



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS -  
BIODIVERSIDADE NEOTROPICAL (PPGBIO)**

**GABRIEL FERREIRA VIANNA DI PANIGAI**

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS  
FUTURAS SOBRE A DISTRIBUIÇÃO E A CONSERVAÇÃO DAS ESPÉCIES  
DO GÊNERO *SAPAJUS* (PRIMATES, CEBIDAE)**

**Rio de Janeiro**

**2018**

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS  
FUTURAS SOBRE A DISTRIBUIÇÃO E A CONSERVAÇÃO DAS ESPÉCIES  
DO GÊNERO *SAPAJUS* (PRIMATES, CEBIDAE)**

**GABRIEL FERREIRA VIANNA DI PANIGAI**

**Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Ciências Biológicas  
(Biodiversidade Neotropical) da  
Universidade Federal do Estado do Rio de  
Janeiro como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre em Ciências  
Biológicas.**

**Orientador: Profa. Dra. Maria Lucia Lorini**

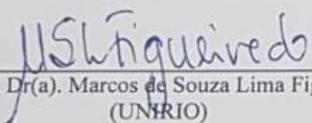
**Rio de Janeiro  
2018**



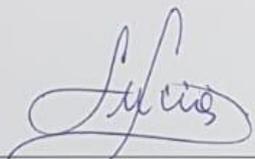
### ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 69

Aos vinte e oito dias do mês de fevereiro de dois mil e dezoito, às 17:30 horas, realizou-se na sala 502 do Instituto de Biociências (Av. Pasteur 458), do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, a defesa da dissertação intitulada *Avaliação dos impactos das mudanças climáticas futuras sobre a distribuição e conservação das espécies do gênero de Sapajus (Primates, Cebidae)* do(a) Mestrando(a) **Gabriel Ferreira Vianna Di Panigai** do Mestrado em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Biológicas (Biodiversidade Neotropical). A presente dissertação foi orientada pelo(a) Prof(a). Dr(a). Maria Lucia Lorini. A Banca Examinadora foi constituída pelos professores, a saber: Prof(a). Dr(a). Marcos de Souza Lima Figueiredo e Prof(a). Dr(a). Henrique Bastos Rajão Reis, com suplência do(a) Prof(a). Dr(a). Luis Lazaro Mattos Laut. Após arguir o(a) mestrando(a) e considerar que o(a) mesmo(a) demonstrou capacidade no trato do tema escolhido e sistematização dos dados, a Banca Examinadora houve por bem aprová-lo(a) com conceito A.

Rio de Janeiro, 28 de fevereiro de 2018.

  
Prof(a). Dr(a). Marcos de Souza Lima Figueiredo  
(UNIRIO)

  
Prof(a). Dr(a). Henrique Bastos Rajão Reis (PUCRJ)

  
Prof(a). Dr(a). Maria Lucia Lorini (UNIRIO)  
(Presidente da Banca)

P192 Panigai, Gabriel Ferreira Vianna Di  
Avaliação dos impactos das mudanças climáticas  
futuras sobre a distribuição e a conservação das  
espécies do gênero Sapajus (Primates, Cebidae) /  
Gabriel Ferreira Vianna Di Panigai. -- Rio de  
Janeiro, 2018.

59

Orientadora: Maria Lucia Lorini.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do  
Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação  
em Ciências Biológicas, 2018.

1. Modelagem de Nicho Ecológico. 2. Mudanças  
Climáticas. 3. Biogeografia. 4. Conservação. 5.  
Sapajus. I. Lorini, Maria Lucia, orient. II. Título.

## **Agradecimentos**

A minha orientadora Maria Lucia Lorini, pelo apoio, paciência, pelo ambiente no laboratório, e principalmente pela dedicação e auxílio sem os quais este e outros trabalhos não seriam possíveis.

A minha família principalmente meus pais Ricardo Panigai e Cristina Panigai, meu irmão Thiago Panigai e a Fernanda Vinagre Ferreira pelo amor e apoio em todos os momentos e obstáculos enfrentados.

Aos meus amigos e companheiros de laboratório em especial, Cadu Arlé, Michelle Andreu, Eduardo Minsky e Pierre Bellart por todos os momentos de descontração e auxílio.

Aos meus amigos que estiveram presentes durante todo o caminho pela importância e apoio.

Aos meus colegas que estiveram presentes nestes dois anos e que de alguma forma me ajudaram a chegar até este ponto.

Aos professores da Unirio que estiveram presentes na minha graduação, por terem marcado e colaborado de maneiras imprescindíveis na minha formação acadêmica e moral.

Aos membros da banca examinadora pela presença e pela colaboração fornecida com o intuito de deixar o trabalho aqui realizado, melhor possível.

## Resumo

As mudanças climáticas constituem um dos principais desafios do nosso tempo e aumentam consideravelmente o estresse sobre nossas sociedades e sobre o meio ambiente. Os resultados do Vº Relatório do IPCC apontam que a influência humana tem sido a causa dominante do aquecimento observado desde a metade do século XX, resultando em uma taxa de mudanças climáticas futuras sem precedentes na história da Terra, o que provavelmente será crítico para a biota. Estudos apontam os primatas como um dos táxons de mamíferos menos capazes de acompanhar as mudanças climáticas. As espécies de primatas irão enfrentar 10% mais de aquecimento do que a média global, com algumas experimentando mais de 1,5°C para cada 1°C de aquecimento global. Os primatas são de importância central para a biodiversidade tropical e para muitas funções, processos e serviços ecossistêmicos. Contudo, apesar de sua importância e de constituírem uma das ordens de mamíferos mais rica em espécies e a mais ameaçada de extinção, estudos sobre possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre os primatas são ainda escassos. As mudanças climáticas provocadas pelo homem impingem muitas ameaças potenciais para as espécies de primatas, muitas das quais já ameaçadas por outros estressores como perda e fragmentação do habitat, caça, comércio de animais e doenças. Dentre os primatas do Novo Mundo, o gênero *Sapajus* é constituído por oito espécies e é distribuído por vários biomas neotropicais, que variam tanto em aspectos ecológicos como quanto às projeções de impactos ocasionados pelas mudanças climáticas. Isto torna o grupo um bom modelo potencial para abordar questões biogeográficas de primatas neotropicais e de impactos das mudanças climáticas. O presente estudo dirigiu-se a avaliar os potenciais impactos das mudanças climáticas futuras sobre a distribuição das espécies de *Sapajus*, utilizando a abordagem de Modelagem de Nicho Ecológico. Para isso foram compilados dados de ocorrência obtidos através de bases de dados online, coleções científicas e literatura e variáveis climáticas a partir do banco de dados WorldClim, que posteriormente foram projetadas para o ano de 2050 de acordo com a trajetória de emissão RCP 8.5 do IPCC AR5. Na etapa de modelagem, foram utilizados oito algoritmos com diferentes abordagens aplicados na plataforma R. Para cinco das oito espécies foi observada a redução das áreas potencialmente adequadas (*S. apella*, *S. flavius*, *S. libidinosus*, *S. nigritus* e *S. xanthosternos*), porém esta redução não foi suficiente para resultar em agravamento do seu status de conservação. *Sapajus flavius* e *S. xanthosternos* apresentaram as maiores perdas, com redução de mais de 60 e 30% de suas áreas adequadas, respectivamente. Analisamos também as áreas de remanescentes florestais das espécies não amazônicas, com o intuito de dar mais realismo biológico aos modelos gerados. Neste caso houve mudanças em alguns padrões anteriormente observados como o ganho de áreas florestadas para *S. nigritus* e *S. libidinosus*. Foi realizada também a análise destas espécies quanto à sua representatividade em Unidades de Conservação de Proteção Integral e Reservas Particulares do Patrimônio Natural. Todas os *Sapajus* não-amazônicos encontram-se pouco protegidos, sendo que, exceto para *S. nigritus*, as áreas adequadas e florestadas no presente e no futuro cobertas por UCs-PI e RPPNs sequer totalizam 3%. *Sapajus flavius* é a espécie com menor nível de proteção, sendo que menos de 1% de suas áreas adequadas e florestadas no presente e em 2050, bem como das áreas estáveis, encontram-se dentro de UCs-PI e RPPNs. Esse panorama reforça a necessidade de ações de conservação voltadas para proteger áreas climaticamente adequadas para as espécies alvo, sobretudo para as espécies *S. flavius* e *S. xanthosternos*. Espera-se que a informação gerada a partir desta abordagem, tais como os resultados obtidos no presente estudo, possam contribuir para as estratégias de conservação destas espécies, inclusive para o planejamento de ações de adaptação às mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Modelagem de Nicho Ecológico, Mudanças climáticas, Biogeografia, América do Sul, Conservação, *Sapajus*.

