cryptic bats species calls for a reassessment of their conservation status. *J. Appl.*  
17 *Ecol.* 44: 1188–1199.
- 18 SERRA, B. D.V., DE MARCO, JR. P., C. C. NÓBREGA, AND L. A. O. CAMPOS. 2012. Modeling  
19 potential geographical distribution of the wild nests of *Melipona capixaba* Moure &  
20 Camargo 1994 (Hymenoptera, Apidae): Conserving isolated populations in mountain  
21 habitats. *Natureza & Conservação* 10: 199–206.
- 22 SHARMA, N., M. D. MADHUSUDAN, AND A. SINHA. 2014. Local and landscape correlates of  
23 primate distribution and persistence in the remnant lowland rainforests of the upper  
24 Brahmaputra Valley, northeastern India. *Conserv. Biol.* 28: 95–106.

- 1 SIMÕES, P. I., I. L. KAEFER, I. P. FARIAS, AND A. P. LIMA. 2013. An integrative appraisal of the  
2 diagnosis and distribution of *Allobates sumtuosus* (Morales, 2002) (Anura, Aromobatidae).  
3 *Zootaxa* 3746: 401–421.
- 4 TERBORGH, J. 1971. Distribution on environment gradients: theory and a preliminary  
5 interpretation of distributional patterns in avifauna of the Cordillera Vilcabamba, Peru.  
6 *Ecology* 52: 3–40.
- 7 TWOMEY, E., V. MORALES, AND K. SUMMERS. 2008. Evaluating condition-specific and  
8 asymmetric competition in a species-distribution context. *Oikos* 117: 1175–1184.
- 9 VON MAY, R., J. M. JACOBS, R. SANTA-CRUZ, J. VALDIVIA, J. M. HUAMÁN, AND M. A.  
10 DONNELLY. 2010. Amphibian community structure as a function of forest type in  
11 Amazonian Peru. *J. Trop. Ecol.* 26: 509–519.
- 12 VORMISTO, J., O. L. PHILLIPS, K. RUOKOLAINEN, H. TUOMISTO, AND R. VÁSQUEZ. 2000. A  
13 Comparison of Fine-Scale Distribution Patterns of Four Plant Groups in na Amazonian  
14 Rainforest. *Ecography* 23: 349–359.
- 15 VORMISTO, J., H. TUOMISTO, AND J. OKSANEN. 2004. Palm distribution in Amazonian rainforests:  
16 What is the role of topographic variation? *J. Veg. Sci.* 15: 485–494.
- 17 WIENS, J. A. 1989. The scaling in Ecology. *Funct. Ecol.* 3: 385–397.
- 18 WIENS, J. A. 2000. Ecological heterogeneity: an ontogeny of concepts and approaches. *In* M. J.  
19 Hutchings, E. A. John, and A. J. A. Stewart (Eds.). *The Ecological Consequences of*  
20 *Environmental Heterogeneity*, pp. 9–31. Blackwell Science, Oxford, UK.
- 21 ZIMMERMAN, B. L., AND D. SIMBERLOFF. 1996. An historical interpretation of habitat use by  
22 anurans in a Central Amazonian Forest. *J. Biogeog.* 23: 27–46.

24 FIGURE 1. Location of the study area at Reserva Florestal Adolpho Ducke, northern Manaus,  
25 Amazonas State, Brazil. The 40 study plots are represented as pale circles.

26 FIGURE 2. Distribution and density of *Allobates sumtuosus* (white circles) and *Atelopus*  
27 *spumarius* (black circles) and localities where neither species was recorded (squares) in riparian  
28 study plots within the Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, Amazonas, Brazil. C1.  
29 59°57'29" W, 2°59'58"S; C2. 59°53'52" W, 2°55'0.2" S (GCSW84).

30 FIGURE 3. Partial result of the final multiple linear regression analyses showing the significant  
31 effects of predicted variables on the density of *Allobates sumtuosus* ( $P > 0.05$ ) in 26 riparian  
32 study plots within the Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, Amazonas, Brazil, as  
33 indicated by (A) isolated pools, (B) stream discharge (m<sup>3</sup>/sec) and (C) stream pH.

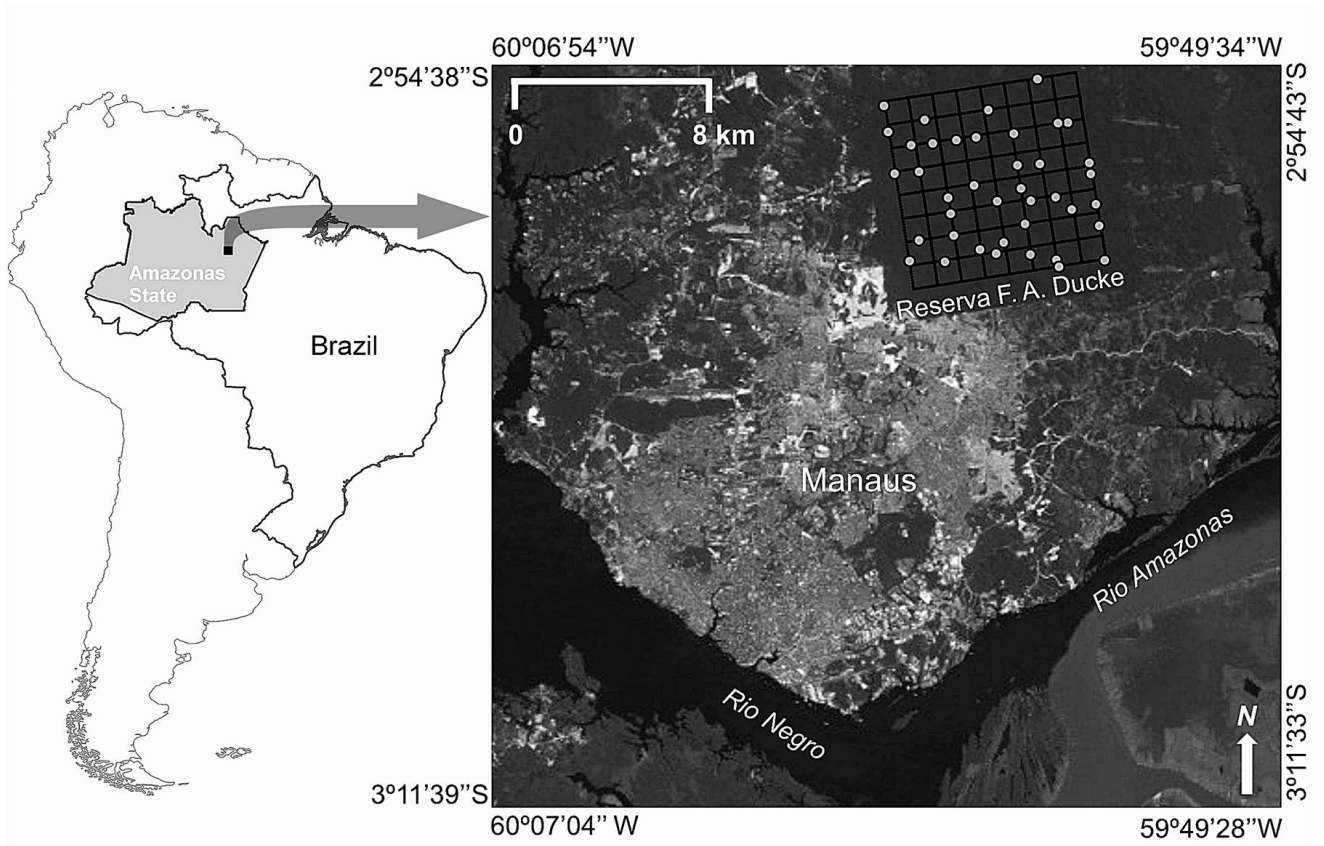
34 FIGURE 4. Variation on occurrence and density of *Atelopus spumarius* in relation of the stream  
35 pH, as indicated by (A) and partial result of the final multiple linear regression analyses showing  
36 the significant effects of stream discharge (m<sup>3</sup>/sec) on the density of *A. spumaius* ( $P > 0.05$ ), as  
37 indicated by (B) in 20 riparian study plots within the eastern drainage in the Reserva Florestal  
38 Adolpho Ducke, Manaus, Amazonas, Brazil.

