



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
Fundação Instituída nos termos da Lei 5.152 de 21/10/1966 – São Luís – Maranhão
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
COORDENADORIA DO CURSO DE CIÊNCIAS
BIOLÓGICAS (Modalidade: Bacharel)

TAINÁ CONSTÂNCIA DE FRANÇA PINTO

**DE VOLTA PARA O FUTURO: INFERINDO A INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS NA DISTRIBUIÇÃO DE DUAS ESPÉCIES DE PSITTACIDAE
ATRAVÉS DE MODELAGEM DE NICHOS**

São Luís

2018

TAINÁ CONSTÂNCIA DE FRANÇA PINTO

**DE VOLTA PARA O FUTURO: INFERINDO A INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS NA DISTRIBUIÇÃO DE DUAS ESPÉCIES DE PSITTACIDAE
ATRAVÉS DE MODELAGEM DE NICHOS**

Orientador: Dr. Carlos Martínez Ruiz

Coorientador: Dr. Lincoln Silva Carneiro

Monografia apresentada ao Curso de Ciências
Biológicas da Universidade Federal do Maranhão,
para obtenção do grau de Bacharel em Ciências
Biológicas.

São Luís

2018

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Pinto, Tainá Constância de França.

De volta para o futuro: inferindo a influência das mudanças climáticas na distribuição de duas espécies de Psittacidae através de modelagem de nicho / Tainá Constância de França Pinto. - 2018.

43 f.

Coorientador(a): Lincoln Silva Carneiro.

Orientador(a): Carlos Martínez Ruiz.

Monografia (Graduação) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, 2018.

1. Aquecimento global. 2. Aves. 3. Biogeografia. 4. BIOMOD2. 5. Modelos de distribuição de espécies. I. Carneiro, Lincoln Silva. II. Ruiz, Carlos Martínez. III. Título.

De volta para o futuro: inferindo a influência das mudanças climáticas na distribuição de duas espécies de Psittacidae através de modelagem de nicho

Tainá Constância de França Pinto

Em sessão realizada em ___/___/___ considera a candidata _____

Dr. Carlos Martínez Ruiz
Orientador – DEBIO/UFMA

Dr. Lincoln Silva Carneiro
Coorientador – GOELDI/CZO

Prof^a. Dr^a. Adriani Hass
Titular: DEBIO/UFMA

Prof^a. Dr^a. Gilda Vasconcelos de Andrade
Titular: DEBIO/UFMA

MSc. Antonio Fernando Costa da Silva
1º Suplente - BIONORTE/UFMA

Prof^a. Dr^a. Larissa Nascimento Barreto
2º Suplente – DEBIO/UFMA

São Luís

2018

SUMÁRIO

RESUMO	05
INTRODUÇÃO	06
MÉTODOS	09
RESULTADOS	11
DISCUSSÃO	14
AGRADECIMENTOS	19
REFERÊNCIAS	20
TABELA.....	25
LEGENDAS DE FIGURAS	26
FIGURAS	28
ANEXO	38
Normas da revista	38

De volta para o futuro: inferindo a influência das mudanças climáticas na distribuição de duas espécies de Psittacidae através de modelagem de nicho

Tainá Constância de França Pinto¹; Carlos Martínez Ruiz²; Lincoln Silva Carneiro³

1. UFMA, Departamento de Biologia, Laboratório de Vertebrados.

2. UFMA, Departamento de Biologia, Laboratório de Vertebrados.

3. Centro de Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi, Setor de Ornitologia/CZO

Resumo

Modelos de nicho ecológico têm sido utilizados em diversas abordagens, como no planejamento de unidades de conservação, avaliação de áreas para reintrodução, previsão de invasões biológicas e potenciais mudanças na distribuição geográfica devido às mudanças climáticas. No presente estudo, utilizamos esses modelos no intuito de compreender a distribuição geográfica de duas espécies de Psittacidae, *Pionites leucogaster* e *Amazona aestiva*, tendo em vista sua distribuição histórica, presente e os cenários projetados a partir de projeções de aquecimento climático. Essas duas espécies foram escolhidas por apresentarem padrões de distribuição estreitamente ligados aos biomas Amazônia no primeiro caso e Cerrado no segundo. Para determinar os pontos de ocorrência para as espécies do estudo, foram usadas fontes de dados disponíveis no *website* GBIF. Foram usadas 19 variáveis bioclimáticas do banco de dados do *WorldClim*. A modelagem de distribuição de espécies e as projeções para cada espécie foi realizada usando sete algoritmos, para permitir a previsão usando o conjunto de modelos disponíveis no pacote BIOMOD2 implementado para o *software* R (R Core Team). Cada modelo foi projetado para um cenário no passado Holoceno Médio (HM), cenário atual e quatro diferentes cenários futuros. Apesar de na atualidade ambas espécies apresentarem padrões de distribuição alopátrica praticamente complementares, os modelos preveem que *P. leucogaster* recue do território amazônico nas previsões para o futuro, principalmente nas mais extremas, sem que exista um avanço de *A. aestiva* por esse mesmo território. A eficiência da previsão dos modelos é relacionada ao tamanho amostral e o método aplicado no presente trabalho tem uma abrangência que permite estudar uma diversidade de casos.

Palavras-chave: aquecimento global, aves, BIOMOD2, biogeografia, biomas sul-americanos, fragmentação de habitats, modelos de distribuição de espécies.

INTRODUÇÃO

As técnicas de modelagem ecológica de nicho têm sido cada vez mais utilizadas com o intuito de descrever diferentes parâmetros biológicos associados à distribuição de espécies (Werneck *et al.* 2012; Ribeiro *et al.* 2016). Modelos de nicho ecológico são usados para descrever de maneira precisa um alto número de variáveis em um determinado sistema (Fragoso *et al.* 2009; Carvalho *et al.* 2015), utilizados previamente em diversas abordagens, como no planejamento de reservas (Hannah *et al.* 2002; Wilson *et al.* 2005), avaliação de áreas para reintrodução (Schadt *et al.* 2002), previsão de invasões biológicas (Richardson & Thuiller 2007; Broennimann & Guisan 2008) e potenciais mudanças na distribuição geográfica devido às mudanças climáticas (Thuiller 2004; Marini *et al.* 2010a).

A previsão da distribuição de uma espécie pode ser realizada partindo-se da relação fundamental entre a distribuição e o ambiente, pois, em geral, quanto mais adequadas as condições para uma espécie, mais densa sua população (Ricklefs 2010). De acordo com a teoria de nicho, a distribuição de localidades conhecidas reflete as preferências ambientais das espécies (Marini *et al.* 2010b). Pode ser realizada então uma correlação entre fatores ecológicos, tais como, temperatura e precipitação com a distribuição das espécies. Pressupõe-se assim, que à medida que essas condições ambientais mudariam ao longo do tempo, a distribuição das espécies também seria afetada, condicionada por esses fatores. Desta forma, as condições físicas dos ambientes terrestres e aquáticos ajudariam a determinar onde uma espécie pode viver (Ricklefs 2010).

As condições ecológicas têm sofrido uma influência importante do aquecimento global, sobretudo nas últimas décadas (Ricklefs 2010). A temperatura média da Terra aumentou cerca de 0,6°C durante o último século, tendo esse aquecimento influenciado os oceanos e os ambientes terrestres (Hiddink & Ter Hofstede 2008; Ricklefs 2010). Segundo Crego *et al.* (2013), os impactos das mudanças climáticas sobre a distribuição de elementos biológicos podem ser avaliados através da utilização de modelos matemáticos, como, por exemplo, o modelo ecológico de nicho. No presente estudo, lançamos mão destes modelos no intuito de compreender a distribuição geográfica de duas espécies de Psittacidae, bem com suas tendências tendo em vista sua distribuição histórica, presente e os cenários projetados a partir de algumas projeções de aquecimento climático.

A distribuição geográfica das aves pode ser condicionada tanto por fatores históricos (sejam eles biogeográficos ou evolutivos) e fatores ecológicos (como competição e

cobertura vegetal), assim como pela resposta da espécie às condições ecológicas de cada local (Wiens 1992). As aves em particular, devido à alta mobilidade e capacidade para atravessar barreiras físicas (MacArthur & Pianka 1966) que apresentam em consequência da capacidade de voo, possuem grande facilidade para colonizar novos ambientes, caso as condições ambientais se tornem desfavoráveis para a vida de determinada espécie, assim, sua sensibilidade é explicada principalmente pelas condições ecológicas atuais (Pimentel 2009).

Os Psittacidae estão entre os grupos mais ameaçados de aves, com 374 espécies em todo o mundo, com 136 ameaçadas e 19 extintas. (BirdLife International, 2008; IUCN 2008). Na América do Sul, ocorrem 148 espécies (Del Hoyo *et al.* 1997) e o Brasil abriga 85 delas (CBRO 2015; Piacentini *et al.* 2015). Uma das espécies do presente estudo, *Pionites leucogaster* Kuhl, 1820, segundo a IUCN (2016; BirdLife International 2016) está classificada como espécie em perigo (EN). Sua população tem decrescido e as ameaças para essa espécie estão principalmente relacionadas ao desmatamento do habitat e à caça e captura para o comércio ilegal de animais de estimação. Esse tipo de ameaça é comum aos Psittacidae (Collar & Juniper 1992).

Pionites leucogaster é uma espécie de psitaciforme, comum no dossel de florestas de galeria, florestas úmidas e de terra firme, e várzeas. Sua distribuição é restrita a regiões de floresta pouco alteradas, sendo uma espécie pouco tolerante ao desmatamento. Ocorre desde o sul do Rio Amazonas até o norte da Bolívia, bem como no sudeste do Peru (Forshaw & Cooper 1989; Erize *et al.* 2006; Van Perlo 2009)

Amazona aestiva Linnaeus., 1758 é um psitaciforme que habita savanas, floresta de galeria, áreas cultivadas com árvores e matas com palmeira. Essa espécie está amplamente distribuída pelo Brasil não-amazônico, leste da Bolívia, e do Paraguai até o norte da Argentina. É uma espécie do Cerrado que, por acompanhar as áreas abertas, tem entrado na Amazônia (Forshaw & Cooper 1989; Erize *et al.* 2006; Van Perlo 2009).

As técnicas de modelagem de nicho proporcionam uma abrangente compreensão das distribuições históricas, atuais e futuras, ajudando a resolver dados incertos e fornecendo informações que podem auxiliar no planejamento da conservação para as espécies de aves (Marini *et al.* 2010b).

No presente estudo, objetiva-se desenvolver modelos ecológicos de nicho a partir de dados de ocorrência de *Pionites leucogaster* e *Amazona aestiva*, bem como descrever a

distribuição histórica e atual das espécies em relação aos parâmetros ambientais considerados, além de projetar a distribuição futura das espécies estudadas, utilizando os modelos desenvolvidos em diferentes cenários hipotéticos de mudanças climáticas futuras.

Ao executar modelos de nicho ecológico, pretende-se avaliar a aplicabilidade e robustez dos modelos para fins de previsão mais acurada das distribuições das espécies supracitadas, além de complementar o sucesso de outros métodos de campo (Thompson 2004).

MÉTODOS

Para determinar os pontos de ocorrência das espécies do estudo, foram usadas fontes de dados disponíveis no *website* “Global Biodiversity Information Facility (GBIF; <<http://www.gbif.org/>>), das bases de dados ornitológicas das plataformas Xeno-Canto (<<https://www.xeno-canto.org/>>) e E-Bird (<<https://ebird.org/>>). As coordenadas foram obtidas diretamente das fontes originais. Foram incluídos 1.994 registros para *Pionites leucogaster* e 5.845 registros para *Amazona aestiva*. Os registros foram inicialmente filtrados no programa de mapas QGIS (3.0 Girona), onde os pontos para cada espécie foram verificados e os erros de ocorrências, indicados por registros imprecisos ou situados em localidades improváveis considerando a distribuição conhecida das espécies, foram removidos (Luna *et al.* 2017).

Para criação dos modelos de distribuição de espécies (SDM) (Guisan & Zimmermann 2000; Waltari *et al.* 2007), foram usadas as 19 variáveis bioclimáticas do banco de dados do *WorldClim* (Hijmans *et al.* 2005; <<http://www.worldclim.org/>>). O modelo de distribuição de espécies foi limitado a uma extensão de -80.0 Oeste; -40.0 Oeste; -22.0 Sul; 5.0 Norte para *P. leucogaster* e -80.0 O; -34.0 O; -40.0 S; 5.0 N para *A. aestiva* de acordo com a distribuição atual conhecida para ambas as espécies. Resoluções de 30 arcsegundos e de 2.5 minutos foram implementadas para *P. Leucogaster* e *A. aestiva*, respectivamente. A diferença nas resoluções tem relação com as áreas de distribuição das duas espécies, sendo *A. aestiva*, uma espécie com ampla distribuição, foi computacionalmente inviável implementar a resolução máxima de 30 arcsegundos para esta espécie. As variáveis ambientais utilizadas para modelos de distribuição de espécies são espacialmente correlacionadas e análises estatísticas não detectam essa autocorrelação, podendo gerar erros (Legendre & Legendre 2003). Dessa forma, faz-se necessário avaliar a correlação entre as variáveis escolhidas.

O efeito de cada variável climática no Modelo de Distribuição de Espécies (SDM) foi quantificado usando Regressão Geograficamente Ponderada (GWR), seguindo os protocolos de Fotheringham *et al.* (2002). Para avaliar a autocorrelação espacial entre as 19 variáveis bioclimáticas no modelo GWR, utilizamos o coeficiente de Moran (I) para inferir a partir de qual distância mínima as variáveis se mostravam espacialmente independentes (Legendre & Fortin 1989). Dessa forma, foi possível definir quais variáveis seriam incluídas na análise e qual seria a distância geográfica mínima considerada entre os registros. Estas análises

foram realizadas usando o *software* SAM 4.0 (*Spatial Analysis in Macroecology*) (Rangel *et al.* 2010).

Após as análises de autocorrelação espacial, foram selecionadas dentre as 19 variáveis bioclimáticas aquelas que se mostravam espacialmente independentes à menor distância. Foram elas para *P. leucogaster*: BIO 1, BIO 10, BIO 12, BIO 13, BIO 16 E BIO 19; PARA *A. aestiva*: BIO 2; BIO 8; BIO 18 E BIO 19 (Tabela 01).