## Abstract

Climate change is one of the major challenges of our time and greatly increases the stress on our societies and the environment. The results of the IPCC's Fifth Report point out that human influence has been the dominant cause of global warming since mid 20th century, resulting in a rate of future climate change unprecedented in Earth's history, which is likely to be critical for biota. Studies highlight primates as one of the mammalian taxa less capable to keep pace with climate change. Primate species will experience 10% more warming than the global mean, with some experiencing more than 1.5°C for every 1°C of global warming. Primates are of central importance to tropical biodiversity and to many ecosystem functions, processes and services. However, despite their importance and being one of the most species-rich and most threatened of mammalian orders, studies on the possible effects of climate change on primates are still scarce. Human-induced climate change is posing many potential threats to primate species, many of which are already threatened by other stressors such as habitat loss and fragmentation, hunting, animal trade and diseases. Among the primates of the New World, the genus *Sapajus* is composed of eight species and is distributed by several neotropical biomes, which show variation both in ecological aspects and projections of impacts caused by climate change. This makes the group a good potential model to address biogeographic issues of Neotropical primates and impacts of climate change. The present study aimed to assess the potential impacts of future climate changes on the distribution of *Sapajus* species, using the Ecological Niche Modeling approach. We compiled occurrence data from online databases, scientific collections and literature, and climatic variables from the WorldClim database, which were later projected for the year 2050 according to the RCP 8.5 scenario (IPCC AR5). In the ecological niche modeling, eight independent algorithms with different approaches were used, implemented in the R platform. Five of the eight species analyzed were predicted to lose suitable area in the future (*S. apella*, *S. flavius*, *S. libidinosus*, *S. nigritus* and *S. xanthosternos*), however, this reduction was not enough to result in a worsening of its conservation status. *Sapajus flavius* and *S. xanthosternos* showed the highest losses, with reduction of more than 60 and 30% of their adequate areas, respectively. We also analyzed the areas of forest remnants of non-Amazonian species, with the aim of giving more biological realism to the generated models. In this case there were changes in some patterns previously observed as the gain of forested areas for *S. nigritus* and *S. libidinosus*. We also analyzed non-Amazonian species in regard to their representativeness in Strictly-Protected Areas (SPAs) and Private Reserves of Natural Heritage (RPPNs). All non-Amazonian *Sapajus* species are poorly protected. Except for *S. nigritus*, the suitable and forested areas currently and in the future that are covered by SPAs and RPPNs do not even amount 3%. *Sapajus flavius* is the species with the lowest level of protection, less than 1% of its suitable and forested areas in the present and in 2050, as well as of the stable areas, are contained within SPAs and RPPNs. This scenario reinforces the need for conservation actions aimed at protecting climatically adequate areas for the target species, especially for *S. flavius* and *S. xanthosternos*. We hoped that the information generated from this approach, such as the results obtained in the present study, can contribute to the conservation strategies for these species, including the planning of actions to adapt to climate change.

**Keywords:** Ecological Niche Modeling, Climate Change, Biogeography, South America, Conservation, *Sapajus*.

## Lista de Figuras

- Figura 1: Mapa da distribuição potencial das áreas climaticamente adequadas para *Sapajus flavius* segundo os consensos dos diferentes algoritmos e modelos de circulação global (GCMs) na Extensão de Ocorrência (EOO) da espécie e entorno de 400 km. Em vermelho - áreas adequadas, em azul - áreas não adequadas. .... 26
- Figura 2: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *Sapajus apella* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. .... 28
- Figura 3: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *Sapajus cay* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. .... 28
- Figura 4: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *Sapajus flavius* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. .... 29
- Figura 5: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *Sapajus libidinosus* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. .... 29
- Figura 6: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *Sapajus macrocephalus* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. .... 30
- Figura 7: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *Sapajus nigrurus* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. .... 30
- Figura 8: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *Sapajus robustus* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. .... 31
- Figura 9: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *Sapajus xanthosternus* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. .... 31
- Figura 10: Mapa das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para *S. flavius* no presente e no futuro, nas áreas florestadas na extensão de ocorrência da

espécie e seu entorno. Os polígonos sobrepostos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral e Reservas Particulares do Patrimônio Natural. .... 34

Figura 11: Mapa das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para *S. libidinosus* no presente e no futuro, nas áreas florestadas na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. Os polígonos sobrepostos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral e Reservas Particulares do Patrimônio Natural. .... 35

Figura 12: Mapa das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para *S. nigrinus* no presente e no futuro, nas áreas florestadas na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. Os polígonos sobrepostos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral e Reservas Particulares do Patrimônio Natural. .... 36

Figura 13: Mapa das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para *S. robustus* no presente e no futuro, nas áreas florestadas na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. Os polígonos sobrepostos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral e Reservas Particulares do Patrimônio Natural. .... 37

Figura 14: Mapa das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para *S. xanthosternus* no presente e no futuro, nas áreas florestadas na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. Os polígonos sobrepostos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral e Reservas Particulares do Patrimônio Natural. .... 38

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Número de modelos (repetições), de cada algoritmo e no total, utilizados nos consensos finais do presente para cada uma das espécies de <i>Sapajus</i> , os quais foram posteriormente projetados para 2050 segundo os dois CGMs. ....	25
Tabela 2: Mudanças, perdas e ganhos em áreas climaticamente adequadas na extensão de ocorrência das espécies (EOO) e seu entorno, conforme predito pelos modelos de consenso no presente e no futuro. Valores de mudança negativos e positivos significam, respectivamente, redução e ampliação de áreas adequadas em 2050. ....	27
Tabela 3: Mudanças, perdas e ganhos em áreas climaticamente adequadas na extensão de ocorrência das espécies (EOO) e seu entorno, conforme predito pelos modelos de consenso no presente e no futuro, considerando apenas as áreas florestadas. Valores de mudança negativos e positivos significam, respectivamente, redução e ampliação de áreas adequadas em 2050. ....	33
Tabela 4: Mudanças, perdas e ganhos em áreas climaticamente adequadas na extensão de ocorrência das espécies e seu entorno, conforme predito pelos modelos de consenso no presente e no futuro, considerando apenas as áreas florestadas e inseridas em Unidades de Conservação de Proteção Integral e Reservas Particulares do Patrimônio Natural. Valores de mudança negativos e positivos significam, respectivamente, redução e ampliação de áreas adequadas em 2050. ....	39

## **Lista de Apêndices**

**Apêndice 1:** Perfis ambientais gerados para as espécies de *Sapajus*, em destaque as variáveis selecionadas para a modelagem.

**Apêndice 2:** Box plots com valores de cada parâmetro analisado (altitude, latitude, longitude), para as diferentes áreas computadas (perdas, ganhos e áreas estáveis) de cada espécie de *Sapajus*.

## Sumário

Agradecimentos .....	vi
Resumo .....	vii
Abstract.....	viii
Lista de Figuras .....	ix
Lista de Tabelas .....	xi
Lista de Apêndices.....	xii
Sumário.....	xiii
Introdução .....	14
Materiais e Métodos .....	19
Dados de ocorrência e variáveis ambientais.....	19
Modelagem de nicho ecológico.....	20
Pós-processamento dos mapas de consenso .....	22
Análise dos potenciais impactos das mudanças climáticas sobre espécies do gênero <i>Sapajus</i> .....	22
Resultados .....	24
Discussão.....	40
Referências bibliográficas .....	44
Apêndices.....	50

## Introdução

As mudanças climáticas constituem um dos principais desafios do nosso tempo e aumentam consideravelmente o estresse sobre nossas sociedades e sobre o meio ambiente. De mudanças de padrões climáticos que ameaçam a produção de alimentos, ao aumento do nível do mar que aumenta o risco de inundações catastróficas, os impactos das mudanças climáticas são globais em termos de alcance e sem precedentes em termos de escala. Ao longo dos últimos anos, tornou-se inegável que as atividades antrópicas vêm ocasionando mudanças no clima do planeta e, conseqüentemente, na sua biota. Os resultados do Vº Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) apontam com muita clareza que a influência humana tem sido a causa dominante do aquecimento observado desde a metade do século XX (IPCC, 2014). As estimativas sobre os efeitos do uso de combustível fóssil sugerem que a temperatura média global subirá entre 1,5 e 4,5°C antes do final do século XXI e que as emissões de CO<sub>2</sub> afetarão o clima por milhares de anos (IPCC, 2014). Embora comprovadamente o clima tenha sofrido grandes alterações em escalas de tempo geológicas (SCHAEFER et al., 2009), refletindo em grandes modificações na biosfera, a taxa de mudanças climáticas futuras será sem precedentes na história da Terra, o que provavelmente será crítico para a biota (HANNAH, 2011). Já foi demonstrado que as mudanças climáticas ocorridas no século XX ocasionaram vários impactos sobre a biodiversidade, associados principalmente a modificações na fenologia e distribuição geográfica das espécies (PARMESAN, 2006). As mudanças climáticas contemporâneas de origem antropogênica já se traduziram em mudanças nas margens das distribuições de vários táxons (CHEN et al., 2011). Além disso, existem previsões indicando que 15 a 37% de todas as espécies terrestres estará ameaçada de extinção até 2050 (THOMAS et al., 2004). As mudanças climáticas constituem uma das maiores ameaças para a biodiversidade (BELLARD et al., 2012; DAWSON, 2011; POUNDS et al., 2006), uma vez que induzem mudanças na distribuição de muitas espécies e alteram padrões de diversidade, incluindo a ocorrência de espécies dentro de áreas protegidas (ARAÚJO et al., 2011; LEMES; LOYOLA, 2015). Sabemos que isoladamente, as mudanças climáticas podem representar a ameaça mais ubíqua para a biodiversidade, uma vez que produzirão impactos mesmo em áreas que apresentam baixa alteração antrópica (BELLARD et al., 2012; DAWSON, 2011; VALE; ALVES; LORINI, 2009). Contudo, a maior ameaça para o futuro da biodiversidade terrestre parece residir na

sinergia entre as mudanças climáticas aceleradas e outro vetor de mudança global, a modificação de paisagens, derivada, sobretudo, do uso do solo para agropecuária e urbanização (MANTYKA-PRINGLE et al., 2011; VALE; ALVES; LORINI, 2009).