39 FIGURE 5. Variation in local density of *Atelopus spumarius* in response to predictor variables in  
40 20 plots in the eastern drainage basin of the Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus,  
41 Amazonas, Brazil, as indicated by (A) stream pH and (B) stream discharge (m<sup>3</sup>/sec).

1

2 FIGURE 1

3



4

5

6

7

8

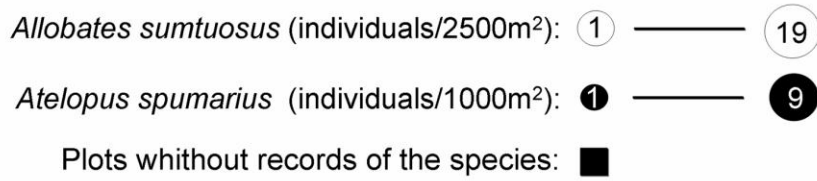
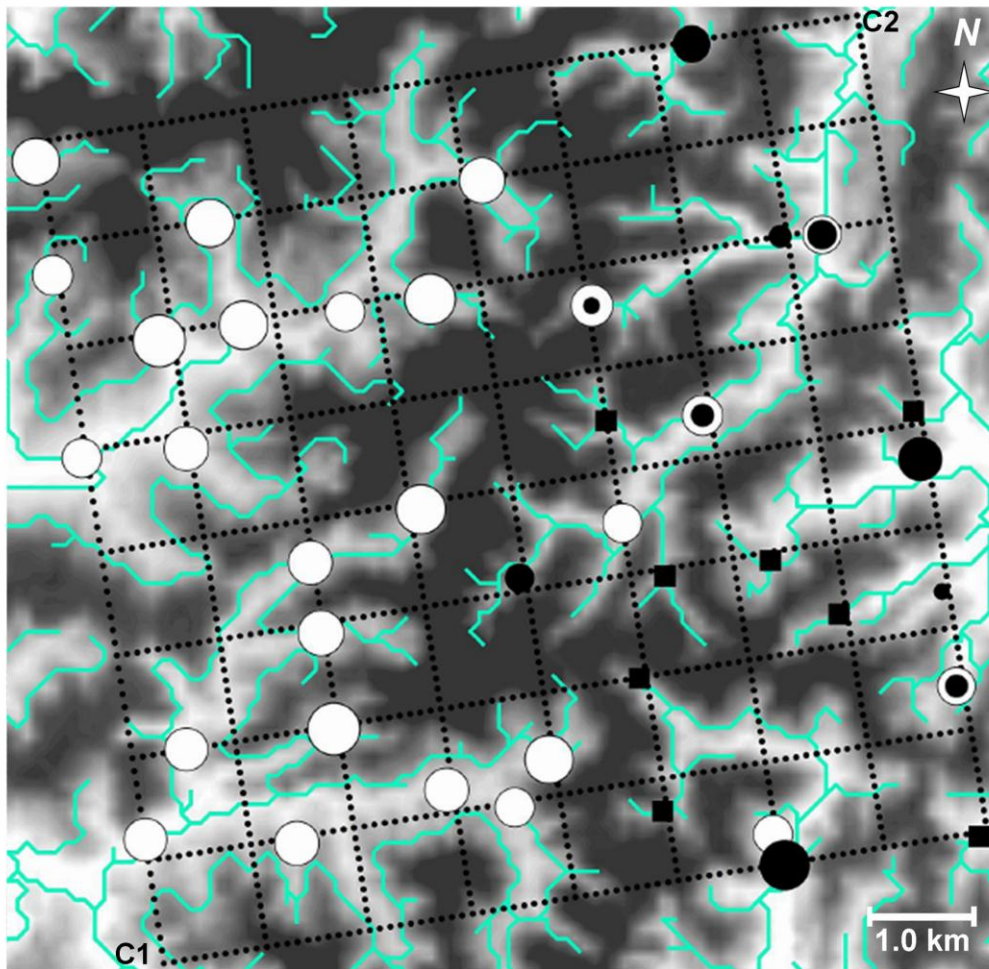
9