As variáveis bioclimáticas são um conjunto de variáveis derivadas basicamente da precipitação e da temperatura, portanto propensas a autocorrelações indesejáveis na geração de modelo. Por essa razão as variáveis bioclimáticas selecionadas pelo GWR (Luna *et al.* 2017) foram submetidas a um teste de correlação adicional, no qual, quando uma ou mais variáveis apresentavam um alto índice de correlação entre si (> 0.8), apenas uma delas, a menos espacialmente correlacionada, era usada na geração do modelo. Para o teste de correlação entre as variáveis, foi utilizado o pacote Corrgram no *software* R Studio (R Core Team). Após o teste de correlação, foram mantidas as seguintes variáveis para *P. leucogaster*: BIO 1; BIO 12; BIO 16 e BIO 19. Para *A. aestiva* foram usados: BIO 2; BIO 8; BIO 18 e BIO 19 (Tabela 01).

Para evitar problemas associados ao viés de adensamento amostral em algumas áreas em detrimento de outras e a autocorrelação espacial, foi utilizado o pacote spThin no *software* R (Aiello-Lammens *et al.* 2015). Este programa subamostra o conjunto de dados, gerando um conjunto de registros de ocorrência separados por uma distância mínima estabelecida previamente para cada espécie. Essa distância foi de 29 km para *P. leucogaster* e 490 km para *A. aestiva*, como determinado pelas análises GWR através do coeficiente de Moran. Após a análise do SpThin, foram mantidos 133 registros para *P. leucogaster* e 27 para *A. aestiva* (Fig. 1).

A modelagem de distribuição de espécies e as projeções para cada espécie foi realizada usando sete algoritmos, para permitir a previsão usando o conjunto de modelos disponíveis no pacote BIOMOD2 (Thuiller *et al.* 2009) implementado para o *software* R (R Core Team). Essa abordagem buscou um consenso dos diferentes modelos para reduzir as incertezas individuais de cada um (Araújo *et al.* 2005; Marmion *et al.* 2009).

Para esta análise foram combinados os resultados de sete técnicas estatísticas diferentes para modelar a distribuição das espécies: 1) um modelo linear generalizado (GLM); 2) um modelo aditivo generalizado (GAM); 3) *splines* de regressão adaptativa multivariada

(MARS); 4) análise discriminante flexível (FDA); 5) análise de árvore de classificação (CTA); 6) modelo de *boost* generalizado (GBM); e 7) uma rede neural artificial (RNA). Para uma revisão dos diferentes métodos e suas aplicações, ver Peterson *et al.* (2011).

As técnicas de modelagem requerem informações sobre presenças e ausências das espécies, portanto, foram geradas ausências virtuais (pseudoausências), para melhorar o desempenho dos modelos de distribuição e fornecer distribuições mais precisas, como sugerem Stockwell & Peterson (2002). Os modelos foram avaliados utilizando a área sob a curva (AUC) da curva de característica operativa relativa (ROC) (Fielding & Bell 1997). A curva de ROC traça a sensibilidade (1 - taxa de omissão) contra a localidade especificada (área prevista de fração).

Cada modelo foi projetado para um cenário no passado Holoceno Médio (HM), cerca de 6 mil anos atrás, o cenário atual e 4 diferentes cenários futuros. Para condições futuras, usamos projeções calibradas de um Modelo de Circulação Global (CCSM4) (Collins *et al.* 2004), considerando duas vias de concentração de gases com efeito de estufa diferentes: “declínio substancial” (RCP 2.6) e “grande aumento” (RCP 8.5). Estes dados foram escolhidos para representar cenários de políticas climáticas do século 21, onde a emissão de gases de efeito estufa reduz drasticamente até 2100 (em RCP 2.6) ou continua subindo após 2100 (em RCP 8.5). Para refletir a tendência central dessas distribuições, considerando as variações entre as técnicas de modelagem, foi aplicada uma média ponderada das técnicas de modelagem utilizadas com base no poder preditivo (AUC) (Araújo & New 2007). As previsões das distribuições de espécies foram obtidas classificando os dados de probabilidades de acordo com um limite otimizado para o ROC, que é considerado de melhor desempenho entre as abordagens baseadas em limites (Liu *et al.* 2005).

RESULTADOS

Os resultados gerais mostram que a distribuição potencial para estes táxons, estimada usando registros retidos e as variáveis bioclimáticas selecionadas, engloba a distribuição conhecida de ambas as espécies. As áreas de incerteza para os modelos de distribuição representam as áreas localizadas nas margens das respectivas distribuições.

De acordo com os modelos de clima passado, a distribuição das duas espécies foi ainda mais ampla em meados do Holoceno, as simulações climáticas indicam que o nordeste

do Brasil era mais úmido, enquanto o Brasil central e o sul e sudeste da América do Sul estavam muito mais secos (de Melo & Marengo 2008). Esses achados são consistentes com os modelos climáticos recuperados para ambas as espécies de Psittacidae.

Durante o Holoceno Médio (6 mil anos atrás), a distribuição potencial de *P. leucogaster* estendia-se por toda a Amazônia, desde o norte do Maranhão e Piauí, norte dos estados Tocantins, Mato Grosso, Rondônia, norte da Bolívia e Peru, cobrindo grandes áreas do Amazonas e Pará (Fig. 2). Segundo o modelo, a espécie ocorria potencialmente também na calha norte da Amazônia, estendendo-se pelos países Equador, Colômbia, sul da Venezuela, Guianas e Suriname. Entretanto, outra espécie do mesmo gênero, filogeneticamente próxima, *Pionites melanocephalus* Linnaeus, 1758, ocupa o mesmo nicho e é encontrada nessa região.

A distribuição geográfica potencial atual de *P. leucogaster* inclui principalmente a Calha Sul do bioma Amazônico. Tal distribuição é basicamente compatível com a observada para a espécie. A área de ocorrência potencial atual é muito semelhante à do Holoceno Médio, porém levemente mais restrita (Fig. 3).

Foram realizadas projeções da distribuição de *P. leucogaster* para o futuro nos anos de 2050 e 2070, em dois diferentes cenários, um mais conservador e outro mais extremo, com base em duas vias de concentração de gases com efeito de estufa diferentes: “declínio substancial” (RCP 2.6) e “grande aumento” (RCP 8.5). Em todos eles se prevê uma restrição muito expressiva da área potencial de distribuição da espécie.

Em 2050, no cenário mais conservador (Fig. 4), de declínio substancial de gases de efeito estufa, a espécie apresenta uma distribuição muito menos contínua do que o obtido para a projeção atual, com extinção em regiões expressivas da Amazônia centro-oriental, porém mantendo grande probabilidade de ocorrência no oeste amazônico e no centro-sul, onde persistiria num arco que iria de Rondônia a Carajás, no Pará. Aparecem novos fragmentos potenciais, principalmente uma mancha entre o Paraguai e o Mato Grosso do Sul.

Em 2050, no cenário mais extremo de grande aumento de gases de efeito estufa (Fig. 5), a espécie seria extinta em mais de metade da Amazônia, ficando restrita principalmente ao oeste Amazônico e no sopé da Cordilheira dos Andes, além de uma mancha entre Rondônia e Mato Grosso, a nova mancha em Mato Grosso do Sul, e fragmentos isolados. Lembrando sempre que as regiões ao norte do rio Amazonas estão ocupadas por *P. melanocephalus* e não por *P. leucogaster*.

O cenário mais conservador para 2070 (Fig. 6), é levemente mais otimista do que o cenário mais extremo de 2050, apresentando áreas de ocorrência um pouco mais amplas, porém restrita às mesmas regiões. Principalmente pontos de ocorrência no sul do Pará um pouco mais contínuos.

Já o cenário extremo para 2070 (Fig. 7), prevê a extinção quase total da espécie na Amazônia de terras baixas. A ocorrência potencial da espécie estaria limitada a uma pequena área entre Rondônia e Mato Grosso, a nova área em Mato Grosso do Sul e o Paraguai. Contudo, as principais áreas de ocorrência, apresentando as densidades mais altas, se encontrariam e numa faixa altitudinal mais elevada e estreita do que a atual na Cordilheira dos Andes, e ainda em trechos descontínuos da Cordilheira, no Peru e a Bolívia.

A distribuição potencial no Holoceno Médio para *A. aestiva* (Fig. 8), segundo o modelo, estendia-se por grande parte dos cerrados do centro-sul do Brasil, incluindo o sul do norte e nordeste, além de incluir desde a Argentina até o sudeste do Peru. Também incluiria as áreas de savana de parte da Venezuela e Guiana, porém, semelhantemente ao caso anterior, outras espécies do gênero ocupam essas regiões, estando *A. aestiva* restrita aos cerrados do Hemisfério Sul.

A distribuição atual potencial (Fig. 9), como no caso da espécie anterior, não difere muito da projeção para o Holoceno Médio. Apenas avança em direção norte em alguns pontos da atual caatinga, no Nordeste do Brasil, e da borda sul da Amazônia, particularmente no Maranhão e em Mato Grosso. Entretanto, o limite norte da distribuição real atual na Amazônia segue mais os limites do Holoceno Médio do que a modesta expansão ao norte prevista pelo modelo para a época atual.

. As projeções para o futuro, nos cenários conservadores e extremos, não apresentam grandes diferenças em relação com a projeção atual. O cenário conservador de 2050 (Fig. 10) apresenta em qualquer caso densidades de ocorrência levemente mais altas do que o cenário mais extremo (Fig. 11) e o mesmo observa-se para o cenário conservador de 2070 (Fig. 12) em relação ao cenário mais extremo no mesmo ano (Fig. 13).

Ao se sobrepor os modelos de ambas as espécies em um mesmo mapa, nota-se que as duas espécies eram potencialmente amplamente distribuídas no Médio Holoceno, e que eram fundamentalmente alopatricas, coincidindo praticamente o fim da área de distribuição de uma com o início da outra (Fig. 14). Na projeção atual, ocorrem poucas mudanças. (Fig. 15).

Observa-se que apesar de *P. leucogaster* recuar notavelmente do território amazônico nas previsões para o futuro, principalmente nas mais extremas, *A. aestiva* não avança pelo território (Fig. 16, 17, 18 e 19).

DISCUSSÃO

Segundo Marini *et al.* (2010b), a eficiência da previsão dos modelos é relacionada ao tamanho amostral. De modo que, como no presente estudo contou-se com um grande número amostral de registros para ambas as espécies (5.845 para *A. aestiva* e 1.994 para *P. leucogaster*), pode-se considerar que os modelos são representativos da realidade. Além disso, os dados passaram por uma série de análises prévias para garantir a eficácia de seu poder preditivo. A inclusão de dados de ausência melhora expressivamente o desempenho dos modelos (Peters *et al.* 2011; Li & Wang 2013).

P. leucogaster é uma espécie que vive em copas de árvore em diferentes tipos de florestas, sendo mais ligada às florestas altas e mais fechadas (Novaes 1981). Portanto, é particularmente sensível à alteração do habitat florestal. Coerentemente com isto, os modelos predizem uma redução expressiva da sua área de distribuição. No caso mais extremo estudado, as previsões para grande aumento de gases de efeito estufa (RCP 8.5) em 2070 (Fig. 7), a espécie ficaria praticamente extinta da Amazônia de terras baixas e restrita a alguns trechos em altitudes médias na Cordilheira dos Andes.

Os modelos preveem apenas as mudanças climáticas derivadas do efeito estufa, e não outros fatores de transformação ambiental e cujo impacto é muito mais imprevisível, como principalmente o desmatamento. O desmatamento é um parâmetro potencialmente variável para o qual existem as suas próprias projeções mais moderadas e mais extremas gerando diferentes cenários futuros (Giam 2017). Entretanto, vale ressaltar que, mesmo que o desmatamento fosse reduzido a zero imediatamente, só o desmatamento já existente atualmente influencia indiretamente de forma expressiva as projeções para a distribuição de *P. leucogaster*.

No cenário conservador para 2050 (RCP 2.6), o modelo apresenta uma distribuição concentrada na Amazônia ocidental, mas também com um arco amplo de distribuição centro-sul de Rondônia até o sul do Pará (Fig. 4). Este arco de distribuição, na atualidade, sofre de altas taxas de desmatamento, e as previsões para o futuro próximo não são mais otimistas do que as atuais. Segundo Arraes *et al.* (2012), as taxas de desmatamento recente na Amazônia

ultrapassam 20.000 km² por ano. Portanto, não é esperado que a espécie sobreviva nessa região centro-sul, além de núcleos pequenos e isolados concentrados dentro de Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs). Assim, a espécie, que atualmente se distribui por toda a Calha Sul da Amazônia, apresentaria distribuição contínua apenas na Amazônia ocidental. Nos demais cenários, a combinação de perda de qualidade de habitat sugere uma distribuição semidescontínua na Amazônia ocidental, em função do grau de desmatamento que atingir a região, e restrita a fragmentos isolados em UCs e Tis no resto.

No caso extremo de cenário extremo para 2070, as únicas manchas de distribuição fora das ladeiras dos Andes correspondem a uma região em Rondônia – Mato Grosso quase totalmente desmatada na atualidade e onde poderia resistir, no máximo, algum pequeno núcleo isolado em TIs, ou também poderia ocorrer uma extinção total da espécie na região.

O declínio na diversidade de espécies em fragmentos florestais isolados, comparado com a floresta contínua, está intrinsecamente relacionado ao aumento do risco de extinção local de um grande número de espécies inicialmente presentes (Davies *et al.* 2000; MacArthur & Wilson 2001; Giam, 2017). Dessa forma, *P. leucogaster* possivelmente não sobreviveria a longo prazo nesses fragmentos, pois como sugerido por Davies *et al.* (2000), espécies com características particulares correm maior risco de extinção do que outras.

A nova área potencial que aparece em Mato Grosso do Sul e o Paraguai encontra-se separada da distribuição atual da espécie por uma faixa de habitats inapropriados de milhares de km de largura, sendo extremamente improvável a colonização natural pela espécie. A tendência, portanto, nos cenários mais extremos, é uma restrição à região andina, e nos menos extremos, à subsistência de núcleos isolados em UCs e TIs, com possivelmente regiões adicionais um pouco mais extensas no extremo oeste amazônico. A espécie encontra-se atualmente considerada “em perigo” (EN) de acordo com IUCN (2016; BirdLife International 2016), devido à taxa atual de perda de população, mas de acordo com os modelos cabe esperar um retrocesso maior no futuro, não apenas da densidade de população, como também na distribuição geográfica.