É uma premissa central da biogeografia que o clima exerce um controle dominante sobre a distribuição natural das espécies (CERQUEIRA, 1995). As evidências passadas e as tendências observadas recentemente mostram que as mudanças climáticas têm uma profunda influência sobre a expansão e a contração da distribuição das espécies (PEARSON; DAWSON, 2003). Uma questão importante em estudos sobre os impactos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade é a capacidade das espécies de acomodar essas mudanças. Diferente do que aconteceu em episódios passados, as mudanças atuais estão atuando em uma escala temporal extremamente curta e acelerada e, sobretudo, em paisagens altamente modificadas pelo homem (VALE; ALVES; LORINI, 2009), o que pode reduzir a capacidade de resposta das espécies.

As estimativas do IPCC indicam que 20 a 30% das espécies estarão em alto risco de extinção no caso de um aumento de 2 a 3°C na temperatura (UNESCO & IBECC, 2008). Segundo previsões do IPCC (IPCC, 2007), o Neotrópico sofrerá significativas mudanças climáticas. Os dados indicam que a porção tropical da América do Sul, incluindo grande parte do território brasileiro, será a região mais afetada quanto à elevação de temperatura, com um aquecimento na faixa entre 2 a 6°C (SALAZAR; NOBRE; OYAMA, 2007).

Para avaliar a vulnerabilidade e propor estratégias de conservação que possam antecipar os impactos das mudanças climáticas e minimizar potenciais perdas da biodiversidade, torna-se crucial um melhor entendimento de como as espécies responderão a estas mudanças (MORITZ; AGUDO, 2013). A vulnerabilidade de uma espécie às mudanças climáticas tem três dimensões: exposição (extensão das alterações climáticas que a espécie será exposta), sensibilidade (o quanto a persistência da espécie depende do clima) e capacidade de adaptação (habilidade da espécie para adaptação/aclimatação *in situ* ou migração para locais mais adequados) (DAWSON, 2011). Entre as características biológicas que aumentam a sensibilidade e diminuem a capacidade de adaptação estão, respectivamente, a especialização de habitat e a baixa habilidade de dispersão (FODEN et al., 2013). Espécies com tais características e alta exposição provavelmente serão as mais vulneráveis.

De fato, em estudo que investigou a habilidade de 493 espécies de mamíferos para manter o ritmo com as mudanças climáticas projetadas para o hemisfério ocidental,

Schloss e colaboradores (2012), apontam os primatas como um dos táxons de mamíferos menos capazes de acompanhar as mudanças climáticas. Segundo Graham e colaboradores (2016), em geral, os primatas não-humanos irão enfrentar 10% mais de aquecimento do que a média global, com algumas espécies de primatas experimentando mais de 1,5°C para cada 1°C de aquecimento global. Os primatas não-humanos são de importância central para a biodiversidade tropical e para muitas funções, processos e serviços do ecossistema (ESTRADA et al., 2017). Em ecossistemas tropicais os primatas desempenham funções essenciais para a manutenção das comunidades, como a polinização e a dispersão de sementes (WRIGHT, 2008). Além disso, eles são nossos parentes biológicos vivos mais próximos, oferecendo insights críticos sobre evolução humana, biologia e comportamento e desempenhando papéis importantes nos meios de subsistência, culturas e religiões de muitas sociedades (ESTRADA et al., 2017). Contudo, apesar de sua importância e de constituírem uma das ordens de mamíferos mais rica em espécies e a mais ameaçada de extinção (ESTRADA et al., 2017), estudos sobre possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre Primates são ainda escassos (GRAHAM et al., 2016).

Os primatas neotropicais são a maior radiação de mamíferos diurnos e incluem 171 espécies encontradas em diversos biomas, sendo que sua maior diversidade é encontrada na Amazônia (ESTRADA et al., 2017; LIMA et al., 2017). Este grupo de organismos é de grande relevância para o país, já que o Brasil é o país com a maior diversidade de espécies de primatas em todo o mundo, com mais de 100 espécies ocorrendo em território nacional (ESTRADA et al., 2017), das quais mais da metade são endêmicas (REIS et al., 2006).

Entre os primatas neotropicais, os macacos-prego formam um clado monofilético que divergiu do gênero *Samiri* (macacos esquilos) há cerca de 12 a 19 m.a (ALFARO; SILVA; RYLANDS, 2012). A ampla distribuição dos macacos-prego, com espécies ocorrendo desde a América Central ao norte da Argentina, ocupando vários ambientes nos Andes, Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Chaco, faz deste grupo um modelo potencial para abordar questões biogeográficas de primatas neotropicais (LIMA et al., 2017). Os macacos-prego compreendem dois grupos principais, os de constituição mais delicada (gênero *Cebus*) e os de constituição mais robusta (gênero *Sapajus*).

O gênero *Sapajus* é constituído por oito espécies (*S. apella*, *S. cay*, *S. flavius*, *S. libidinosus*, *S. macrocephalus*, *S. nigritus*, *S. robustus* e *S. xanthosternos*), com ampla

distribuição em biomas neotropicais tais como, Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado e Chaco. Estes ambientes variam tanto em aspectos ecológicos como risco de predação e disponibilidade de alimentos (IZAR et al., 2012), quanto em termos de projeção dos impactos causados pelas mudanças climáticas. A Caatinga foi recentemente apontada como um dos biomas mais críticos do mundo em termos de sensibilidade à variabilidade climática, em função do aquecimento e da pouca disponibilidade hídrica (SEDDON et al., 2016). No mesmo sentido a porção nordeste do bioma Mata Atlântica foi destacada pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, cujas previsões para o final do século XXI indicam condições de aquecimento intenso, com aumento de 3 a 4,5°C em temperatura e diminuição da precipitação entre 30 e 35% (PBMCM, 2013).

Para avaliar a exposição e a magnitude de respostas biológicas das espécies às mudanças climáticas, a abordagem mais utilizada atualmente é a dos Modelos de Nicho Ecológico (*Ecologic Niche Models - ENMs*)/Modelos de Distribuição de Espécies (*Species Distribution Models - SDMs*) (PETERSON et al., 2011). Esses modelos correlativos relacionam a ocorrência atual da espécie à variáveis climáticas e, definem o seu nicho climático, possibilitando projetá-lo em diferentes cenários e, desse modo, identificar a distribuição potencial do espaço climático adequado para a espécie no futuro (BELLARD et al., 2012). Apesar das aplicações de ENM/SDM em mudanças climáticas serem muito difundidas, comparativamente ainda existem poucos estudos envolvendo a biota sul-americana (PACIFICI et al., 2015) e brasileira (VALE; ALVES; LORINI, 2009), os quais em geral apontam para a redução da distribuição geográfica das espécies em cenários futuros (*e.g.* LOYOLA et al., 2012; RAMIREZ-VILLEGAS et al., 2014; SOUZA et al., 2011), inclusive os dois estudos envolvendo dois gêneros de primatas neotropicais (MEYER et al., 2014; GOUVEIA et al., 2016).

A presente dissertação dirigiu-se a investigar os impactos das mudanças climáticas futuras sobre a distribuição das espécies de primatas do gênero *Sapajus*. Neste estudo foram avaliadas as seguintes questões: (i) as mudanças climáticas futuras irão alterar a distribuição das áreas atualmente preditas como adequadas para as espécies alvo? (ii) o *status* de conservação das espécies será alterado em função da disponibilidade de áreas climaticamente adequadas no futuro? (iii) qual é a extensão de habitat atualmente disponível para as espécies não amazônicas? (iv) como as mudanças climáticas alteram a adequabilidade climática nos remanescentes florestais para os

*Sapajus* não amazônicos? (v) as Unidades de Conservação existentes serão capazes de reter áreas climaticamente adequadas para as espécies não amazônicas em 2050?