10

1

2 FIGURE 2

3



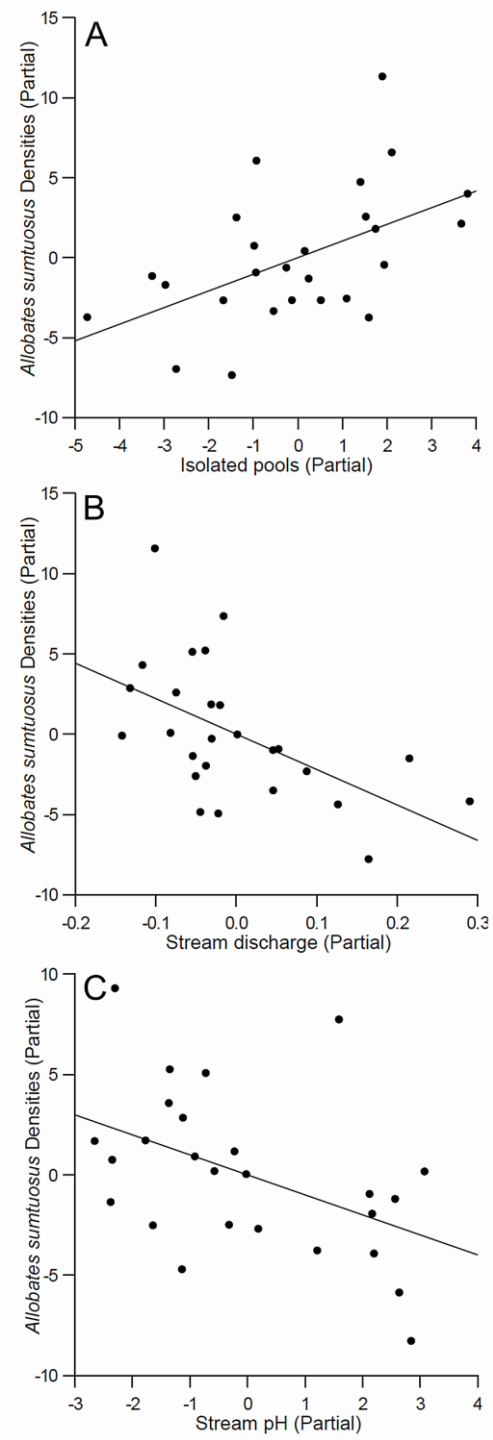
4

5

1

2 FIGURE 3

3

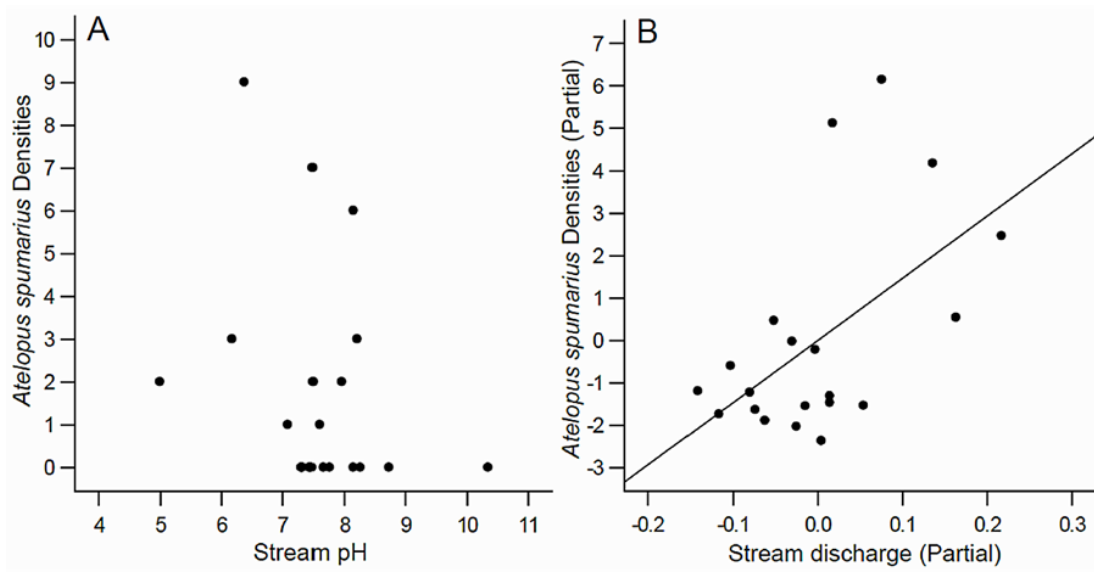


4

1

2 FIGURE 4

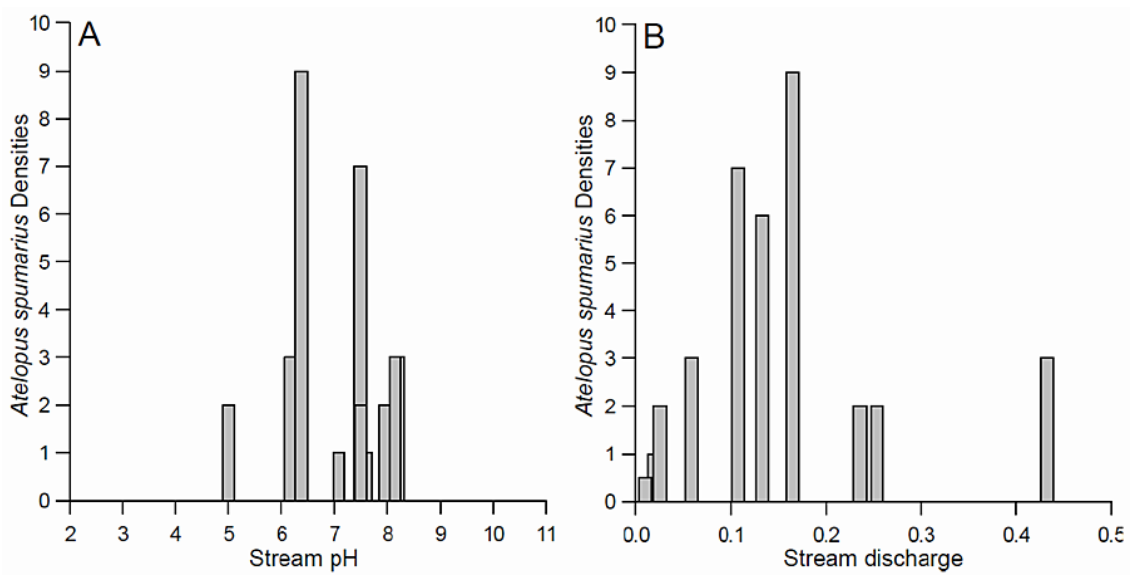
3



4

5

6 FIGURE 5



7

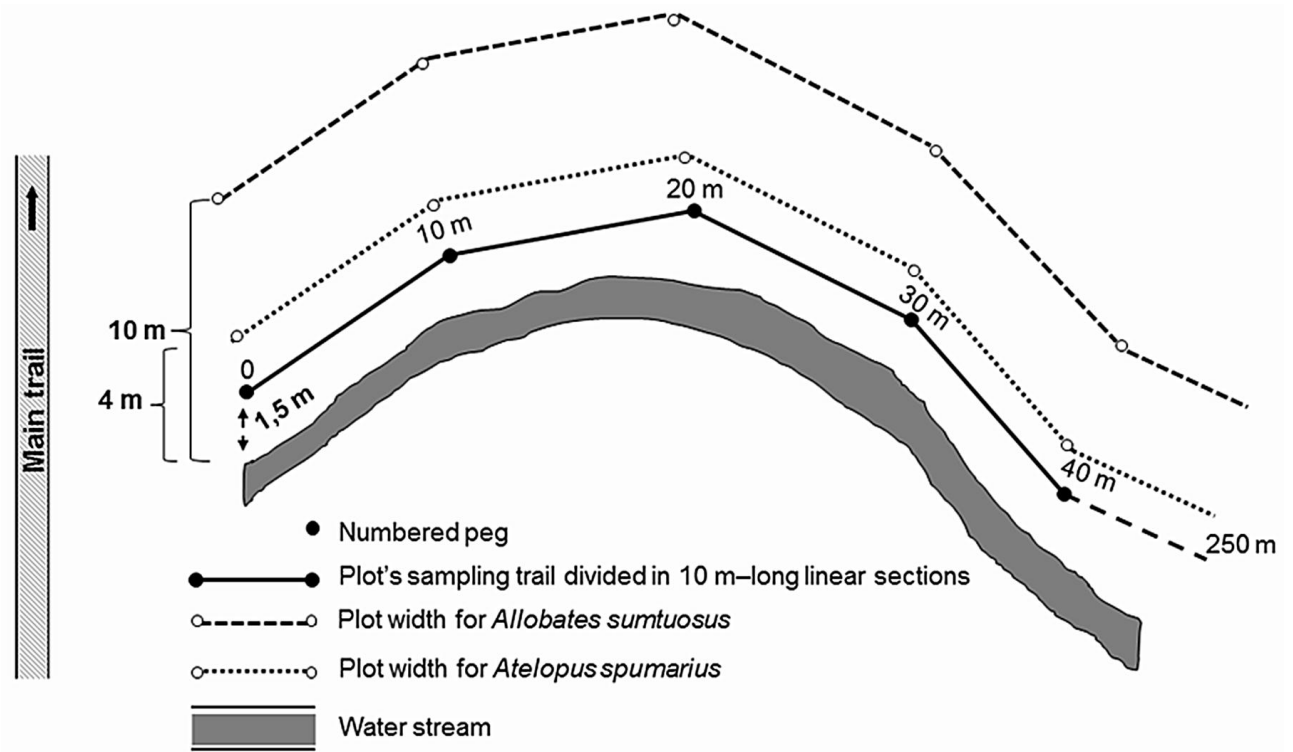


1

2 **SUPPORTING INFORMATION**

3

4 **FIGURE S1.** Schematic representation of the sampling plots for riparian environments installed  
 5 in the Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, Brazil. The black line represents the 1m-wide  
 6 displacement used in auditory and visual searches. The dotted line indicates the individual count  
 7 limits for *Atelopus spumarius* (4 m) and *Allobates sumtuosus* (10 m).



1

2 FIGURE S2. Local-scale variation of the main environmental predictors of *Allobates sumtuosus*  
3 and *Atelopus spumarius* distributions and densities in 40 riparian plots located in 64 km<sup>2</sup> of *terra-*  
4 *firme* forest at Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, Amazonas, Brazil, as indicated by (A)  
5 stream pH, (B) stream discharge (m<sup>3</sup>/sec), (C) number of connected pools and (D) number of  
6 isolated pools.