Observa-se que cenário para a *A. aestiva* é diferente pois os modelos preveem uma certa estabilidade para a sua área de distribuição. Ressalta-se que não há previsão de que a espécie colonize a Amazônia, apesar do retrocesso dos regimes climáticos amazônicos atuais, o que indica a previsão para a região da ocorrência de regimes mais quentes e secos do que os atuais, porém diferentes daqueles que podem ser encontrados hoje em dia, por exemplo, no

cerrado. Os cerrados naturais têm perdido grande parte do território para o agronegócio (Ratter *et al.* 1997; Lahsen *et al.* 2016; Brandão *et al.* 2017), o que deve representar uma grande perda de densidade populacional para a espécie. As bordas norte da sua distribuição potencial na atualidade em regiões como a Bolívia e o Maranhão, não se correspondem com a distribuição real dos registros, o que indica que novas áreas de vegetação aberta artificialmente na Amazônia, como capinzais e plantações de soja, não suprem as necessidades da espécie como os cerrados naturais (Davies *et al.* 2000).

Outro aspecto importante a ser considerado é a grande relevância que a cobertura vegetal tem sobre a distribuição geográfica das aves (Wiens 1992). Ainda que este seja um parâmetro relacionado indiretamente com os parâmetros climáticos, e que portanto não se comporte independentemente do ponto de vista matemático, no futuro será cada vez mais necessário estudar essa relação no caso das aves, porque por exemplo no presente estudo, os modelos predizem que o clima, e portanto a cobertura vegetal, da Amazônia de terras baixas (principalmente oriental) mudaria a ponto de não se parecer com nenhum dos regimes climáticos atuais, nem da Amazônia, nem do cerrado. Não sabemos então quais seriam as características gerais da nova cobertura vegetal que se estabelecesse na região e, portanto, quais seriam as respostas das populações animais regionais a condições que os modelos não podem prever com os dados atuais por se tratar de condições inteiramente novas.

Perante a uma situação tão grave, de extinção regional de algumas espécies e queda das densidades populacionais de outras, cabe fazer uma reflexão sobre as estratégias que as políticas públicas preveem para enfrentar o aquecimento global como, por exemplo, foi discutido por Werner Sinn (2007). E talvez a primeira das grandes subdivisões entre essas estratégias consista na dicotomia entre medidas mitigadoras e adaptadoras.

Para o caso de *P. leucogaster*, é notório que a sua sobrevivência além de trechos isolados dos Andes, exige medidas mitigadoras da mudança climática. Não há medidas adaptadoras que possam impedir a sua extinção da grande maior parte da Amazônia a médio prazo, sem redução notável da emissão de gases estufa.

Uma das poucas medidas adaptadoras possíveis para esta espécie, poderia ser a sua introdução em fragmentos onde a espécie atualmente não ocorre, porém, previstos como potencial ocorrência no futuro, como a mancha entre o Mato Grosso do Sul e o Paraguai. Entretanto, vale ressaltar algumas dificuldades que envolvem esta medida. Primeiro, a introdução de espécies exóticas nos ecossistemas não é incentivada por políticas responsáveis

de conservação, devido aos desequilíbrios nas relações ecológicas entre espécies que a introdução de biota exótica causa (Early *et al.* 2016). Existe também um problema biogeográfico, pois a região em questão seria passível de ser colonizada antes por espécies da Mata Atlântica do que da Amazônia. Espécies que em muitos casos ocupam nichos semelhantes, mas cujas distribuições não se sobrepõem devido exatamente à existência de barreiras geográficas (Wiens 2011). Por último, a própria realidade do desmatamento na região dificulta seriamente a conservação local de ecossistemas.

A mudança climática tem começando a produzir uma migração de ecossistemas que afeta gravemente às UCs no mundo inteiro, já que algumas delas foram demarcadas como locais ótimos para a conservação de tais e quais espécies, porém perderão parte dessa adequação devido à mudança climática, enquanto áreas que teriam potencial ótimo para o futuro encontram-se já atualmente desmatadas. Este fenômeno apresenta dimensões planetárias conforme sugerido por Carr *et al.* (2005) e Longobard *et al.* (2016).

Segundo Şekercioğlu (2012) as atuais mudanças no clima global provavelmente resultem na extinção de uma ampla diversidade de espécies tropicais terrestres. Além disso, de acordo com o mesmo autor, muitas das espécies de aves tropicais vulneráveis às alterações climáticas não são atualmente consideradas ameaçadas de extinção, em parte devido à falta de conhecimento, mas também em parte devido a que a maior parte dos efeitos potenciais da mudança climática sobre os ecossistemas ainda não se materializaram. Assim, faz-se urgente a sistematização e regulamentação de coleta de informações sobre a ecologia e distribuições atuais e futuras dessas espécies.

Dessa forma, vale ressaltar a aplicabilidade do uso de modelos ecológicos de nicho para essa sistematização de informações mais acuradas sobre a distribuição das espécies. Por exemplo, Barros (2011) apresenta uma revisão de alguns modelos preditivos de distribuição de espécies colocando-os no contexto da ecologia urbana da Área Metropolitana de Belém, com o intuito de enfatizar estudos partindo-se da possibilidade de risco de extinção iminente da fauna local. Também, Luna *et al.* (2017) aplicam um raciocínio semelhante para prever a evolução da distribuição geográfica das espécies do gênero *Antilophia* (Pipridae) e as consequências para a definição de políticas de conservação. Assim, o método aplicado no presente trabalho tem uma abrangência que permite estudar uma diversidade de casos.

Além disso, nós escolhemos precisamente uma espécie de distribuição amazônica e uma outra vinculada principalmente ao cerrado, para que os resultados obtidos para essas

espécies sejam indicadores do que pode acontecer também com espécies de requerimentos ecológicos e padrões biogeográficos similares. Uma continuação adequada do presente trabalho consistiria em escolher espécies com outros padrões de distribuição para que por sua vez servissem como modelo para grupos de espécies com requerimentos ecológicos similares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores que possibilitaram que este trabalho fosse idealizado e realizado, Carlos Martínez e Lincoln Carneiro. Dedico esse trabalho a minha mãe Márcia Helena de França Rego. Agradeço enormemente a todos os meus familiares que me apoiaram durante todo esse trajeto, meu pai Celso Silva Pinto que sempre me ajudou mesmo de longe, meu tio Carlos Petrônio de França Rego, é graças a você que consegui entrar na UFMA, obrigada por todos os dias e noites que passamos estudando, você é um grande exemplo que irei carregar para a vida toda. Obrigada a toda as minhas tias, em especial tia Neia, Sônia Rego e Jeanete Rego. Agradeço a todos meus amigos de turma por percorrerem esse caminho comigo, chegamos até aqui e vamos mais longe ainda. Muito obrigada a toda a equipe do Programa de Educação Tutorial de Biologia (PET Bio), meu crescimento acadêmico e profissional é de grande parte devido a vivência que tive nesse programa. Obrigada minha parceira de vida, minha amiga e minha irmã Isla Portela Lopes, por estar ao meu lado nos melhores e mais difíceis momentos dessa vida (não somente a acadêmica) e por ter me ajudado de forma tão expressiva nessa etapa final do curso. Obrigada a todos vocês, Clarisse, Diego, Italo, Carlos, Gustavo, Meydson, Natália, Daniel, Rafaela, Sarah, Alana, Alex, Pedro, Breno, José, Amanda, Remy, Karla, Manuel Alfredo e Linair Lemos Martins.

REFERÊNCIAS

- Aiello-Lammens M. E., Boria R. A., Radosavljevic A., Vilela B. & Anderson R. P. 2015. spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography* 38(5): 541 – 545
- Araújo M. B. & New M. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends Ecology & Evolution* 22(1): 42 – 47.
- Araújo M. B., Pearson R. G., Thuiller W. & Erhard M. 2005. Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology* 11(9):1504 – 1513.
- Arraes R. D. A., Mariano F. Z. & Simonassi A. G. 2012. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. *Revista de Economia e Sociologia Rural* 50(1): 119-140.
- Barros, A. A. M. 2011. Modelos preditivos de distribuição de espécies: sugestões para a área metropolitana de Belém, Pará. In: *Ecossistemas Amazônicos: dinâmicas, impactos e valorização dos recursos naturais*. Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi.
- BirdLife International 2016. *Pionites leucogaster*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2016:e.T62181308A95191855. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T62181308A95191855.en>. (Downloaded on 10 November 2018).
- Brandão R. J. A., de Castilho C. J. M. & de Moraes H. A. 2017. Modern agriculture in the Cerrado Biome: continuing the disrespect of nature. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 7(3): 134-149.
- Broennimann O. & Guisan A. 2008. Predicting current and future biological invasions: both native and invaded ranges matter. *Biology Letters* 4(5):585–589
- Carr D. L., Suter L. & Barbieri A. 2005. Population dynamics and tropical deforestation: state of the debate and conceptual challenges. *Population and environment* 27(1): 89-113.
- Carvalho B. M., Rangel E. F., Ready P. D. & Vale M. M. 2015. Ecological niche modelling predicts southward expansion of *Lutzomyia* (*Nyssomyia*) *flaviscutellata* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), vector of *Leishmania* (*Leishmania*) *amazonensis* in South America, under climate change. *PloS One* 10(11): e0143282.
- CBRO. 2015. Checklist of the birds of Brazil. Version. CBRO (Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos) <http://www.cbro.org.br> (Acessado em 05/10/2018).
- Collar N. J. & Juniper A.T. 1992. Dimensions and causes of the parrot conservation crisis. 1-16 In: Beissinger S.R. & Snyder N.F.R. (eds.). *New World Parrots in Crisis: Solutions From Conservation Biology*. Smithsonian Institution Press: Washington, DC.
- Collins W., Blackmon M., Bitz C., Bonan G., Bretherton C., Carton J., Chang P., Doney S., Hack J., Kiehl J., Henderson T., Large W., Mckenna D., Santer B. & Smith R. 2004. The community climate system model: CCSM3. *Journal of Climate* 19(11): 2122 – 2143.

- Crego R. D., Nielsen C. K. & Didier K. A. 2013. Climate change and conservation implications for wet meadows in dry Patagonia. *Environmental Conservation* 41(2): 122-131.
- Davies K. F., Margules C. R. & Lawrence J. F. 2000. Which traits of species predict population declines in experimental forest fragments? *Ecology* 81(5): 1450-1461.
- de Melo M. L. D. & Marengo J. A. 2008. Simulações do Clima do Holoceno Médio na América do Sul com o modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC. *Revista Brasileira de Meteorologia* 23(2): 191 – 205.
- Del Hoyo J., Elliot A. & Sargatal J. 1997. *Handbook of the Birds of the World, Sandgrouse to Cuckoos, vol. 4*. Lynx Edicions, Barcelona.
- Early R., Bradley B. A., Dukes J. S., Lawler J. J., Olden J. D., Blumenthal D. M., Gonzalez P., Grosholz E. D., Ibañez I., Miller L. P., Sorte C. J. & Tatem A. J. 2016. Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities. *Nature Communications* 7:12485.
- Erize F., Mata J. R. & Rumboll M. 2006. *Birds of South America: non-passerines: rheas to woodpeckers*. Princeton University Press.
- Fielding A. H. & Bell J. F. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/ absence models. *Environmental conservation* 24(1):38 – 49.
- Forshaw J. M. & Cooper W. T. 1989. *Parrots of the world*. London: Blandford.
- Fotheringham A., Brundson C. & Charlton M. 2002. *Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationship*. John Wiley & Sons, Limited.
- Fragoso Jr C. R., Ferreira T. F. & Marques D. M. 2009. *Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Giam X. 2017. Global biodiversity loss from tropical deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(23): 5775-5777.
- Guisan A. & Zimmermann N. E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling* 135(2-3): 147– 186.
- Hannah L., Midgley G. F. & Millar D. 2002. Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology Biogeography* 11(6):485–495
- Hiddink J. G. & Ter Hofstede R. 2008. Climate induced increases in species richness of marine fishes. *Global change biology* 14(3): 453-460.
- Hijmans R. J., Cameron S. E., Parra J. L., Jones P. G. & Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology* 25(15): 1965-1978.
- IUCN. 2008. IUCN red list of threatened species. [Online] <http://www.iucnredlist.org> (access on 25 August 2018).

- IUCN. 2016. IUCN red list of threatened species. [Online] <http://www.iucnredlist.org> (access on 25 August 2018).
- Lahsen M., Bustamante M. M. & Dalla-Nora E. L. 2016. Undervaluing and overexploiting the Brazilian Cerrado at our peril. *Environment: science and policy for sustainable development* 58(6): 4-15.
- Legendre P. & Fortin M. J. 1989. Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio* 80(2): 107–138.
- Legendre P. & Legendre L. 2003. Numerical ecology. *Elsevier*.
- Li X & Wang Y. 2013. Applying various algorithms for species distribution modelling. *Integrative Zoology* 8(2):124–135.
- Liu C., Berry P. M., Dawson T. P. & Pearson R. G. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography* 28(3): 385 – 393.
- Longobardi P., Montenegro A., Beltrami H. & Eby M. 2016. Deforestation induced climate change: effects of spatial scale. *PLoS One* 11(4): e0153357.
- Luna L. W., Souza T. O., Carneiro L. S., Silva W. A. G., Schneider H., Sampaio I., Araripe J. & Rêgo P. S. 2017. Molecular data and distribution dynamics indicate a recent and incomplete separation of manakins species of the genus *Antilophia* (Aves: Pipridae) in response to Holocene climate change. *Journal of Avian Biology* 48(8): 001–012.
- MacArthur R. H. & Pianka E. R. 1966. On optimal use of a patchy environment. *The American Naturalist* 100(916): 603-609.
- MacArthur R. H. & Wilson E. O. 2001. *The Theory of Island Biogeography, vol. 1*. Princeton University Press.
- Marini M. A., Barbet-Massin M., Lopes L. E. & Jiguet F. 2010. Predicting the occurrence of rare Brazilian birds with species distribution models. *Journal of Ornithology* 151(4): 857–866.
- Marini M. A., Barbet-Massin M., Martinez J., Prestes N. P. & Jiguet, F. 2010. Applying ecological niche modelling to plan conservation actions for the Red-spectacled Amazon (*Amazona pretrei*). *Biological Conservation* 143(1): 102–112.
- Marmion M., Parviainen M., Luoto M., Heikkinen R. K. & Thuiller W. 2009. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and distributions* 15(1): 59 – 69.
- Novaes F. C. 1981. Estrutura da espécie nos periquitos do gênero *Pionites* Heine (Psittacidae, Aves). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Nova Série Zoologia, Belém 106:1-21 <http://repositorio.museu-goeldi.br/handle/mgoeldi/1050> (access on: 13 November 2018)
- Peters J., De Baets B., Calvete C., Lucientes J., De Clercq E. M., Ducheyne E. & Verhoest N. E. C. 2011. Absence reduction in entomological surveillance data to improve niche-based distribution models for *Culicoides imicola*. *Preventive veterinary medicine* 100(1): 15-28.