Especificamente, foram testadas as seguintes hipóteses (e previsões):

1. As mudanças climáticas afetam a distribuição futura de áreas adequadas para as espécies.
2. A maioria das espécies perde área adequada no futuro.
3. As espécies com maiores perdas de área adequada são as que ocorrem na Mata Atlântica do Nordeste e na Caatinga
4. As poucas espécies que ganham área adequada no futuro são aquelas amplamente distribuídas no presente.
5. As mudanças climáticas afetam o status de conservação das espécies, com aumento da categoria de risco para boa parte das espécies.
6. A distribuição futura de áreas adequadas para as espécies tenderá a deslocar-se para áreas de maior altitude e latitude.

## Materiais e Métodos

### Dados de ocorrência e variáveis ambientais

Os dados de ocorrência referente às espécies do gênero *Sapajus* foram coletados a partir de registros de pesquisadores, buscas bibliográficas e bases de dados online como a *Global Biodiversity Information Facility* (<http://www.gbif.org>), *speciesLink* (<http://www.splink.cria.org>) e Instituição Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (<http://www.icmbio.gov.br>). Inicialmente foram compilados 126 registros para *Sapajus apella*, 74 para *S. cay*, 44 para *S. flavius*, 93 para *S. libidinosus*, 238 para *S. macrocephalus*, 572 para *S. nigritus*, 172 para *S. robustus* e 190 para *S. xanthosternos*. Estes registros posteriormente passaram por uma etapa de filtragem utilizando-se de ferramentas sensoriamento remoto e produtos cartográficos para eliminação de localidades duvidosas ou erros taxonômicos.

Com o intuito de reduzir possíveis problemas associados à autocorrelação espacial, os registros originais das espécies de *Sapajus* foram rarefeitos através da ferramenta SDMToolbox do *software* ArcGIS 10.5 (BROWN, 2014). A rarefação foi realizada para utilizando como resolução uma distância de 20km para cada espécie com a exceção de *S. flavius* que devido ao número reduzido de registros com distribuição restrita foi rarefeito com uma resolução de 2km. Ao final do procedimento foram analisados 104 pontos para *S. apella*, 46 para *S. cay*, 37 para *S. flavius*, 60 para *S. libidinosus*, 115 para *S. macrocephalus*, 225 para *S. nigritus*, 58 para *S. robustus* e 67 para *S. xanthosternos*.

Os dados ambientais utilizados para a modelagem de nicho ecológico das espécies de *Sapajus* foram selecionados a partir de um conjunto de 19 variáveis bioclimáticas obtidas na base de dados *WorldClim* (HIJMANS et al., 2005). Os valores destas variáveis bioclimáticas, assim como de uma variável topográfica adicional (altitude), foram extraídas dos registros de ocorrência das espécies com o intuito de elaborar seu perfil ambiental de acordo com os dados analisados.

A seleção das variáveis para a realização dos modelos se deu a partir de dois aspectos principais: (1) maior contribuição para o modelo e (2) redução da colinearidade das variáveis do conjunto original. Para avaliar a contribuição houve a construção de um modelo preliminar, onde o ganho estimado considerando cada uma das variáveis foi medido através do método *jackknife*. Este método consiste na avaliação dos ganhos do

modelo analisando cada variável de forma isolada e em conjunto. Quanto à avaliação da colinearidade entre as variáveis, foi gerada uma matriz de correlação para análise das variáveis par-a-par, através do pacote USDM para a plataforma R (NAIMI, 2015). A partir desta matriz, foram excluídas do conjunto as variáveis mais correlacionadas ( $r^2 \geq |0,7|$ ).

Optou-se pela seleção de um subconjunto de seis destas variáveis, com o intuito de utilizar o menor número de preditores com menor correlação par-a-par. O conjunto final de preditores incluiu: isothermalidade, precipitação anual, precipitação do mês mais úmido, sazonalidade de precipitação, sazonalidade de temperatura e temperatura média do trimestre mais frio.

Os dados climáticos do presente são oriundos de estações meteorológicas em escala global, coletados entre o período de 1950 a 2000. Quanto à projeção das variáveis para o ano de 2050, utilizou-se a trajetória de emissão de gases do efeito estufa RCP 8.5 (*Representative Concentration Pathway 8.5*) (VAN VUUREN et al., 2011). Esta trajetória é conhecida como “*business as usual*” e assume alto crescimento populacional, crescimento econômico lento e pequenos avanços em tecnologia, resultando em altas taxas de emissão de gases e poucas alterações nas políticas acerca das mudanças climáticas. Seguindo esta trajetória, foram utilizados dois modelos de circulação global (GCMs) com bom desempenho para a América do Sul e que são amplamente empregados para este continente (VALVERDE; MARENGO, 2010; CHOU et al., 2014): *Atmosphere and Ocean Institute (MIROC5)* e *Met Office Hadley Centre (HADGEM2-ES)*.

### **Modelagem de nicho ecológico**

As predições resultantes da modelagem de nicho ecológico podem variar de acordo com os diferentes algoritmos utilizados (BUISSON et al., 2010; DINIZ-FILHO et al., 2009; LAWLER et al., 2006; PEARSON et al., 2006; THUILLER, 2004). Considerando este fato, foi adotada uma abordagem que combina os resultados dos diferentes algoritmos em um modelo de consenso (ARAÚJO; NEW, 2007).

A área de estudo para cada espécie foi definida utilizando o método do mínimo polígono convexo (MPC), englobando todos os pontos de ocorrência, acrescido de um buffer de 400km. A determinação desta distância correspondeu à distância média aproximada entre todos os pontos de ocorrência periféricos e o centróide das

ocorrências conhecidas (POO-MUÑOZ et al., 2014) Para realizar a modelagem preditiva de distribuição das espécies de *Sapajus* foram utilizados oito algoritmos com diferentes abordagens para fins de modelagem, conforme a recomendação da IUCN (IUCN, 2014). Dos algoritmos selecionados, três são estatísticos (GAM, GLM e MARS), três são baseados em aprendizagem de máquina (BRT, MAXENT e SVM) e dois de classificação (FDA e CART). (FRANKLIN, 2010; GRENOUILLET et al., 2011; RANGEL; LOYOLA, 2012). Um dos algoritmos utiliza dados de presença e *background* (MAXENT) e os demais, dados de presença e pseudo-ausência. Quanto aos pontos de *background*, foram gerados 10.000 pontos para cada uma das espécies de *Sapajus* (MEROW et al., 2014; PHILLIPS; DUDÍK, 2008) enquanto os pontos de pseudo-ausência, foi adotada uma proporção de 10/1 em relação aos pontos de ocorrência de cada espécie em questão. Estes pontos foram gerados de forma aleatória e distribuídos ao longo das áreas de estudo das espécies considerando a exclusão dos pontos de ocorrência acrescidos de um *buffer* de 100km.

Para todos os algoritmos foram utilizadas implementações contidas no pacote do R, “sdm”(NAIMI; ARAÚJO, 2016). Para cada um dos algoritmos foram realizadas 10 repetições utilizando a abordagem da validação cruzada, com 10 partições dos dados de presença (nove para calibração dos modelos e uma para teste). As estatísticas calculadas para avaliar o desempenho de cada algoritmo foram: AUC (*area under the ROC curve*), TSS (*true skill statistics*), sensibilidade e especificidade. Dentre estas apenas o AUC independe de um limiar, para as outras o limiar utilizado foi a maximização da sensibilidade e especificidade (*maximum training sensitivity plus specificity*) (LIU; WHITE; NEWELL, 2013). A especificidade e sensibilidade variam de 0 a 1 e indicam a probabilidade de um modelo classificar corretamente áreas de presença e ausência, quantificando e minimizando erros de comissão (falsa ausência) e omissão (falsa presença). O TSS varia de -1 a 1 e é obtido pela fórmula “especificidade + sensibilidade -1”, com valores positivos indicando modelos melhores do que resultados aleatórios (ALLOUCHE; TSOAR; KADMON, 2006). Já a AUC varia de 0 a 1 sendo os modelos com valores acima de 0,5 indicam modelos melhores comparados aos gerados de forma aleatória.

Para cada espécie foram gerados 2400 modelos preditivos (oito algoritmos, cem réplicas de cada algoritmo, e três cenários: um para o presente e dois para 2050), porém, para as análises foram selecionados apenas os modelos com  $TSS \geq 0,6$ . Posteriormente cada modelo foi convertido em um mapa binário (áreas adequadas ou não adequadas)

utilizando como limiar de corte a maximização da soma da sensibilidade e especificidade (*maximum training sensitivity plus specificity*) (LIU; WHITE; NEWELL, 2013). Com o intuito de produzir previsões mais robustas, foi adotada a abordagem de consenso (ARAÚJO; NEW, 2007; DINIZ FILHO et al., 2010; LOYOLA et al., 2012; MARMION et al., 2009), utilizando os modelos binários e atribuindo a estes, peso igual aos valores individuais de seus TSS (POULOS et al., 2012). Os mapas finais de adequabilidade foram gerados usando a regra da maioria, onde um pixel é considerado adequado apenas quando os seus valores são iguais ou maiores à metade da soma dos valores de TSS dos modelos utilizados. Todas essas operações para gerar os *ensembles* foram realizadas no *software* R 3.4.1.