7

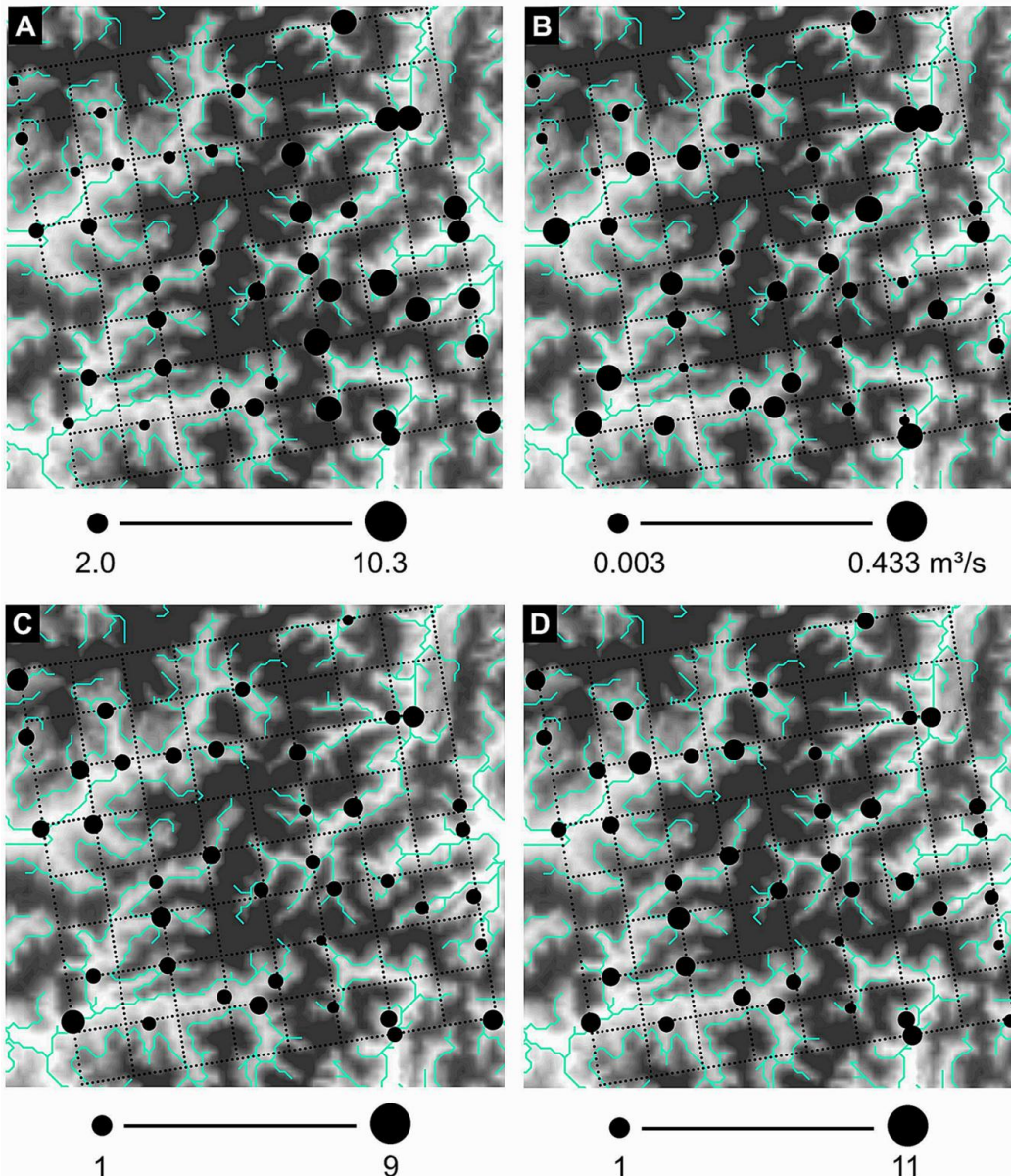


TABLE S1. *Standard deviation (SD), Minimum (Min.), Maximum (Max.), Arithmetic Mean (AM) and Variance (Var.) of the environmental variables (En. Var.) obtained in 20 riparian plots (N) located in each drainage basin. The three last columns are ANOVA test results for differences between the basins.*

En. Var.	Eastern drainage						Western drainage						ANOVA test		
	<i>N</i>	SD	Min.	Max.	AM	Var.	<i>N</i>	SD	Min.	Max.	AM	Var.	<i>N</i>	$F_{1,39}$	<i>P</i>
C. Pools	20	1.51	4	10.0	6.25	2.30	20	1.88	2.0	9	5.50	3.56	40	6.20	0.017
Is. Pools	20	1.80	5	11.0	6.90	6.25	20	5.41	1.0	9	5.0	5.81	40	6.75	0.013
S. pH	20	1.39	2.02	6.73	4.02	1.95	20	1.05	5.0	10.3	7.60	1.11	40	83.55	0.001
S. disch.	20	0.10	0.003	0.378	0.09	0.01	20	0.01	0.005	0.43	0.08	0.11	40	0.002	0.96
V. C. U.	20	10.53	58.0	90.0	74.4	111.0	20	8.91	56.0	88.0	73.6	79.3	40	0.059	0.80
Clay co.	20	5.48	0.47	20.89	8.18	30.0	20	5.27	1.31	22.8	9.76	27.8	40	0.86	0.35

C. Pools = number of connected pools; Is. Pools = number of isolated pools; S. pH = stream pH; S. disch. = stream discharge (m<sup>3</sup>/sec); V. C. U. = Vegetation Cover in Understory; Clay co. = clay content (%).

1

2 APPENDIX S1.– Methods used to measurement the physical characteristics of the streams to obtain  
3 the stream discharge.

4

5 The width of the stream adjacent to each sampling unit was measured at six points  
6 distributed at every 50 m using a measure-tape stretched from one bank to another,  
7 perpendicularly to the stream's course. Stream depth was measured at the same points where  
8 stream widths were obtained, at intervals of 10 cm along a transect set perpendicularly to the  
9 stream bank. At the same points, water velocity (in m/sec) was estimated by launching a floating  
10 object (a silicon ball with 1 cm diameter) in the current at the middle of the stream's course and  
11 recording the time elapsed until it moved the distance of 1 m. Average width, depth and velocity  
12 among the six sampling points were used to estimate stream size (by multiplying the average  
13 width by the average depth of the stream) and discharge, in  $\text{m}^3/\text{sec}$  (by multiplying the average  
14 size by average water velocity).

15

16

17

18

19

20

21

22

23

1

2 **RESUMO.**— Modelos de Distribuição de Espécies baseados em dados de métodos remotos são  
3 apropriados para guiar tomadas de decisões conservacionistas em largas escalas. Entretanto, eles  
4 são inadequados para planejamento de zonas de conservação dentro de reservas pequenas porque  
5 muitas espécies ocorrerem particionadas dentro de amplos envelopes definidos por tais modelos.  
6 Nós investigamos a distribuição espacial de duas espécies de anuros de interesse para  
7 conservação dentro de 64 Km<sup>2</sup> de uma reserva na Amazônia central, Brasil, *Allobates sumtuosus*  
8 e *Atelopus spumarius*. Nós empregamos buscas visuais e acústicas das espécies em 40 parcelas  
9 ripárias de amostragem distribuídas ao longo das duas maiores bacia de drenagem da Reserva  
10 Ducke, localizada na periferia de Manaus, entre janeiro e março de 2013. Cada espécie foi total  
11 ou parcialmente restrita a somente uma ou outra das maiores drenagens dentro da reserva, as  
12 quais diferiram significativamente em variáveis ambientais, tais como pH dos riachos e numero de  
13 poças isoladas e conectadas aos riachos. As diferenças de características abióticas das drenagens  
14 estão associadas com as distribuições limitadas das espécies na reserva. Dentro das drenagens as  
15 distribuições também foram influenciadas pelo tamanho dos riachos. A densidade de *Allobates*  
16 *sumtuosus* foi negativamente afetada pelo pH e vazão dos riachos e positivamente influenciada  
17 pelo numero de poças isoladas. A ocorrência de *Atelopus spumarius* esteve associada a riachos  
18 com alta vazão e com pH próximo do neutro. Reservas muito grandes provavelmente conterão  
19 paisagens heterogêneas suficientes para abrigar muitas espécies. No entanto, devido a  
20 distribuições fortemente particionadas, estudos *in situ* usando modelos de distribuição de espécies  
21 em escala local são necessários para avaliar a adequabilidade de reservas com poucos  
22 quilômetros quadrados na Amazônia para conservar espécies de anuros.