- Peterson A. T., Soberón J., Pearson R. G., Anderson R. P., Martinez-Meyer E., Nakamura M. & Araújo M. B. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*, vol. 56. Princeton University Press.
- Piacentini V. D. Q., Aleixo A., Agne C. E., Maurício G. N., Pacheco J. F., Bravo G. A. & Silveira, L. F. 2015. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee/Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. *Revista Brasileira de Ornitologia-Brazilian Journal of Ornithology* 23(2): 90-298.
- Pimentel R. G. 2009. *Influência de fatores biogeográficos sobre a sensibilidade das espécies de aves à fragmentação do habitat*. Dissertação. Mestrado em Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.
- Rangel T. F., Diniz-Filho J. A. F. & Bini L. M. 2010. SAM: a comprehensive application for spatial analysis in macroecology. *Ecography* 33(1): 46 – 50.
- Ratter J. A., Ribeiro J. F. & Bridgewater S. 1997. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of botany* 80(3): 223-230.
- Ribeiro V., Werneck F. P. & Machado R. B. 2016. Distribution dynamics of South American savanna birds in response to Quaternary climate change. *Austral Ecology* 41(7): 768–777.
- Richardson D. M. & Thuiller W. 2007. Home away from home-objective mapping of high-risk source areas for plant introductions. *Diversity and Distributions* 13(3): 299–312
- Ricklefs R. E. 2010. *A economia da natureza*. 6ª ed. Guanabara Koogan
- Schadt S., Revilla E., Wiegand T., Knauer F., Kaczensky P., Breitenmoser U., Bufka L., Cerveny J., Koubek P., Huber T., Stanisa C. & Trepl L. 2002. Assessing the suitability of central European landscapes for the reintroduction of Eurasian lynx. *Journal of Applied Ecology* 39(2): 189–203
- Şekercioğlu Ç. H., Primack R. B. & Wormworth J. 2012. The effects of climate change on tropical birds. *Biological Conservation* 148(1): 1-18.
- Sinn H. W. 2007. *Public policies against global warming* (No. w13454). National Bureau of Economic Research, Cambridge.
- Stockwell D. R. & Peterson A. T. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distributions models. *Ecological modelling* 148(1): 1 – 13.
- Thompson W. L. (ed) 2004. *Sampling rare or elusive species: concepts, designs, and techniques for estimating population parameters*. Island Press, Washington, DC
- Thuiller W. 2004. Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. *Global Change Biology* 10(12): 2020–2027
- Thuiller W., Lafourcade B., Engler R. & Araújo M. B. 2009. Biomod – A platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography* 32(3): 369 – 373.

- Van Perlo B. 2009. *A field guide to the birds of Brazil*. Oxford University Press.
- Waltari E., Hijmans R. J., Peterson A. T., Nyari A. S., Perkins S. L. & Guralnick R. P. 2007. Locating Pleistocene refugia: comparing phylogeographic and ecological niche model predictions. *PloS One* 2(7): e563.
- Werneck F. P., Gamble T., Colli G. R., Rodrigues M. T. & Sites Jr. J. W. 2012. Deep diversification and long-term persistence in the south american ‘dry diagonal’: integrating continent-wide phylogeography and distribution modeling of geckos. *Evolution* 66(10): 3014-3034.
- Wiens J. A. 1992. *The ecology of bird communities, Vol 1*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Wiens J. J. 2011. The niche, biogeography and species interactions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 366(1576): 2336-2350.
- Wilson K. A., Westphal M. I., Possingham H. P. & Elith J. 2005. Sensitivity of conservation planning to different approaches to using predicted species distribution data. *Biological Conservation* 122(1): 99–112

Tabela 01. Lista das 19 variáveis bioclimáticas derivadas dos valores mensais de temperatura e precipitação utilizadas na geração de modelo de distribuição de espécies.

Variáveis Bioclimáticas	
BIO 1	Temperatura média anual
BIO 2	Variação diurna média (média mensal (máx temp - min temp))
BIO 3	Isotermalidade (BIO2/BIO7) (*100)
BIO 4	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão *100)
BIO 5	Máxima temperatura do mês mais quente
BIO 6	Mínima temperatura do mês mais frio
BIO 7	Variação anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO 8	Temperatura média do trimestre mais úmido
BIO 9	Temperatura média do trimestre mais seco
BIO 10	Temperatura média do trimestre mais quente
BIO 11	Temperatura média do trimestre mais frio
BIO 12	Precipitação anual
BIO 13	Precipitação do mês mais úmido
BIO 14	Precipitação do mês mais seco
BIO 15	Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)
BIO 16	Precipitação do trimestre mais úmido
BIO 17	Precipitação do trimestre mais seco
BIO 18	Precipitação do trimestre mais quente
BIO 19	Precipitação do trimestre mais frio

LEGENDAS DE FIGURAS

Figura 1. Mapa com registros mantidos de *Pionites leucogaster* (133 registros) e *Amazona aestiva* (27 registros) utilizados para a geração dos modelos de distribuição de espécies.

Figura 2. Modelo de distribuição potencial de *Pionites leucogaster* no Holoceno Médio (6 mil anos atrás).

Figura 3. Modelo de distribuição potencial de *Pionites leucogaster* em um cenário atual.

Figura 4. Modelo de distribuição potencial de *Pionites leucogaster* em um cenário conservador em 2050 (RCP 2.6).

Figura 5. Modelo de distribuição potencial de *Pionites leucogaster* em um cenário extremo em 2050 (RCP 8.5).

Figura 6. Modelo de distribuição potencial de *Pionites leucogaster* em um cenário conservador em 2070 (RCP 2.6).

Figura 7. Modelo de distribuição potencial de *Pionites leucogaster* em um cenário extremo em 2070 (RCP 8.5).

Figura 8. Modelo de distribuição potencial de *Amazona aestiva* no Holoceno Médio (6 mil anos atrás).

Figura 9. Modelo de distribuição potencial de *Amazona aestiva* em um cenário atual.

Figura 10. Modelo de distribuição potencial de *Amazona aestiva* em um cenário conservador em 2050 (RCP 2.6).

Figura 11. Modelo de distribuição potencial de *Amazona aestiva* em um cenário extremo em 2050 (RCP 8.5).

Figura 12. Modelo de distribuição potencial de *Amazona aestiva* em um cenário conservador em 2070 (RCP 2.6).

Figura 13. Modelo de distribuição potencial de *Amazona aestiva* em um cenário extremo em 2070 (RCP 8.5).

Figura 14. Modelo de distribuição potencial de ambas espécies no Holoceno Médio (6 mil anos atrás).

Figura 15. Modelo de distribuição potencial de ambas espécies em um cenário atual.

Figura 16. Modelo de distribuição potencial de ambas espécies em um cenário conservador em 2050 (RCP 2.6).

Figura 17. Modelo de distribuição potencial de ambas espécies em um cenário extremo em 2050 (RCP 8.5).

Figura 18. Modelo de distribuição potencial de ambas espécies em um cenário conservador em 2070 (RCP 2.6).

Figura 19. Modelo de distribuição potencial de ambas espécies em um cenário extremo em 2070 (RCP 8.5).

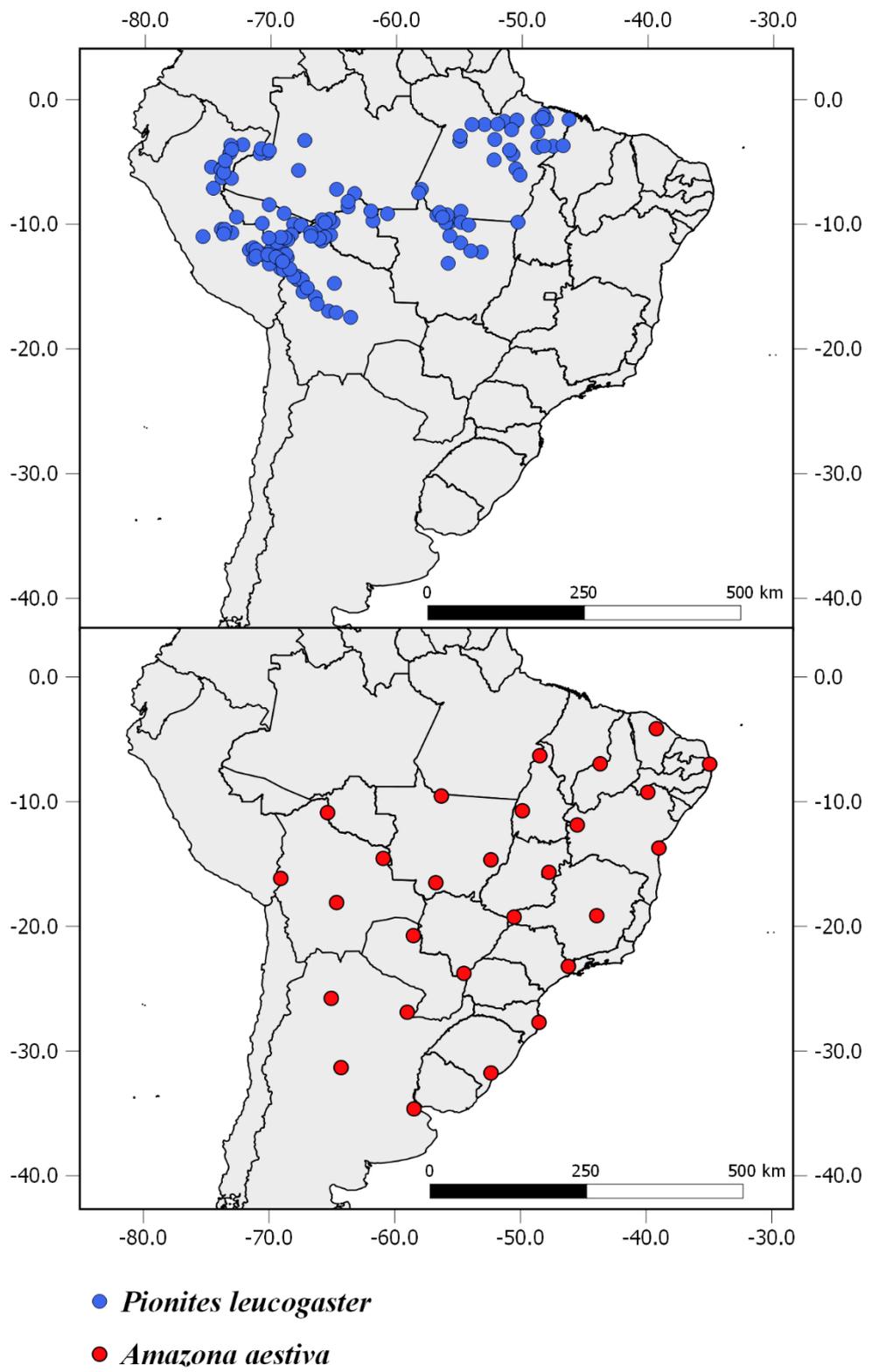


Figura 01.

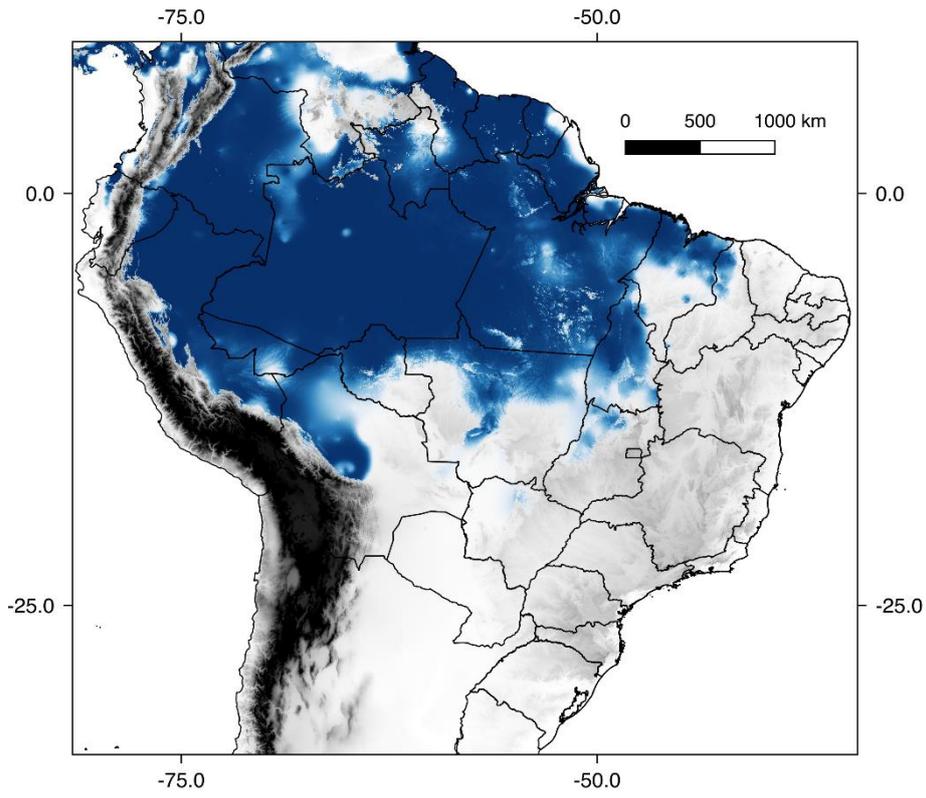


Figura 02.