### **Pós-processamento dos mapas de consenso**

Os modelos consenso mapeiam as áreas que são climaticamente adequadas para o estabelecimento das espécies, tanto no presente quanto no futuro. A distribuição das espécies do estudo, no entanto, não está limitada apenas pelo clima, pois os *Sapajus* são espécies restritas a ambientes florestais. É fato que sobre a extensão de ocorrência dos *Sapajus*, com exceção das espécies da região amazônica, a incidência de desflorestamento é significativa. Assim sendo, para dar realismo biológico aos modelos gerados, os mapas de consenso para as espécies não amazônicas foram recortados a partir dos mapas de remanescentes florestais do ano base de 2015 (Coleção 2; PROJETO MAPBIOMAS, 2017), a fim de eliminar dos modelos preditivos as áreas transformadas para uso agropecuário e urbano.

Para evitar distorções no cálculo das áreas climaticamente adequadas, os modelos foram convertidos para a Projeção Cônica Equivalente de Albers. Todas essas operações foram realizadas na plataforma R 3.4.1 e no *software* ArcMap 10.5.

### **Análise dos potenciais impactos das mudanças climáticas sobre espécies do gênero *Sapajus***

Para as análises dos potenciais impactos ocasionadas pelas mudanças climáticas neste estudo, foi adotado o pressuposto da dispersão limitada, ou seja, as espécies aqui analisadas não seriam capazes de migrar grandes distâncias em busca de habitats com condições mais adequadas à sua distribuição. Com este pressuposto em vista, foi

utilizada a Extensão de Ocorrência da espécie (EOO - definida pelo método do Mínimo Polígono Convexo englobando todos os pontos de ocorrência) acrescidos de um *buffer* de 400km. Os polígonos da EOO foram gerados no ArcMap 10.5.

A avaliação dos potenciais impactos das mudanças climáticas sobre os modelos preditivos se deu por meio da análise a nível de pixel (HU; HU; JIANG, 2010; HU; JIANG, 2011). A partir desta abordagem, foram calculadas as extensões das áreas climaticamente adequadas no presente e no futuro, das áreas estáveis (adequadas no presente e 2050), das áreas perdidas (adequadas no presente e não adequadas em 2050) e áreas ganhas (não adequadas no presente, porém, passam a ser em 2050).

A variação das áreas climaticamente adequadas foi calculada por meio da comparação das áreas adequadas do presente (*current range* - CR), com as áreas perdidas (*range loss* - RL) e áreas ganhas (*range gain* - RG). Com estes dados, foi estimada a porcentagem da mudança (*change* - C) predita pelos modelos.

Em seguida, atribuiu-se a cada espécie analisada uma categoria de ameaça com base na mudança estimada de áreas adequadas entre o presente e o futuro (2050). Em consonância com as diretrizes associadas ao critério A3(c) da Lista Vermelha da IUCN, que é baseado na redução de população projetada para o futuro em termos de redução em Área de Ocupação, Extensão de Ocorrência e/ou qualidade de habitat (IUCN, 2014), utilizou-se a redução da área climaticamente adequada predita para o futuro e os seguintes limiares para atribuir a categoria de ameaça: Extinto (EX) - espécies com uma redução de 100% de área adequada nas projeções para o futuro; Criticamente Em Perigo (CR) - redução de > 80%; Em Perigo (EN) - redução de > 50% e Vulnerável (VU) - redução de > 30%. Estimou-se o risco de extinção com base no pressuposto de dispersão limitada, onde a redução de área adequada foi calculada através da perda de área adequada (*range loss* - RL) (HU; JIANG, 2011).

### **Análise da cobertura das áreas adequadas para as espécies em Unidades de Conservação**

A fim de se compreender o quanto as Unidades de Conservação (UC) atuais representam em termos de cobertura de proteção para as espécies alvo, foram calculadas as porcentagens de áreas florestadas e climaticamente adequadas para as espécies que se encontram dentro dos limites de UCs, tanto para o presente quanto para 2050. Foi utilizada a base cartográfica das Unidades de Conservação do SNUC, disponibilizadas

pelo Ministério do Meio Ambiente (<http://www.mma.gov.br/areas-protetidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados>). Apenas foram analisadas Unidades de Conservação de Proteção Integral e Reservas Particulares de Preservação da Natureza. Todas as análises foram realizadas na plataforma R e os mapas finais gerados através do *software* ArcGis 10.5.

### **Análise espacial dos padrões de distribuição das áreas adequadas para as espécies**

Para examinar as tendências de resposta às mudanças climáticas nos gradientes altitudinal, latitudinal e longitudinal, foram extraídos os valores de elevação, de latitude e de longitude das células indicadas como adequadas nos *ensembles* presente e futuro de cada espécie e calculadas as médias, desvios padrão, medianas, valores máximos e mínimos utilizando o *software* R (Hu & Liu 2014).

## **Resultados**

As assinaturas ambientais extraídas dos registros de ocorrência de *Sapajus* apontam consideráveis diferenças dos perfis ambientais das espécies, principalmente quanto à altitude, temperatura média anual e precipitação anual. O gênero apresenta espécies distribuídas desde zonas com baixas altitudes, como *S. flavius* (média 75m ± 98m) até altitudes mais elevadas, como *S. libidinosus* (média 526m ± 289m). A temperatura também apresentou variação, com *S. nigrinus* ocorrendo em zonas de temperaturas mais amenas (média 20°C ± 2,15°C) e *S. macrocephalus* em zonas de temperaturas mais elevadas (média 26°C ± 2,5°C). Quanto à precipitação, há espécies associadas a regiões com baixos volumes de chuva (média 1150mm ± 170mm), tais como *S. robustus*, enquanto outras ocorrem em regiões com grandes volumes de chuva (2590mm ± 633,5mm), como *S. macrocephalus*. Os perfis foram gerados contendo todas as variáveis para todas as espécies (**Apêndice 1**).

Ao todo os algoritmos geraram 3994 modelos com bom desempenho (TSS ≥ 0,6) para as espécies de *Sapajus*, que posteriormente foram utilizados na formação dos consensos finais.

Tabela 1: Número de modelos (repetições), de cada algoritmo e no total, utilizados nos consensos finais do presente para cada uma das espécies de *Sapajus*, os quais foram posteriormente projetados para 2050 segundo os dois CGMs.

	<i>S. apella</i>	<i>S. cay</i>	<i>S. flavius</i>	<i>S. libidinosus</i>	<i>S. macrocephalus</i>	<i>S. nigrinus</i>	<i>S. robustus</i>	<i>S. xanthosternus</i>
<b>BRT</b>	51	64	100	26	8	98	84	91
<b>CART</b>	26	47	97	7	5	97	94	76
<b>FDA</b>	9	25	100	12	30	7	92	85
<b>GAM</b>	64	90	100	49	51	100	94	96
<b>GLM</b>	25	60	99	7	20	1	92	88
<b>MARS</b>	54	82	100	41	49	100	97	94
<b>MAXENT</b>	17	58	100	11	4	21	80	83
<b>SVM</b>	62	89	100	60	35	100	97	93
<b>SOMA</b>	308	515	796	213	202	524	730	706

Os modelos resultantes dos diferentes algoritmos tiveram certa variação, ou seja, não houve concordância das áreas adequadas e não adequadas, como exemplificado na Figura 1 para *Sapajus flavius*. Pôde-se observar tendências gerais nas predições destas áreas para certos algoritmos, como por exemplo: BRT, FDA e GLM tenderam a apresentar predições mais expandidas, resultando em maiores extensões de áreas adequadas para as espécies, ao passo que CART e MARS produziram predições mais restritas de áreas adequadas. Os diferentes GCMs variaram menos que os algoritmos e apresentaram também um padrão geral, com MIROC produzindo modelos menos restritos do que HadGEM2 (Figura 1).