## CONCLUSÕES

Variações em características ambientais de zonas ripárias exerceram forte efeito sobre a distribuição e densidade local de *Allobates sumtuosus* e *Atelopus spumarius*, tornando as densidades e ocorrências não uniformes ao longo de uma mesma paisagem de floresta de terra-firme na Amazônia central. Apesar dessas espécies terem hábitos terrestres, alguns limiares de pH dos corpos d' água e vazão dos riachos, local onde as larvas das espécies desenvolvem, parecem ser especialmente importantes para o estabelecimento e aumento em densidade de indivíduos desses anuros.

*Allobates sumtuosus* e *Atelopus spumarius* são capazes de dispersar por toda a reserva (Rodrigues, 2006; presente estudo), entretanto variações expressivas do pH dos riachos, do número de poças isoladas e de poças conectadas ao leito dos riachos entre as drenagens contidas na área de estudo, atuam como filtros ambientais em escala local, limitando parcial ou totalmente a distribuição das espécies focais a uma ou outra drenagem contida na área de estudo. Contudo, fatores históricos não determinam os dos padrões de distribuição local das duas espécies, mas sim fatores ambientais relacionados principalmente ao comportamento reprodutivos de *A. sumtuosus* e *A. spumarius*. Os adultos das duas espécies têm hábitos alimentares generalistas, os quais mudam ao longo da vida e variam entre os sexos (Durant e Dole, 1974; Lima e Magnusson, 1998). Portanto, a disponibilidade de presas provavelmente não é um recurso que limite a distribuição de *A. sumtuosus* e *A. spumarius* localmente.

A descontinuidade em ocorrência e densidade dos dois anuros entre locais espacialmente próximos e aparentemente semelhantes revela a necessidade de utilização de modelos de distribuição de espécies em escala local para identificar áreas prioritárias para conservação de espécies que ocorrem particionadas em paisagens heterogêneas. Essas informações são relevantes para a criação de reservas ambientais menores, necessárias em regiões com grande adensamento populacional humano e urbanização desenfreada. Modelos de distribuição de espécies que utilizam variáveis bioclimáticas obtidas por métodos remotos ou de interpolação em resoluções baixas podem ser eficazes quando utilizados para projetar a ocorrência de espécies não habitat-específico ou que não dependem da existência sítios reprodutivos específicos.

As informações sobre os fatores ecológicos que influenciam a distribuição e densidade local de *Allobates sumtuosus* e *Atelopus spumarius* são relevantes para tomadas de decisão de

manejo dessas espécies, já que se trata de duas espécies com interesse para conservação: uma listada como “Dados insuficientes” para estabelecer o status de conservação (*A. sumtuosus*) e a outra (*A. spumarius*) listada como “Vulnerável” e com “Tendências de redução populacional” nas áreas onde ocorre. A escassez de informações sobre os fatores que afetam naturalmente a distribuição e as densidades das espécies focais deste estudo impediam que diagnósticos preventivos fossem elaborados e que declínios populacionais dessas espécies pudessem ser evitados na Amazônia central.

## PERSPECTIVAS

Na Reserva Florestal Adolpho Ducke, os locais que contêm a combinação de características ambientais adequadas à permanência e aumento do número de indivíduos das espécies estudadas são limitados. Mapear estas combinações é essencial para tomada de decisões para seleção de áreas em um âmbito de conservação. Associando a distribuição da variação ambiental a informações sobre a distribuição das densidades locais das espécies, podemos localizar áreas onde uma das espécies ocorre, mas onde é relativamente pouco abundante. Tal padrão geraria dúvidas sobre a permanência da espécie em longo prazo, em um cenário hipotético onde uma área da reserva fosse escolhida como foco de conservação mais rigorosa em detrimento de outras, com base apenas em dados sobre a presença ou ausência de uma espécie.

Essas informações sugerem a necessidade de maior cautela e rigor em estudos que utilizam Modelos de Distribuição de Espécies baseados em pontos de ocorrência para identificar áreas prioritárias para conservação ou para tomadas de decisão de manejo, pois podem ser sugeridas áreas não adequadas para permanência das espécies. Da mesma forma, variações ambientais entre habitats incluídos dentro de uma mesma categoria (ex. zona ripária) são sutis, principalmente quando espacialmente próximos, e dificilmente podem ser obtidas por métodos remotos, sendo necessária a utilização de variáveis ambientais obtidas em campo, assim como dados de densidade, para construção de modelos de distribuição de espécies em escala local e delineamento de reservas ambientais menores e complementares.

O status de conservação de *Allobates sumtuosus* na lista da IUCN está como “Dados insuficientes”. A espécie ocorre amplamente na área de estudo, mas está parcialmente limitada a uma parte da reserva, e mesmo que numerosa localmente, poucos são os locais onde a espécie ocorre em um número maior de indivíduos. Portanto, para conservação desta espécie é necessário identificar nas áreas onde ela está distribuída às porções das paisagens onde ela é mais numerosa para preservar, investigando a influência local de fatores associados com o comportamento reprodutivo sobre as densidades das espécies. As informações ecológicas geradas pelo presente estudo e pelo estudo de Simões *et al.* (2013) pode favorecer a revisão do status de conservação da espécie na lista de espécies ameaçadas da IUCN.

*Atelopus spumarius*, incluído na lista da IUCN como “Vulnerável” e com “Tendências de redução populacional” nas áreas onde está distribuída, ocorre exclusivamente em uma pequena



porção da reserva, onde o número de indivíduos foi relativamente baixo em todas as unidades amostrais onde ocorreu. Contudo, para conservação desta espécie é necessário identificar, nas áreas onde ela está distribuída, os locais que têm características físico-químicas dos sítios reprodutivos favoráveis para sua reprodução (baseado no presente estudo) e que abriga grupos de indivíduos de *A. spumarius*, preservando todos esses locais em uma mesma área. A vulnerabilidade da espécie pode estar associada a sua tolerância limitada a uma estreita faixa de variação ambiental e por ocorrer em pequenos grupos de indivíduos localmente, podendo ser eliminada totalmente de uma área, por exemplo, após infecção pelo fungo *BD* ou por alteração na característica química (ex. pH) dos riachos.