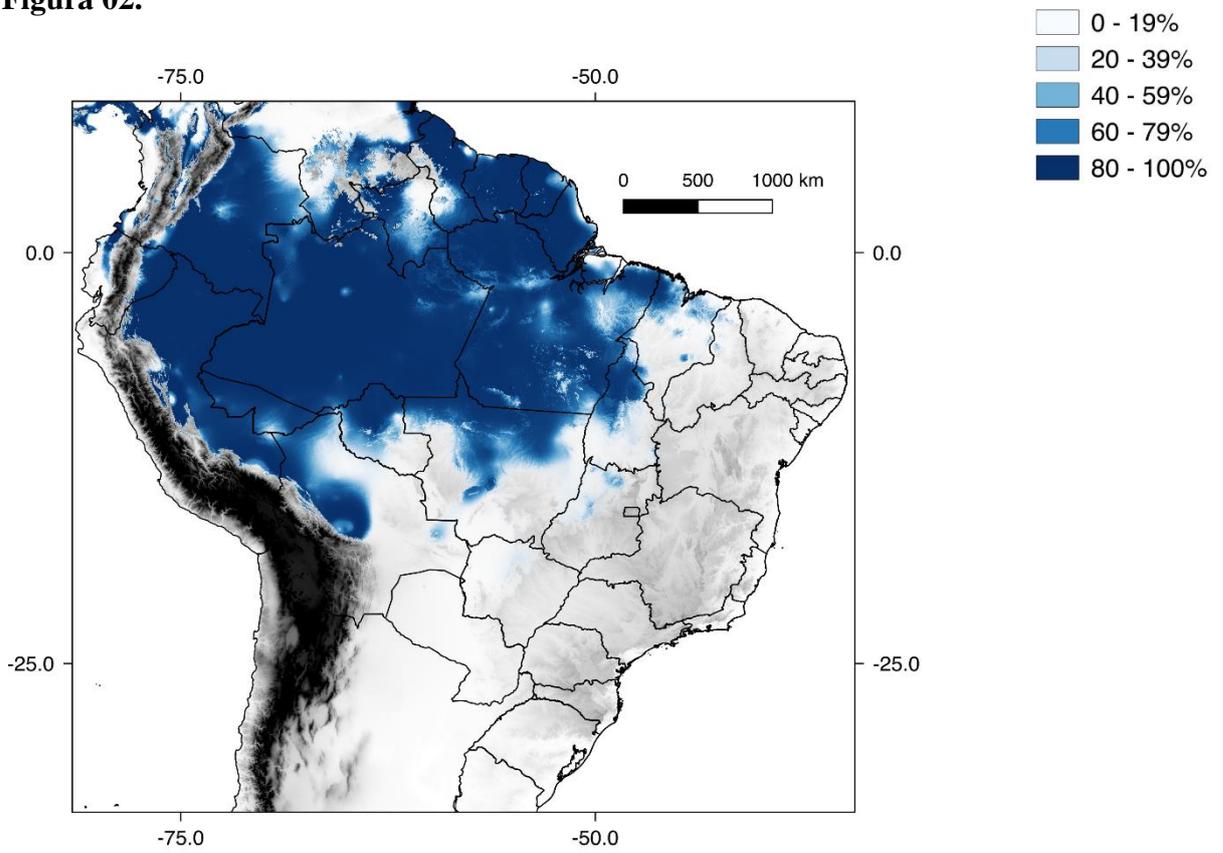
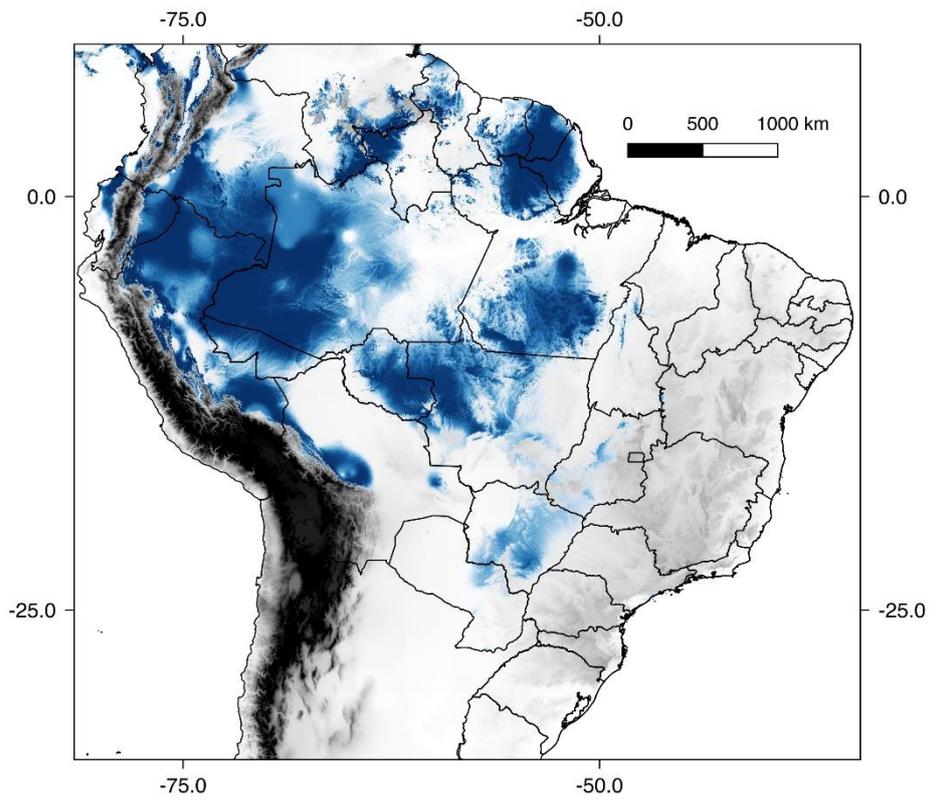


Figura 03.



Pionites leucogaster

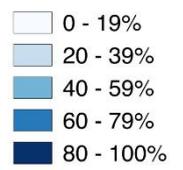


Figura 04.

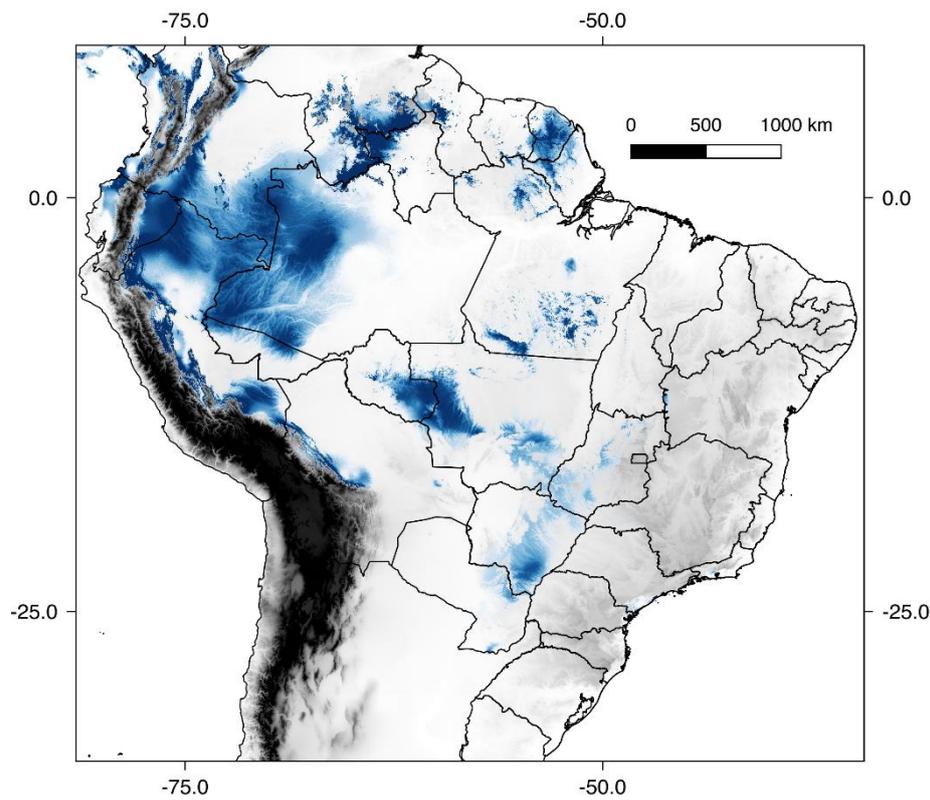
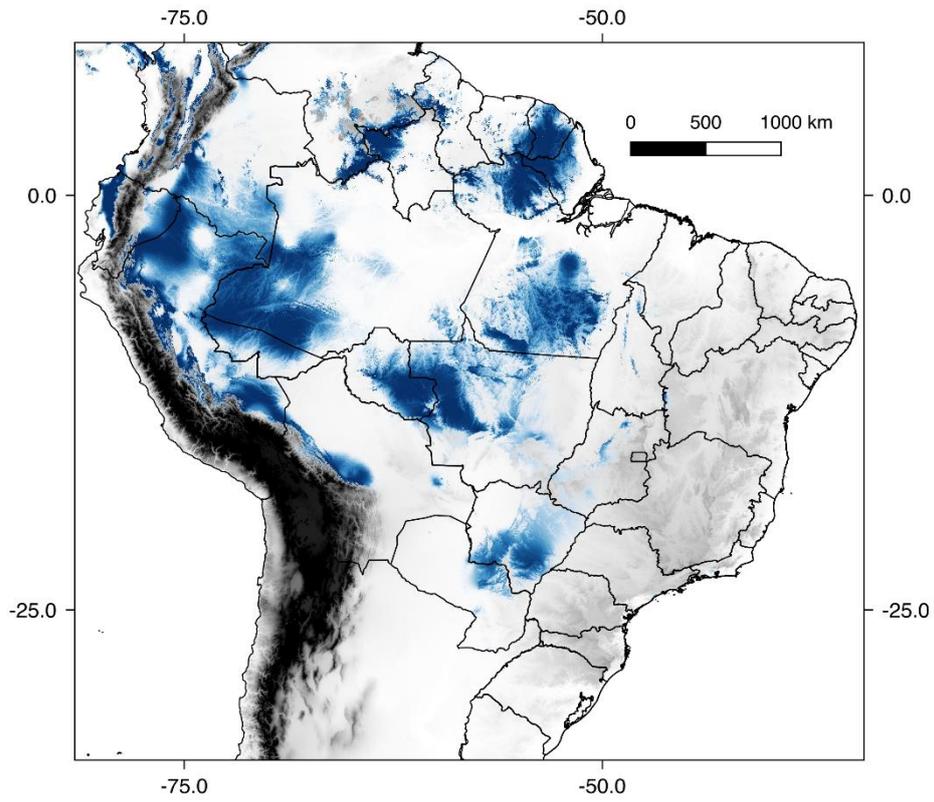


Figura 05.



Pionites leucogaster

Figura 06.

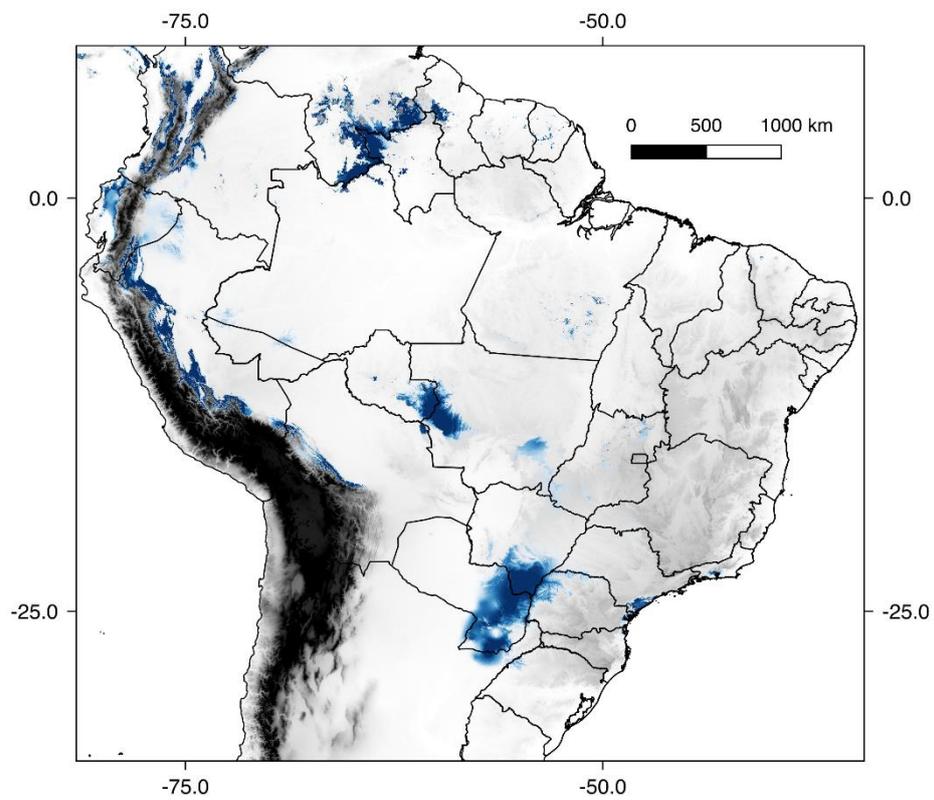
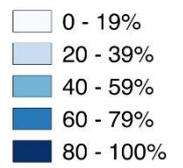
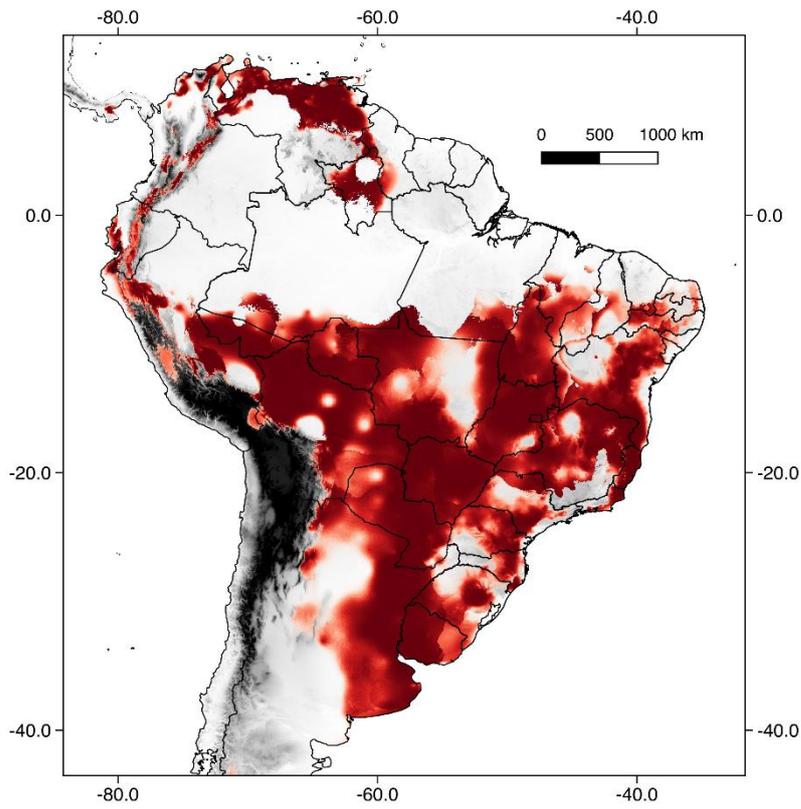


Figura 07.



Amazona aestiva

Figura 08.