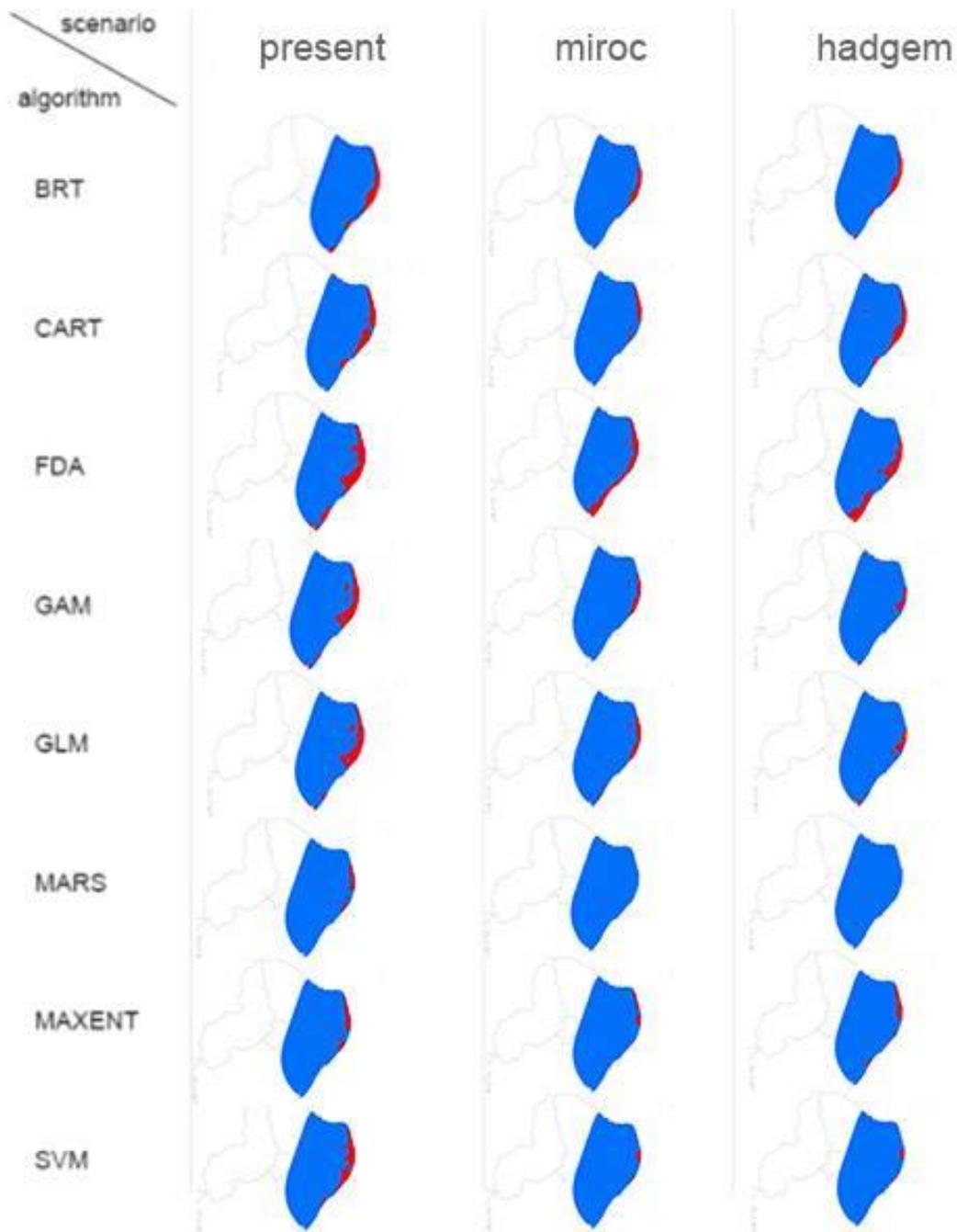


Figura 1: Mapa da distribuição potencial das áreas climaticamente adequadas para *Sapajus flavius* segundo os consensos dos diferentes algoritmos e modelos de circulação global (GCMs) na Extensão de Ocorrência (EOO) da espécie e entorno de 400 km. Em vermelho - áreas adequadas, em azul - áreas não adequadas.

Para todas as espécies do gênero foram observadas mudanças quanto à distribuição das áreas potencialmente adequadas quando os modelos foram projetados para o ano de 2050. Os mapas ilustrados nestas figuras mostram a distribuição das áreas que sempre aparecem como não adequadas, das áreas perdidas (adequadas no presente e não adequadas no futuro), das áreas ganhas (não adequada no presente e adequada no futuro) e das áreas estáveis (adequadas tanto no presente quanto no futuro).

Os modelos de consenso finais (*ensembles*) indicam a perda de áreas adequadas no cenário de 2050 para cinco espécies: *S. apella*, *S. flavius*, *S. libidinosus*, *S. nigritus* e *S. xanthosternos*. Por outro lado, os resultados sugerem ganhos de áreas adequadas no futuro para três espécies: *S. cay*, *S. macrocephalus* e *S. robustus*. *Sapajus flavius* apresentou as maiores perdas e os menores ganhos, resultando em mudanças de mais de 60% no sentido da redução de suas áreas adequadas. Já *S. robustus* foi a espécie que apresentou os maiores ganhos em 2050, com uma expansão das áreas adequadas em mais de 180%.

Tabela 2: Mudanças, perdas e ganhos em áreas climaticamente adequadas na extensão de ocorrência das espécies (EOO) e seu entorno, conforme previsto pelos modelos de consenso no presente e no futuro. Valores de mudança negativos e positivos significam, respectivamente, redução e ampliação de áreas adequadas em 2050.

Espécie	Perda (km <sup>2</sup> )	Ganho (km <sup>2</sup> )	Estável (km <sup>2</sup> )	Mudança (%)	Presente (km <sup>2</sup> )	Futuro (km <sup>2</sup> )
<i>S. apella</i>	1189346.54	900622.55	1337592.55	-11.43	3427561.64	2238215.10
<i>S. cay</i>	163147.4	262376.47	542196.24	14.07	967720.11	804572.71
<i>S. flavius</i>	26277.9	921.82	14960.17	-61.49	42159.89	15881.99
<i>S. libidinosus</i>	640660.94	506273.99	850350.48	-9.01	1997285.41	1356624.47
<i>S. macrocephalus</i>	319702.29	1028328.62	1902019.35	31.9	3250050.26	2930347.97
<i>S. nigritus</i>	293297.86	248592.29	599404.15	-5.01	1141294.30	847996.44
<i>S. robustus</i>	1235.97	223134.29	117627.43	186.68	341997.69	340761.72
<i>S. xanthosternos</i>	103918.12	9443.49	169951.51	-34.5	283313.12	179395.00

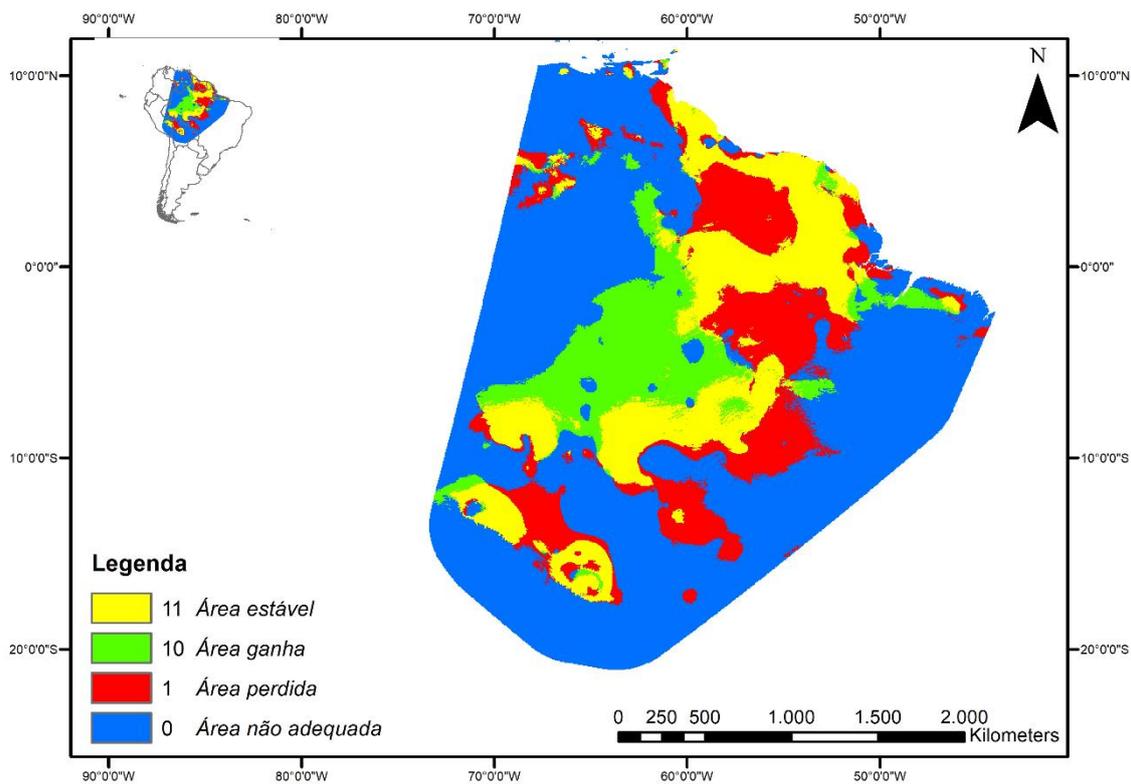


Figura 2: Mapa das mudanças na distribuição das áreas previstas para *Sapajus apella* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno.