Para a construção de Modelos de Distribuição de Espécies em escalas mais finas é necessário que os dados de variáveis ambientais obtidos em campo, principalmente àquelas que dificilmente podem ser obtidas por métodos remotos ou de interpolação, em escalas equivalentes com a ocorrência de diversos organismos estudados, sejam disponibilizados em bancos de dados públicos para ampliar o número de variáveis ambientais representadas em camadas geoespaciais, favorecendo a construção de modelos em escalas reduzidas. Assim, as MDEs não ficariam restritas a utilização de variáveis bioclimáticas que representam grandes áreas ou limitadas à utilização de poucas variáveis com resoluções maiores (elevação, topografia e vegetação arbórea), possibilitando a inclusão de organismos habitat-específico nestes estudos. A disponibilização e qualidade dos bancos de dados biológicos também são necessárias, permitindo a geração de informações úteis para desenho de reservas menores e manejo de espécies que ocorrem em faixas estreitas de variação ambiental.

Estudos que relacionem a distribuição e densidade local de espécies às variações graduais entre habitats classificados dentro de uma mesma categoria são necessários para a proteção das espécies amplamente distribuídas localmente, como também das que ocupam porções restritas da paisagem. Essas informações favorecem a seleção de áreas prioritárias em regiões com alta substituição local de espécies, como na Amazônia, pois seria considerada a complementariedade do conjunto de espécies em relação a áreas próximas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, B.A.; Peterson, A.T. 2012. Uses and misuses of bioclimatic envelope modelling. *Ecology*, 93(7): 1527–1539.
- Azevedo-Ramos, C.; Ron, S.; Coloma, L.A.; Bustamante, M.R.; Salas, A.; Schulte, R.; Lötters, S.; Angulo, A.; Castro, F.; Lescure, J.; Marty, C.; La Marca, E.; Hoogmoed, M. 2012. *Atelopus spumarius*. In IUCN Red List of Threatened Species (www.iucnredlist.org). Acesso: 13/08/2012.
- Bello, F.; Lavorel, S.; Lavergne, S.; Albert, C.H.; Boulangeat, I.; Mazel, F.; Thuiller, W. 2013. Hierarchical effects of environmental filters on the functional structure of plant communities: a case study in the French Alps. *Ecography*, 36: 383-402.
- Bernardo-silva, J.; Martins-Ferreira, C.; Maneyro, R.; Freitas, T.R.O. 2012. Identification of Priority Areas for conservation of two endangered parapatric species of red-bellied toads using Ecological Niche Models and Hotspot Analyses. *Natureza & Conservação*, 10: 207-213.
- Crump, M.L. 1986. Homing and site fidelity in a Neotropical frog, *Atelopus varius* (Bufonidae). *Copeia*, 1986: 438-444.
- Dole, J.W.; Durant, P. 1974. Movement and seasonal activity of *Atelopus oxyrhynchus* (Anura: Atelopodida) in a Venezuela cloud forest. *Copeia* 1974: 230-235.
- Gascon, C. 1989. The tadpole of *Atelopus pulcher* Boulanger (Anura:Bufonidae), from Manaus, Amazonas. *Revista Brasileira de Zoologia*, 6: 235-239.
- Grinnell, J. 1917. Field tests of theories concerning distributional control. *The American Naturalist*, 51: 115-128.
- Guida, V.M.L.; Lima, A.P.; Keller, C. 2002. Padrão anual e diário de atividade reprodutiva, comportamento territorial e reprodutivo de uma nova espécie de *Colostethus* (Anura:




- Dendrobatidae) com desenvolvimento direto do girino no ninho. *In*: XI Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/INPA. pp. 70-71.
- Hutchinson, G.E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposium Quantitative Biology*, 22: 415-427.
- Kaefer, I.L.; Montanarin, A.; Costa, R.S. da; Lima, A.P. 2012. Temporal patterns of reproductive activity and site attachment of the Brilliant-thighed Frog *Allobates femoralis* from Central Amazonia. *Journal of Herpetology*, 46: 549-554.
- La Marca, E.; Lips, K.R.; Lötters, S.; Puschendorf, R.; Ibáñez, R.; Rueda-Almonacid, J.V.; Schulte, R.; Marty, C.; Castro, F.; Manzanilla-Puppo, J.; García-Pérez, J.E.; Toral, E.; Bolaños, F.; Chaves, G.; Pounds, J.A.; Young, B. 2005. Catastrophic population declines and extinctions in Neotropical harlequin frogs (Bufonidae: *Atelopus*). *Biotropica*, 37: 190-201.
- Lampo, M.; Celsa, S.J.; Rodríguez-contreras, A.; Rojas-Ronjaic, F.; GARCÍA, C.Z. 2012. High Turnover Rates in Remnant Populations of the Harlequin Frog *Atelopus cruciger* (Bufonidae): Low Risk of Extinction? *Biotropica*, 44(3): 420-426.
- Leroux, S.J.; Krawchuk, M.A.; Schmiegelow, F.; Cumming, S.G.; Lisgo, K.; Anderson, L.G.; Petkova, M. 2010. Global protected areas and IUCN designations: Do the categories match the conditions? *Biological Conservation*, 143: 609-616.
- Lima, A.P.; Magnusson, W.E. 1998. Partitioning seasonal time: interactions among size, foraging activity and diet in leaf-litter frogs. *Oecologia* 116: 259-266.
- Lima, A.P.; Magnusson, W.E.; Menin, M.; Erdtmann, L.K.; Rodrigues, D.J.; Keller, C.; Hödl, W. 2006. Guia de Sapos da Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazônia central. Átterna Design Editorial, Manaus, Amazonas, Brasil. 184pp.
- Lötters, S. 1996. The neotropical toad genus *Atelopus*. Checklist, biology, distribution. Verlags, Cologne, Germany. 143pp.

- Lötters, S.; Haas, W.; Schick, S.; Böhme, W. 2002. On the systematics of the harlequin frogs (Amphibia: Bufonidae: *Atelopus*) from Amazonia. II: Redescription of *Atelopus pulcher* (Boulenger, 1882) from the eastern Andean versant in Peru. *Salamandra*, 38(3): 165-184.
- Mendonça, F. P.; Magnusson, W. E.; Zuanon, J. 2005. Relationships between habitat characteristics and fish assemblages in small streams of central Amazonia. *Copeia*, 2005: 750-763.
- Menin, M.; Waldez, F.; Lima, A.P. 2011. Effects of environmental and spatial factors on the distribution of anuran species with aquatic reproduction in central Amazonia. *Herpetological Journal*, 21: 255-261.
- Peterson, A.T.; Soberón, J.; Pearson, R.G.; Anderson, R.P.; Martínez-Meyer, E.; Nakamura, M.; Araújo, M.B. 2011. Ecological Niches and Geographic Distributions. Princeton University Press, Oxford. 314pp.
- Peterson, A.T.; Soberón, J. 2012. Species distribution modeling and ecological niche modeling: Getting the concepts right. *Natureza & Conservação*, 10: 102-107.
- Poff, N.L. 1997. Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 16: 291-409.
- Pulliam, H.R. 2000. On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters*, 3: 349-361.
- Rangel, T.F.; Loyola, R.D. 2012. Labeling Ecological Niche Models. *Natureza & Conservação*, 10: 119-12.
- Rodrigues, D.J. 2006. Influência de fatores bióticos e abióticos na distribuição temporal e espacial de girinos de comunidades de poças temporárias em 64 Km<sup>2</sup> de floresta de terra-firme na Amazônia central. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil. 109pp.