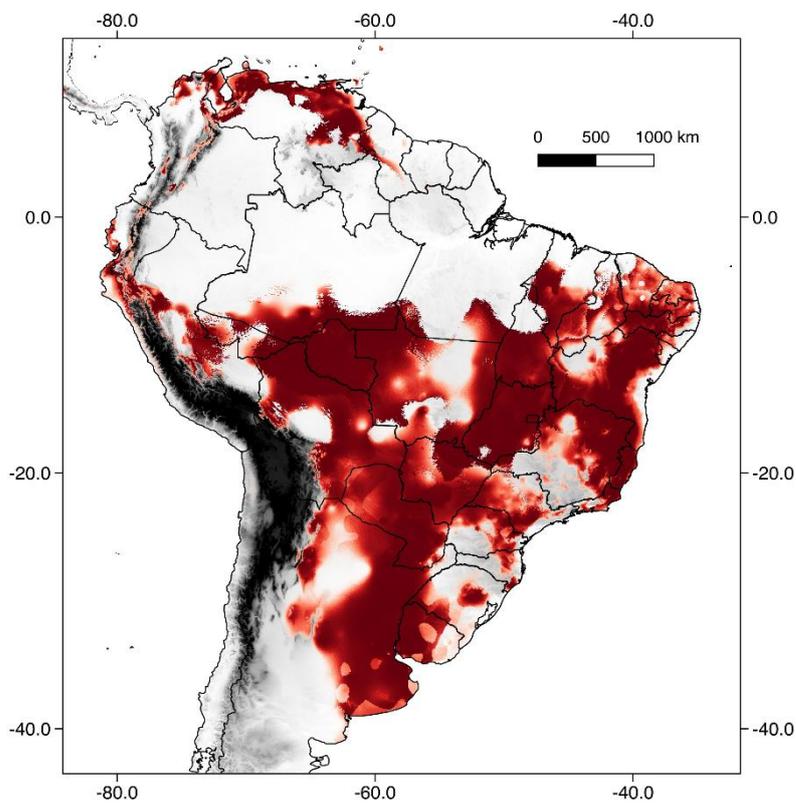
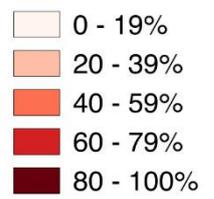
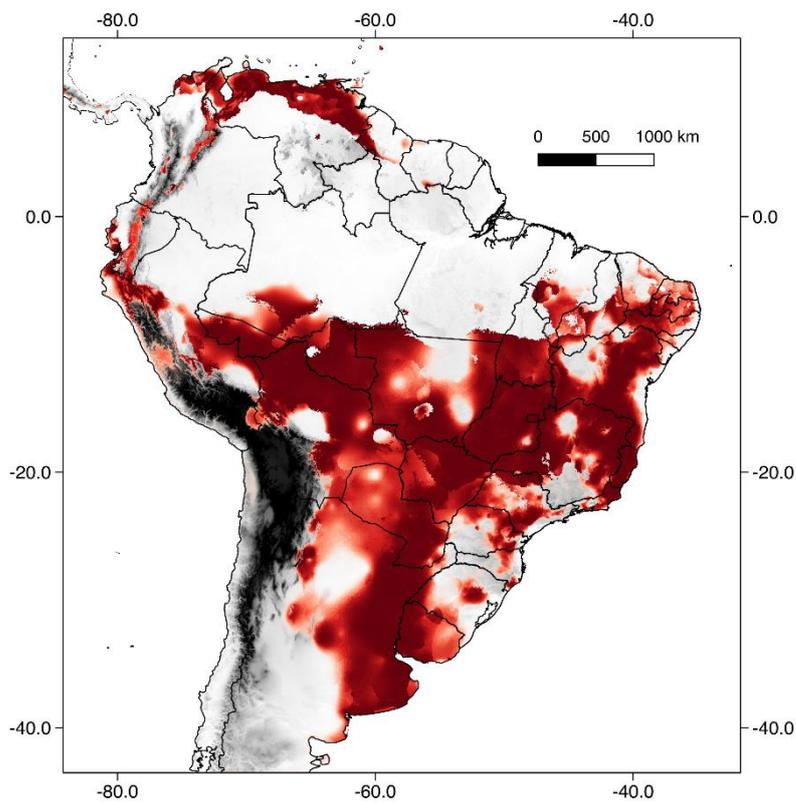


Figura 09.



Amazona aestiva

Figura 10.

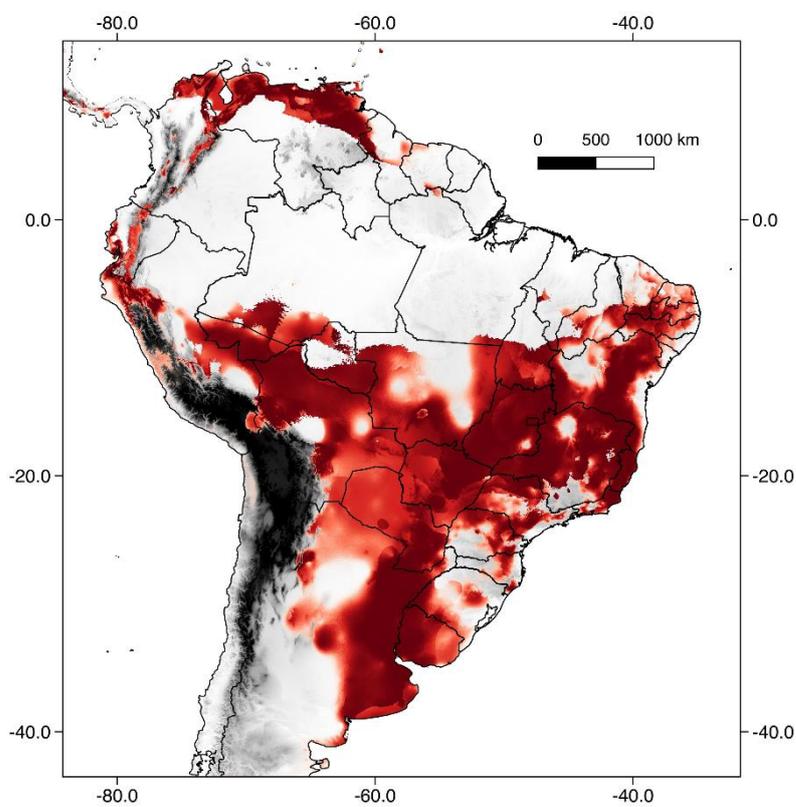
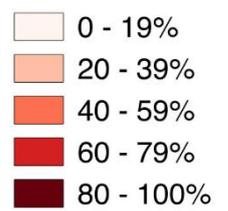
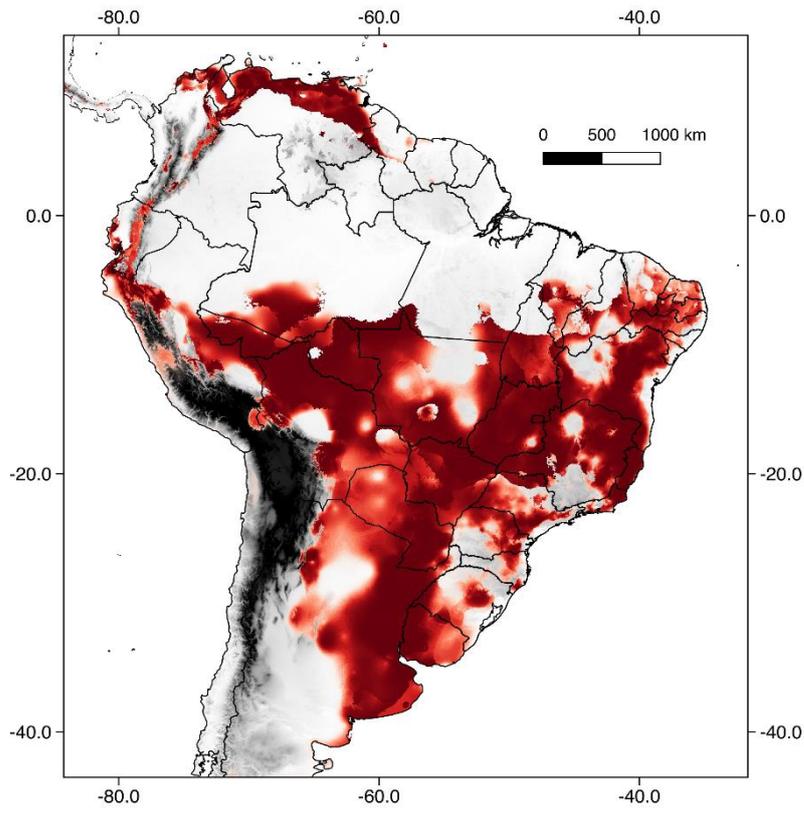


Figura 11.



Amazona aestiva

Figura 12.

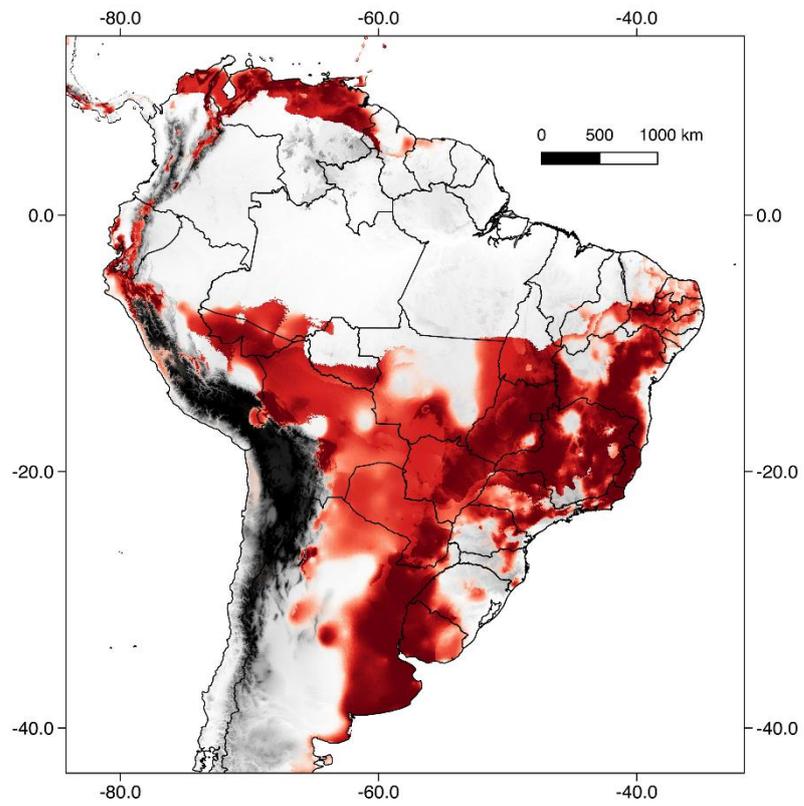
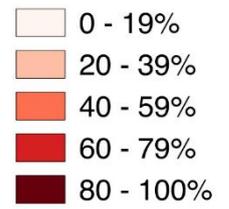


Figura 13.

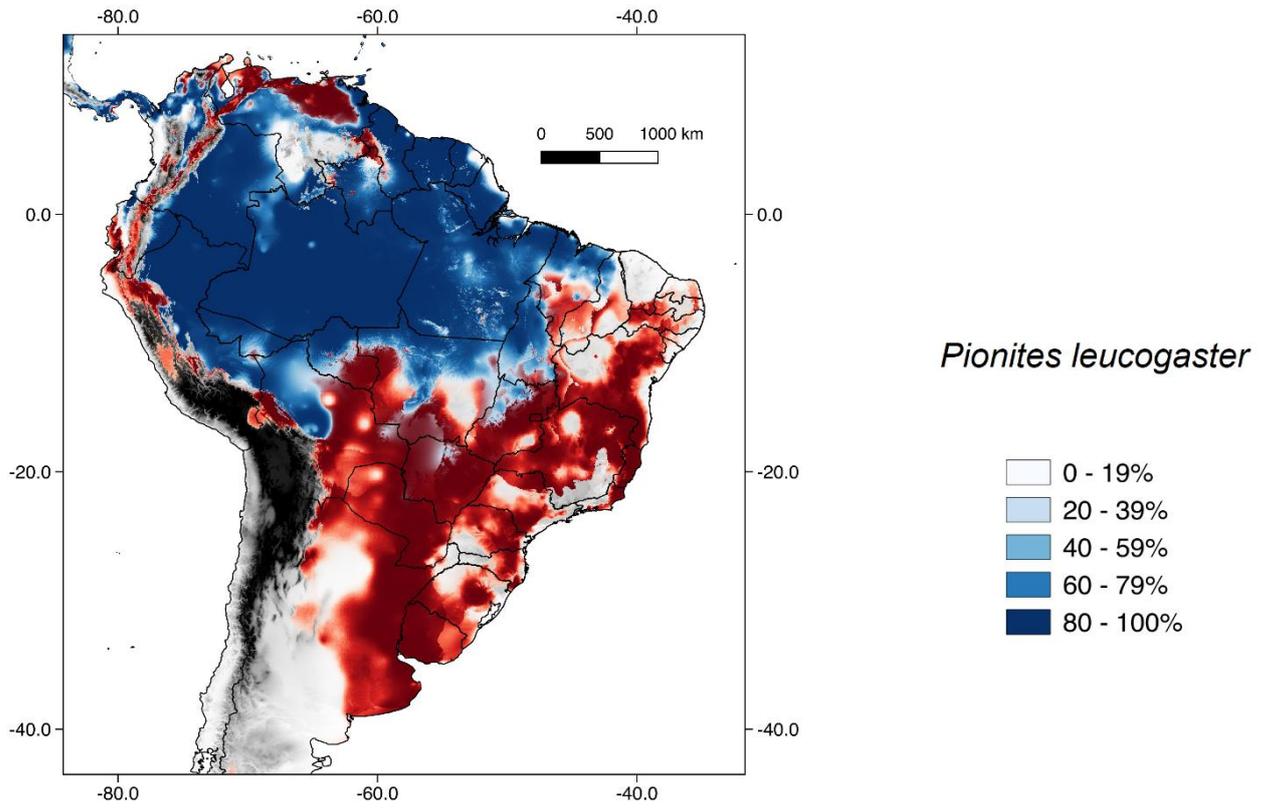


Figura 14.