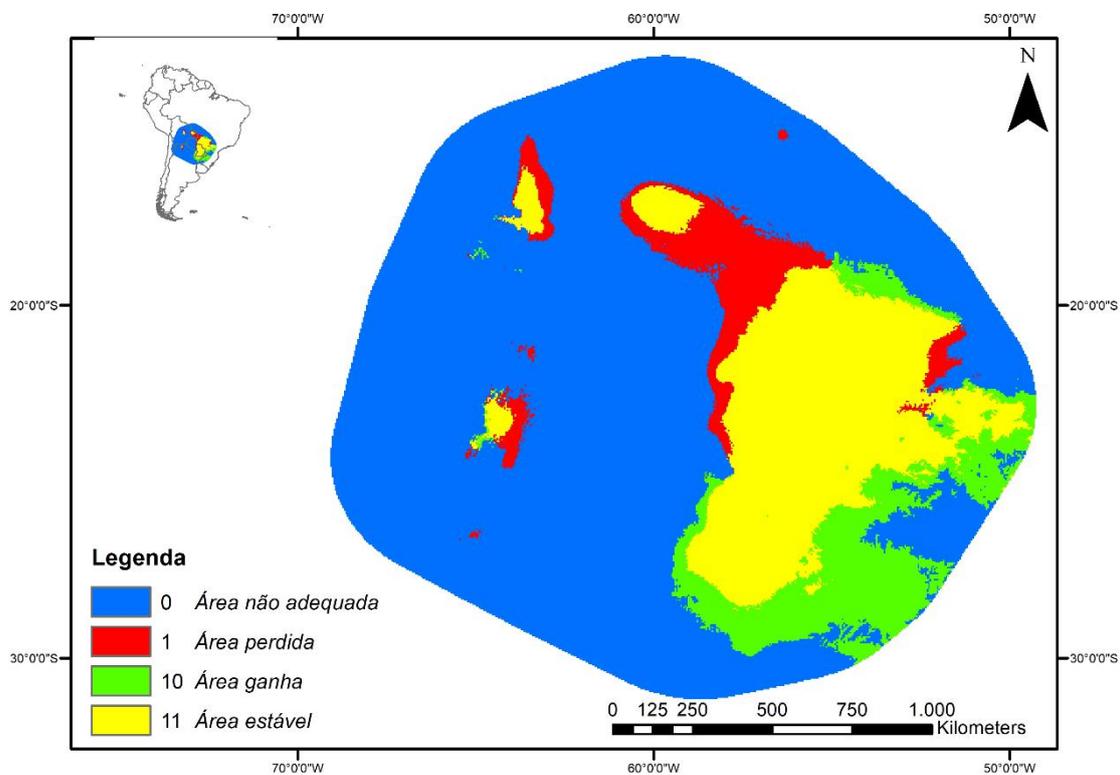


Figura 3: Mapa das mudanças na distribuição das áreas previstas para *Sapajus cay* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno.

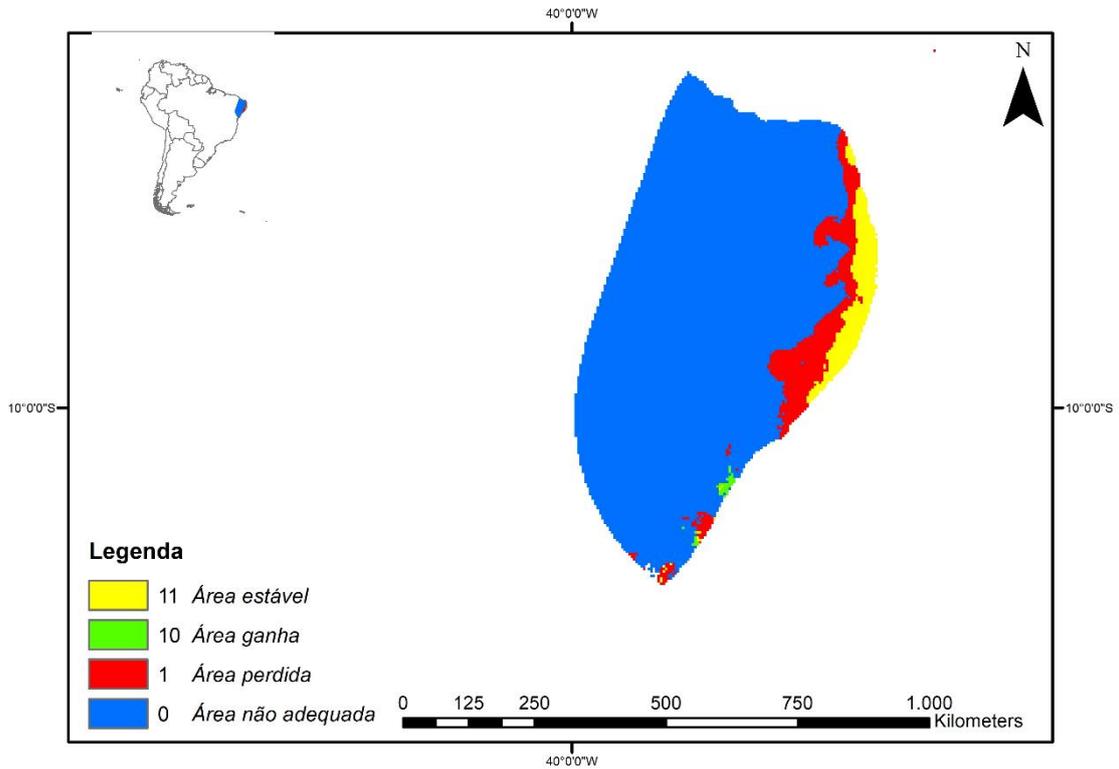


Figura 4: Mapa das mudanças na distribuição das áreas previstas como adequadas para *Sapajus flavius* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno.

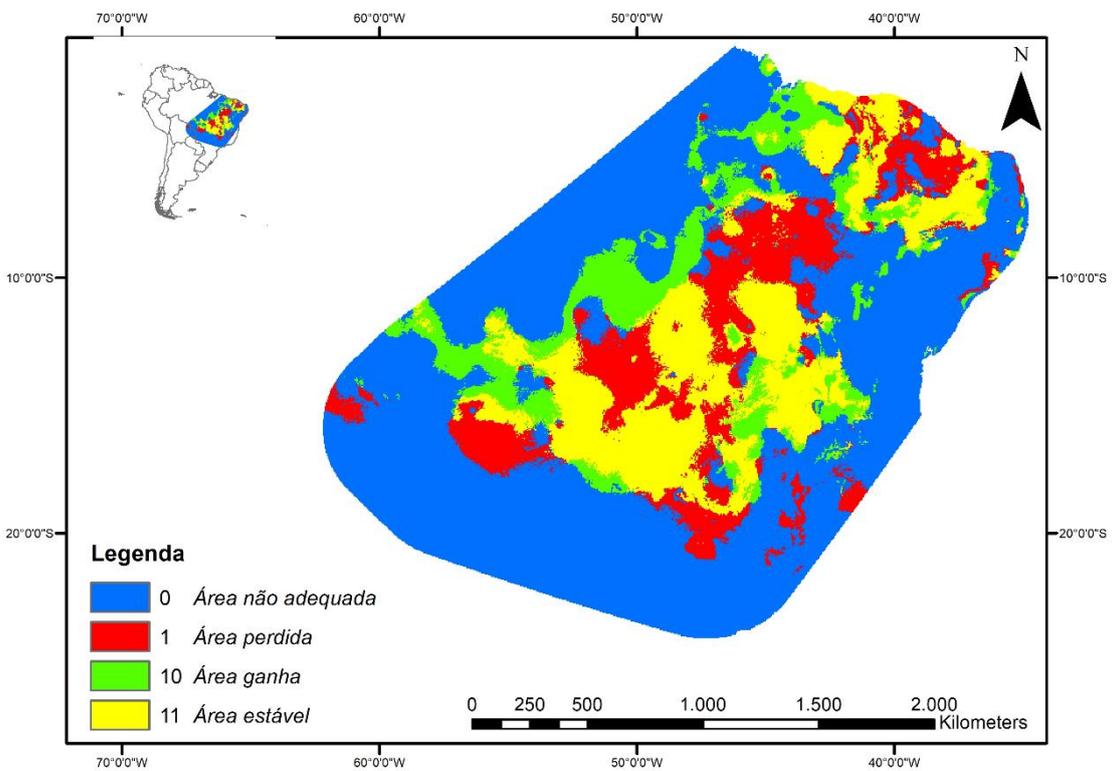


Figura 5: Mapa das mudanças na distribuição das áreas previstas como adequadas para *Sapajus libidinosus* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno.