- Salas, A. 2004. *Allobates sumtuosus*. In IUCN Red List of Threatened Species ([www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)). Acesso: 23/04/2014.
- Serra, B.D.V.; De Marco, Jr. P.; Nóbrega, C.C.; Campos, L.A.O. 2012. Modeling potential geographical distribution of the wild nests of *Melipona capixaba* Moure & Camargo 1994 (Hymenoptera, Apidae): Conserving isolated populations in mountain habitats. *Natureza & Conservação*, 10: 199-206.
- Simões, P.I.; Kaefer, I.L.; Farias, I.P.; Lima, A.P. 2013. An integrative appraisal of the diagnosis and distribution of *Allobates sumtuosus* (Morales, 2002) (Anura, Aromobatidae). *Zootaxa*, 3746: 401-421.
- Wiens, J.A. 1989. The scaling in Ecology. *Functional Ecology*, 3: 385-397.
- Wiens, J.A. 2000. Ecological heterogeneity: an ontogeny of concepts and approaches. In: Hutchings, M.J.; John, E.A.; Stewart, A.J.A. (Eds.). *The Ecological Consequences of Environmental Heterogeneity*. Blackwell Science, Oxford. p. 9-31.

## Apêndices

### Ata da Aula de Qualificação

## AULA DE QUALIFICAÇÃO

### PARECER

Aluno(a): RAFAEL FILGUEIRA JORGE  
 Curso: ECOLOGIA  
 Nível: MESTRADO  
 Orientador(a): ALBERTINA PIMENTEL LIMA

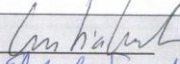
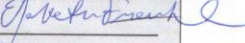
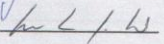
**Título**

"Fatores determinantes dos padrões de distribuição de *Allobates cf. sumtuosus* e *Atelopus spumarius* em duas bacias de drenagem em 64 Km<sup>2</sup> de Floresta na Amazônia Central"

**BANCA JULGADORA:**

**TITULARES:**  
 Cíntia Cornelius Frische (UFAM)  
 Elizabeth Franklin (INPA)  
 Marcelo Gordo (UFAM)

**SUPLENTES:**  
 Ana Lúcia Miranda Tourinho (INPA)  
 Jansen Alfredo Sampaio Zuanon (INPA)

PARECER	ASSINATURA
Cíntia Cornelius Frische (UFAM) <input checked="" type="checkbox"/> Aprovado <input type="checkbox"/> Reprovado	
Elizabeth Franklin (INPA) <input checked="" type="checkbox"/> Aprovado <input type="checkbox"/> Reprovado	
Marcelo Gordo (UFAM) <input checked="" type="checkbox"/> Aprovado <input type="checkbox"/> Reprovado	
Ana Lúcia Miranda Tourinho (INPA) <input type="checkbox"/> Aprovado <input type="checkbox"/> Reprovado	_____
Jansen Alfredo Sampaio Zuanon (INPA) <input type="checkbox"/> Aprovado <input type="checkbox"/> Reprovado	_____

Manaus(AM), 04 de abril de 2013

OBS: Explicar melhor qual a relação das variáveis com a biologia/ecologia das espécies.  
Analisa a possibilidade de incluir a largura do baixo como variável.

---

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA INPA  
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA PPG-ECO  
 Av. Efigênio Sales, 2239 - Bairro: Aleixo - Caixa Postal: 2223 - CEP: 69.060-020, Manaus/AM.  
 Fone/Fax: (+ 55) 92 3643-1908/1909

site: <http://pg.inpa.gov.br>
e-mail: [pgecologia@gmail.com](mailto:pgecologia@gmail.com)

## Ata da Defesa Oral Pública da Dissertação



ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA.

Aos ,27 dias do mês de março do ano de 2014, às 14:30 horas, na Sala de Aula PG em Agricultura do Trópico Úmido, campus III, INPA/V8, reuniu-se a Comissão Examinadora de Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: o(a) Prof(a). Dr(a). **Fernanda de Pinho Werneck**, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, o(a) Prof(a). Dr(a). **Marcelo Gordo**, da Universidade Federal do Amazonas - UFAM e o(a) Prof(a). Dr(a). **Igor Luis Kaefer** da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, tendo como suplentes o(a) Prof(a). Dr(a). Tânia Sanaiotti, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, e o(a) Prof(a). Dr(a). Fabrício Beggiano Baccaro da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, sob a presidência do(a) primeiro(a), a fim de proceder a arguição pública do trabalho de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de **RAFAEL FILGUEIRA JORGE**, intitulado “**Fatores determinantes dos padrões de distribuição e densidade de *Allobates sumtuosus* e *Atelopus spumarius* em duas bacias de drenagem em 64 Km<sup>2</sup> de floresta de terra-firme na Amazônia Central**”, orientado pelo(a) Prof(a). Dr(a). Albertina Pimentel Lima, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA e coorientado pelo(a) Prof(a). Dr(a). Dr. Pedro Ivo Simões, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA.

Após a exposição, o(a) discente foi arguido(a) oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final:

APROVADO(A)                       REPROVADO(A)


POR UNANIMIDADE                       POR MAIORIA

Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

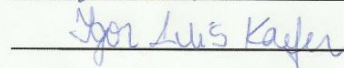
Prof(a).Dr(a). Fernanda de Pinho Werneck

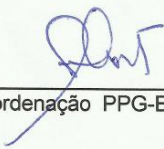
  
\_\_\_\_\_

Prof(a).Dr(a). Marcelo Gordo

  
\_\_\_\_\_

Prof(a).Dr(a). Igor Luis Kaefer

  
\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_  
Coordenação PPG-ECO/INPA