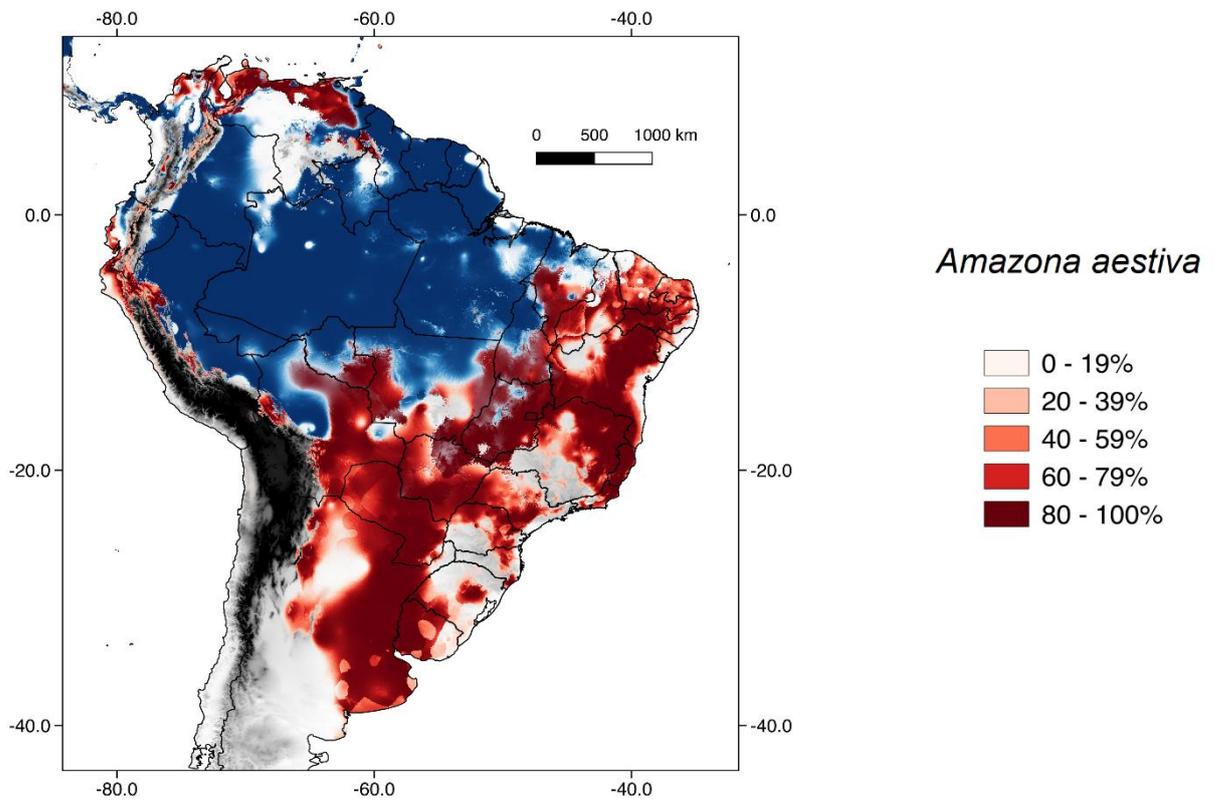


Figura 15.

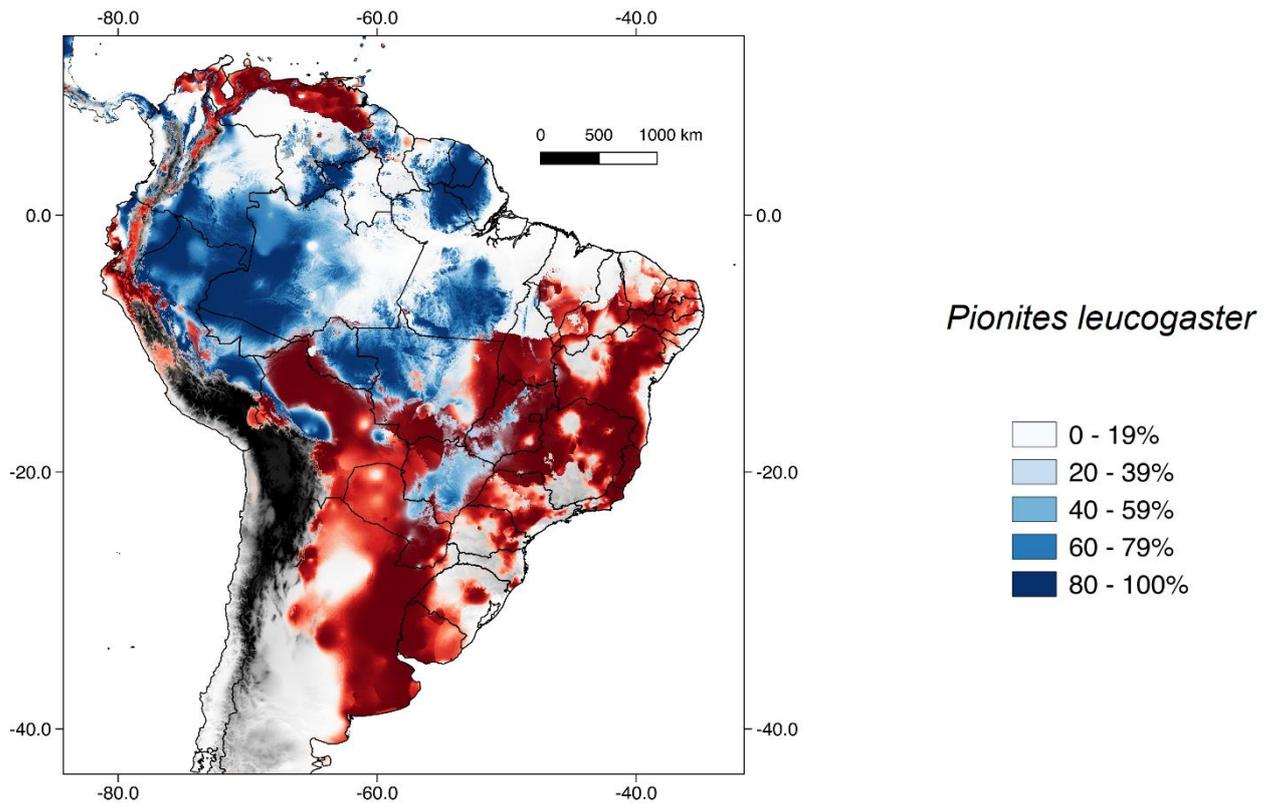


Figura 16.

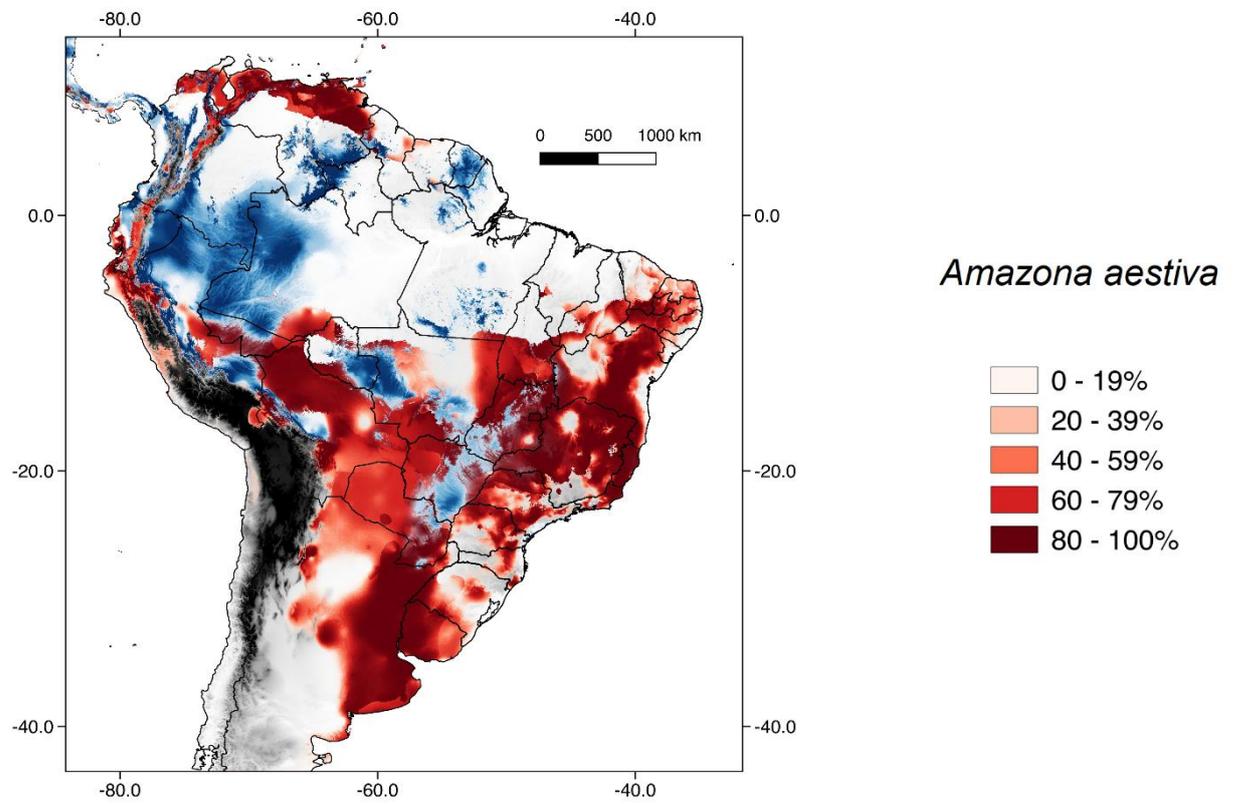


Figura 17.

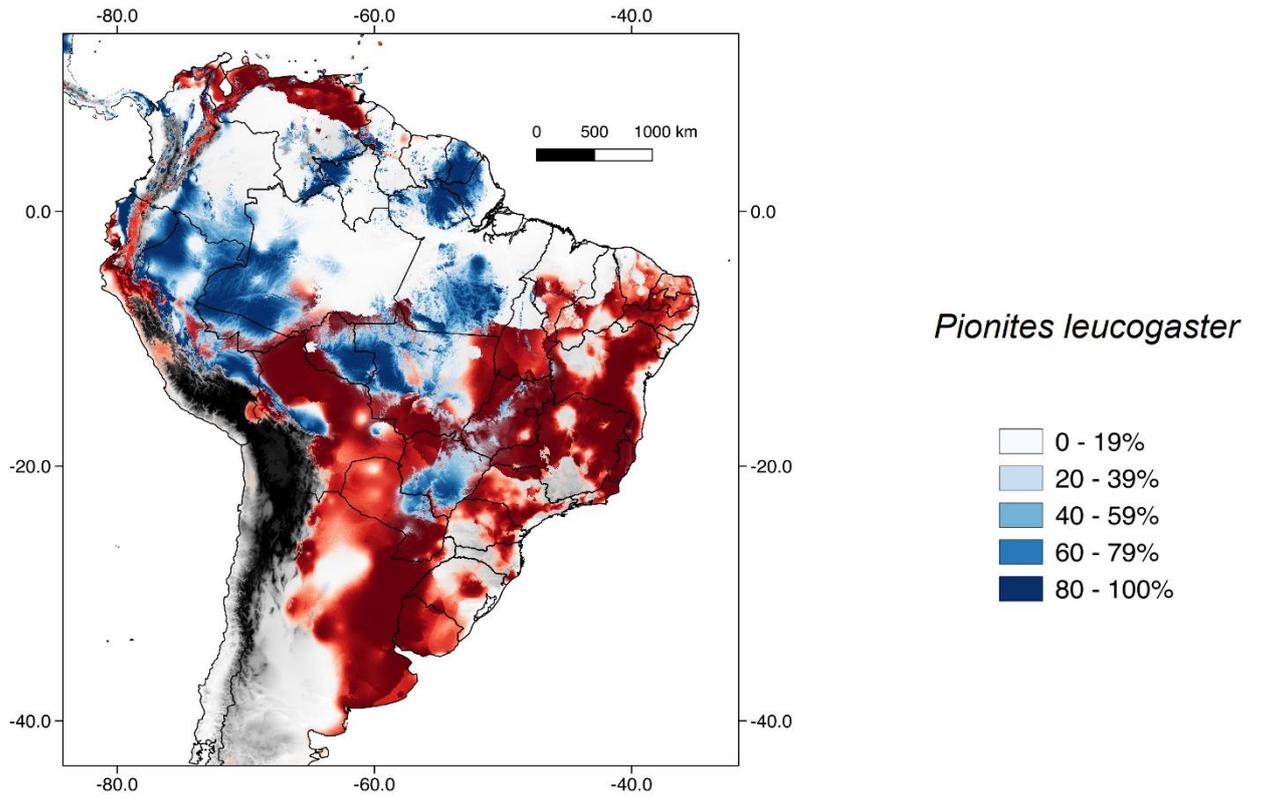


Figura 18.

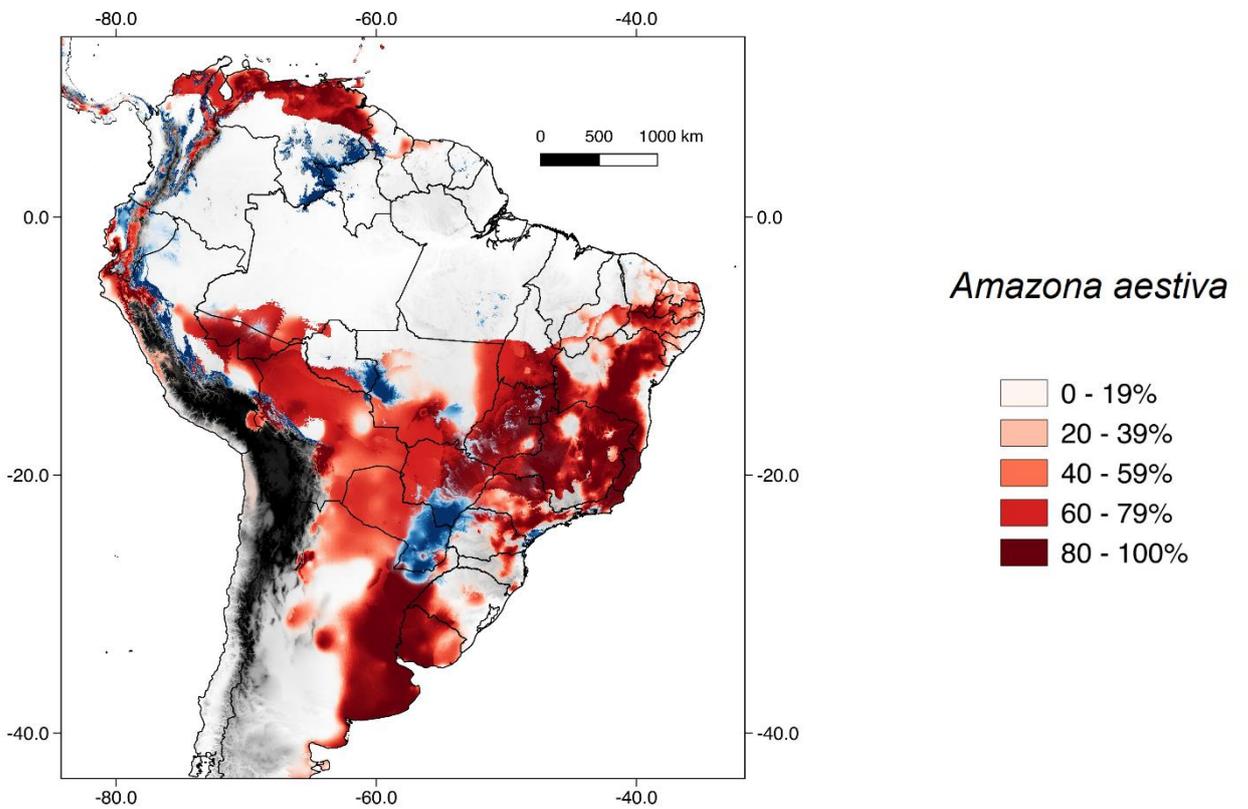


Figura 19.

ANEXO

NORMAS DA REVISTA

REVISTA BRASILEIRA DE ORNITOLOGIA - BRAZILIAN JOURNAL OF ORNITHOLOGY

Instructions to Autor

The *Revista Brasileira de Ornitologia* will accept original contributions related to any aspect of the biology of birds, with emphasis on the documentation, analysis, and interpretation of field and laboratory studies, presentation of new methodologies, theories or reviews of ideas or previously known information. Studies using animals in captivity, zoos or rehabilitation centers should have a clear focus on applicability to wild birds; otherwise will be rejected without review. The *Revista Brasileira de Ornitologia* is interested in publishing ornithological studies on behavior, behavioral ecology, biogeography, breeding biology, community ecology, conservation biology, distribution, evolution and genetics, landscape ecology, methods and statistics, migration, nomenclature, paleontology, parasites and disease, phylogeography, physiology, population biology, systematics, and taxonomy. Significant range extensions and novel geopolitical (*e.g.* first country) records of vagrants are also welcome, but not mere lists of the avifauna of a specific locality, nor limited extensions in distribution. Monographs may be considered for publication upon consultation with the editor. **Research papers** are usually over 3000 words, including Abstract and References), with over 3 figures and/or tables. **Short-communications** (lower than 3000 words and up to 3 figures and/or tables) are also acceptable. We encourage submissions of thorough **Review Papers**, on methods or on a particular theoretical subject, which will receive priority during the review process. **Obituaries** and **Book Reviews** are also acceptable.

Manuscripts submitted to the *Revista Brasileira de Ornitologia* must not have been published previously or be under consideration for publication, in whole or in part, in another journal or book. Manuscripts may be written only in American English and must be typed in Microsoft Word, using Times New Roman 12, spacing 1.5 and left justified, throughout the MS, including references and tables. Authors for whom English is not their native language are strongly recommended to have their manuscript professionally edited before submission to improve the English. Two of these independent suppliers of editing services in Brazil can be found through maryandriani@yahoo.com or the web site www.idstudio.art.br. All services are paid for and arranged by the author, and use of one of these services does not guarantee acceptance or preference for publication.

Scientific names must be shown in *italic*, and authors are encouraged to follow the latest systematic sequence, spelling and taxon authors of the Brazilian (Piacentini *et al.* 2015. *Rev. Bras. Ornitol.* 23: 91–298) or South American (www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.html) bird lists, when pertinent and at their discretion. When using one of each of those sources, please be explicit about which one is being used, following it consistently throughout the manuscript. Common names should also follow those recommended by Brazilian or South American lists). Common names should be capitalized (*e.g.*, Kaempfer's Woodpecker, Common Tern).

Submission

Originals must be submitted by the online submission system at <http://www.museu-goeldi.br/rbo> and as a single Microsoft Word file (tables and figures must be at the end of the manuscript). Upon manuscript acceptance, high quality image files (extensions JPG, TIF, PSD, PDF, AI, EPS, WMF or XLS; minimum resolution of 300 dpi) of the original figures will be requested. The *title* must be concise and clearly define the topic of the manuscript. Generic expressions such as “contribution to the knowledge...” or “notes on...” must be avoided. The name of each author must be written in full, followed by the full mailing address, identified by superscript numerals, and author for correspondence, in the case of multiple authors.

The parts of the **Research papers** must be organized as follows:

- **Title** of the manuscript and author names, in lowercase – not capitals – and in bold, followed by addresses of all authors. Titles longer than 100 characters with spaces should be accompanied by a running-head, or short title, no longer than 100 characters in total, also provided in the first page of the manuscript.
- **ABSTRACT/KEY-WORDS** (with title and up to 300 words; five to eight key-words related to the main topics of the manuscript and *not already mentioned in the title* must be provided in alphabetical order and separated by comma). For short communications an abstract of up to 150 words is required, in addition to key-words.
- **INTRODUCTION** (starting on a new page).
- **METHODS** (this and subsequent parts continue without page breaks).
- **RESULTS** (only the results, succinctly).
- **DISCUSSION** (avoid repetition of results and speculations, keeping Discussion as short as possible).
- **ACKNOWLEDGEMENTS**
- **REFERENCES** (check and follow format carefully).
- **Tables**
- **Figure Legends**
- **Figures**

For **Short communications**, only the subheadings ABSTRACT, KEY-WORDS, ACKNOWLEDGEMENTS, and REFERENCES are required.

Each Table should be on a separate page, numbered in Arabic numerals, with its own heading.

Figure legends, occupying one or more pages following the tables, should be numbered successively, also in Arabic numerals. Figures will follow, one to each page, and clearly numbered in agreement with the legends. Figures should be pooled as composition (Fig. 1A, B, C) always as possible.

As necessary, subsections may be identified and labeled as such, lower case, in bold, central. If another subheading is necessary, please use in italics, left-justified. All pages should be numbered.

The following *abbreviations* should be used: h (hour), min (minute), s (second), km (kilometer), m (meter), cm (centimeter), mm (millimeter), ha (hectare), kg (kilogram), g (gram), mg (milligram), all of them in lowercase (not capitals) and with no “periods” (“.”). Use the following *statistical notations*: P , n , t , r , F , G , U , df (degrees of freedom), χ^2 , ns (non-significant), CV (coefficient of variation), SD (standard deviation), SE (standard error). With the exception of temperature and percentage symbols (e.g., 15°C, 45%), leave a space between the number and the unit or symbol (e.g., $n = 12$, $P < 0.05$, 25 min), also in figures and tables.

Latin words or expressions should be written in italics (e.g., *i.e.*, *c.*, *et al.*, *in vitro*, *in vivo*, *sensu*, *a priori*). The same rule applies to words in a language distinct from the manuscript language, *i.e.*, English, but does not apply to references, which follow distinct format rules, as indicated below. Numbers one to ten should be written out, unless a measurement (e.g., four birds, 6 mm, 2 min); from 11 onwards use numbers.

Author *citations* in the text must follow the pattern: (Pinto 1964) or Pinto (1964); two publications of the same author must be cited as (Sick 1985, 1993) or (Ribeiro 1920a, b); Two authors are cited in text with “&” (e.g. Aleixo & Pacheco 2006). Three or more authors must be presented as the first author followed by *et al.* (e.g. Aleixo *et al.* 2013). Avoid multiple citations in text, such as more than 3 references to support an idea or information. Multiple references should be listed in chronological order (e.g. Sick 1997; Narosky & Yzurieta 2003; BirdLife International 2015). Unpublished information by third parties must be credited to the source by citing the initials and the last name of the informer followed by the appropriate abbreviation of the form of communication: (H. Sick, pers. comm.) or V. Loskot (*in litt.*); unpublished observations by the authors can be indicated by the abbreviation: (pers. obs.); when only one of the authors deserves credit for the unpublished observation or another aspect cited or pointed out in the text, this must be indicated by the name initials: “... in 1989 A.S. returned to the area...”. *Unpublished manuscripts* (e.g., technical reports, Undergraduate Monographs, M.Sc. Dissertations and Doctoral Thesis) and *meeting abstracts* should be cited only exceptionally, in cases they are absolutely essential and no alternative source exists. The *reference* list must include all and only the cited publications (titles written in full, not abbreviated), in alphabetical order by the authors' last name:

Articles

Fargione J., Hill J., Tilman, D., Polasky S. & Hawthorne P. 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* 319: 1235–1238.

Santos M.P.D. & Vasconcelos M.F. 2007. Range extension for Kaempfer's Woodpecker *Celeus obrieni* in Brazil, with the first male specimen. *Bulletin of the British Ornithologists' Club* 127: 249–252.

Worthington A.H. 1989. Adaptations for avian frugivory: assimilation efficiency and gut transit time of *Manacus vitellinus* and *Pipra mentalis*. *Oecologia* 80: 381–389.

Books and Monographs

Sick H. 1985. *Ornitologia brasileira, uma introdução*, v. 1. Brasília: Editora Universidade de Brasília.

Book Chapters

Thiollay J.M. 1994. Family Accipitridae (hawks and eagles), p. 52–205. In: del Hoyo J., Elliott A. & Sargatal J. (eds.). *Handbook of birds of the world*, v. 2 (*New World vultures to guineafowl*). Barcelona: Lynx Editions.

Theses and Dissertations

Novaes F.C. 1970. *Estudo ecológico das aves em uma área de vegetação secundária no Baixo Amazonas, Estado do Pará*. Ph.D. Thesis. Rio Claro: Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro.

Cavalcanti L.M.P. 2014. *Sazonalidade na estação reprodutiva de aves de uma área de Caatinga e sua relação com a precipitação*. Bachelor's Monograph. Mossoró: Universidade Federal Rural do Semiárido.

Web-based References

IUCN. 1987. A posição da IUCN sobre a migração de organismos vivos: introduções, reintroduções e reforços. <http://iucn.org/themes/ssc/pubs/policy/index.htm> (access on 25 August 2005).

Dornas T. 2009a. [XC95575, *Celeus obrieni*]. <http://www.xeno-canto.org/95575> (access on 25 February 2012).

Pinheiro R.T. 2009. [WA589090, *Celeus obrieni* Short, 1973]. <http://www.wikiaves.com/589090> (access on 05 March 2012).

Footnotes will not be accepted in the text, but should be used in exceptional cases, or in tables.

Illustrations and *tables*. The illustrations (photographs, drawings, graphics and maps), which will be called figures, must be numbered with Arabic numerals in the order in which they are cited and will be inserted into the text. Upon manuscript acceptance, high quality image files (extensions JPG, TIF, PSD, CDR, AI, EPS, WMF or XLS; minimum resolution of 300 dpi) of the original figures will be requested. Tables and figures will receive independent numbering. In the text, mentioning figures and tables must follow the pattern: “(Fig. 2)” or “... in Fig. 2.” Table headings must provide a complete title, and be self-explanatory, without needing to refer to the text. All figure legends must be grouped in numerical order on a separate sheet from the figures.

Authors are invited to check recent issues published by *Revista Brasileira de Ornitologia*, for style and format.

TEXTO APRA O QUADRO AO FINAL DAS ISNTRUÇÕES

All materials must be submitted through the *Revista Brasileira de Ornitologia* web site: www.museu-goeldi.br/rbo

Only submissions through the web site will be considered. A letter of submission must accompany the manuscript. Notification of receipt of the submission will be sent automatically to the corresponding author. Please follow instructions strictly for preparation of manuscripts, otherwise they will be rejected without revision. Once the manuscript is finally accepted and a final version consolidated, PDF proofs will be sent by email to the corresponding author for revision. The correction of the final version sent for publication is entirely the authors' responsibility. The first author of each published paper will receive via e-mail, free of charge, a PDF file of the published paper. In the case of doubts as to the rules of format, please contact the editor prior to submission:

Leandro Bugoni

Universidade Federal do Rio Grande - FURG
Instituto de Ciências Biológicas, Caixa Postal 474, CEP 96203-900, Rio Grande, RS, Brazil.
Phone: (55) 53 3293 5059
E-mail: editoriarbo@gmail.com

SUBMISSION PREPARATION CHECKLIST

As part of the submission process, authors are required to check off their submission's compliance with all of the following items, and submissions may be returned to authors that do not adhere to these guidelines.

1. Manuscripts submitted to the *Revista Brasileira de Ornitologia* must not have been published previously or be under consideration for publication, in whole or in part, in another journal or book. Manuscripts may be written only in American English and must be typed in Microsoft Word, using Times New Roman 12, spacing 1.5 and left justified, throughout the MS, including references and tables. Authors for whom English is not their native language are strongly recommended to have their manuscript professionally edited before submission to improve the English. Two of these independent suppliers of editing services in Brazil can be found through maryandriani@yahoo.com or the web site www.idstudio.art.br. All services are paid for and arranged by the author, and use of one of these services does not guarantee acceptance or preference for publication.
2. Scientific names must be shown in italic, and authors are encouraged to follow the latest systematic sequence, spelling and taxon authors of the Brazilian (Piacentini et al. 2015. *Rev. Bras. Ornitol.* 23: 91–298) or South American (www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.html) bird lists, when pertinent and at their discretion. When using one of each of those sources, please be explicit about which one is being used, following it consistently throughout the manuscript. Common names should also follow those recommended by Brazilian or South American lists). Common names should be capitalized (e.g., Kaempfer's Woodpecker, Common Tern).
3. Originals must be submitted by the online submission system at <http://www.museu-goeldi.br/rbo> and as a single Microsoft Word file (tables and figures must be at the end of the manuscript). Upon manuscript acceptance, high quality image files (extensions JPG, TIF, PSD, PDF, AI, EPS, WMF or XLS; minimum resolution of 300 dpi) of the original figures will be requested. The title must be concise and clearly define the topic of the manuscript. Generic expressions such as “contribution to the knowledge...” or “notes on...” must be avoided. The name of each author must be written in full, followed

by the full mailing address, identified by superscript numerals, and author for correspondence, in the case of multiple authors.

figures and tables are placed within the text, not at the end of the document as attachments.

4. The text adheres to the stylistic and bibliographic requirements outlined in **INSTRUCTIONS TO AUTHORS**

COPYRIGHT NOTICE

Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under the Creative Commons Attribution License that allows the sharing of work and recognition of its initial publication in this journal. Authors are able to take on additional contracts separately for non-exclusive distribution of the version of the work published in this journal (eg, in institutional repository or publish as a book), with an acknowledgment of its initial publication in this journal. Authors are permitted and encouraged to post their work online (eg, in institutional repositories or on their website) prior to and during the submission process, as it can lead to productive exchanges, as well as increase the impact and citation of published work