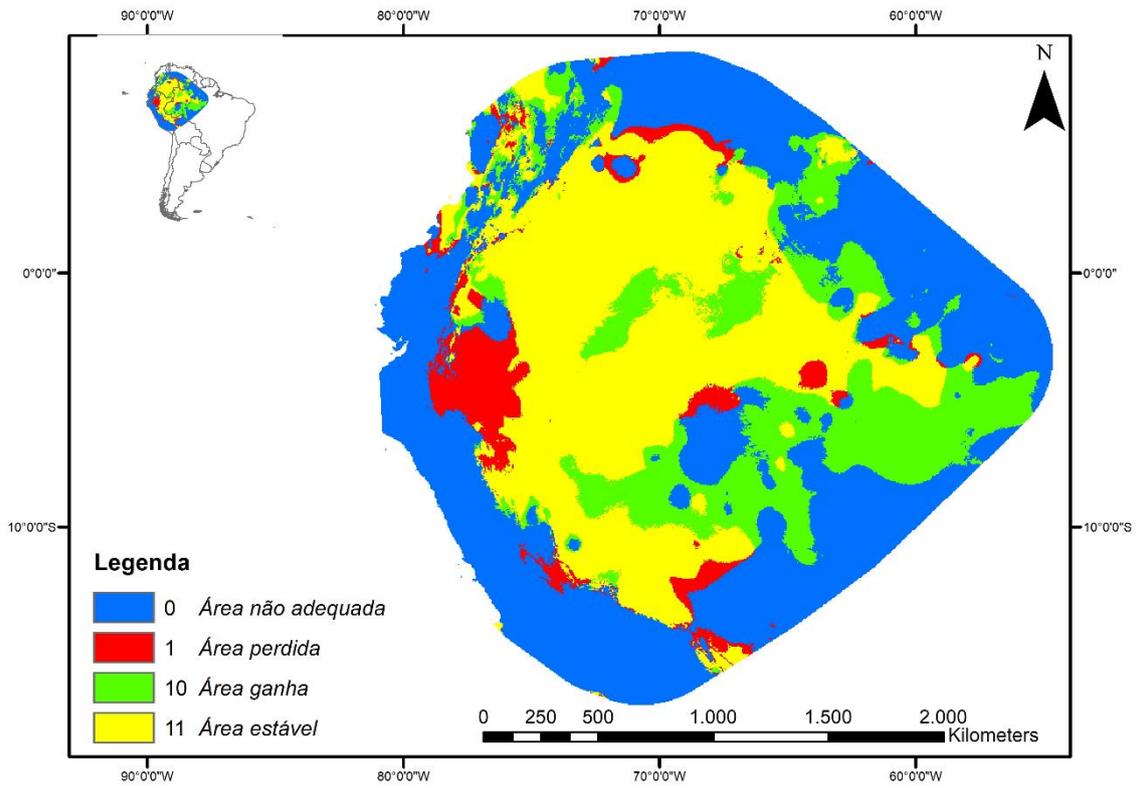


Figura 6: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *Sapajus macrocephalus* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno.

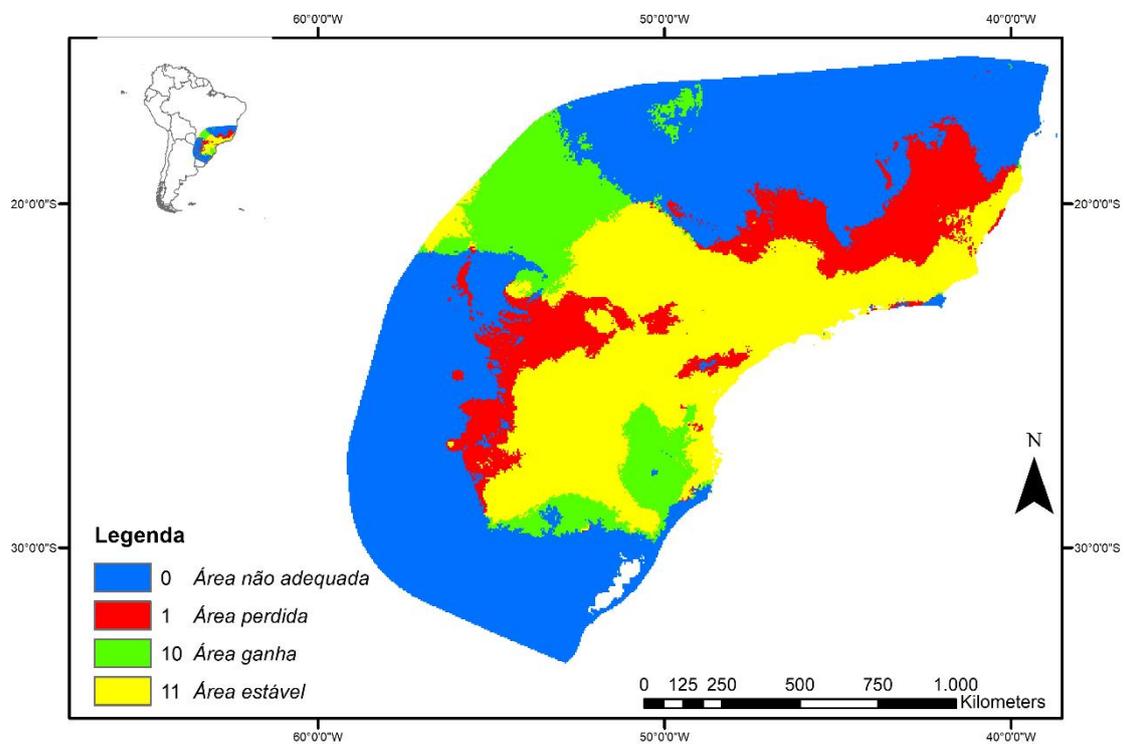


Figura 7: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *Sapajus nigritus* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno.

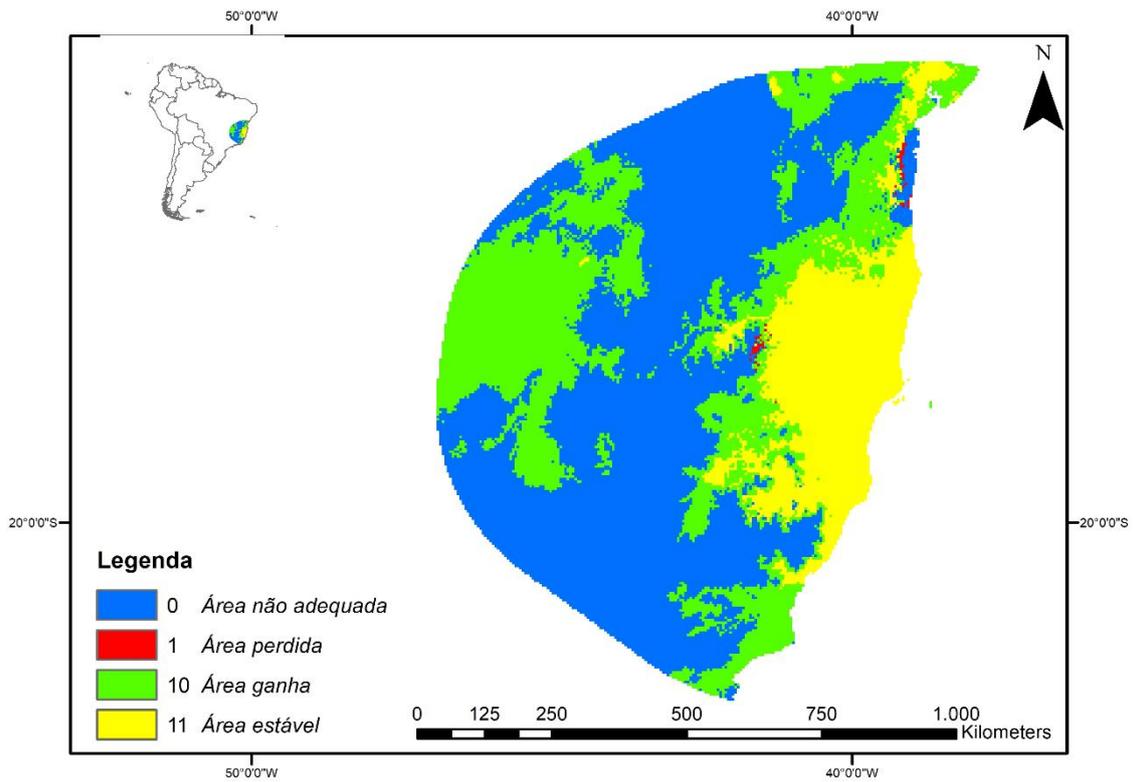


Figura 8: Mapa das mudanças na distribuição das áreas previstas para *Sapajus robustus* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno.

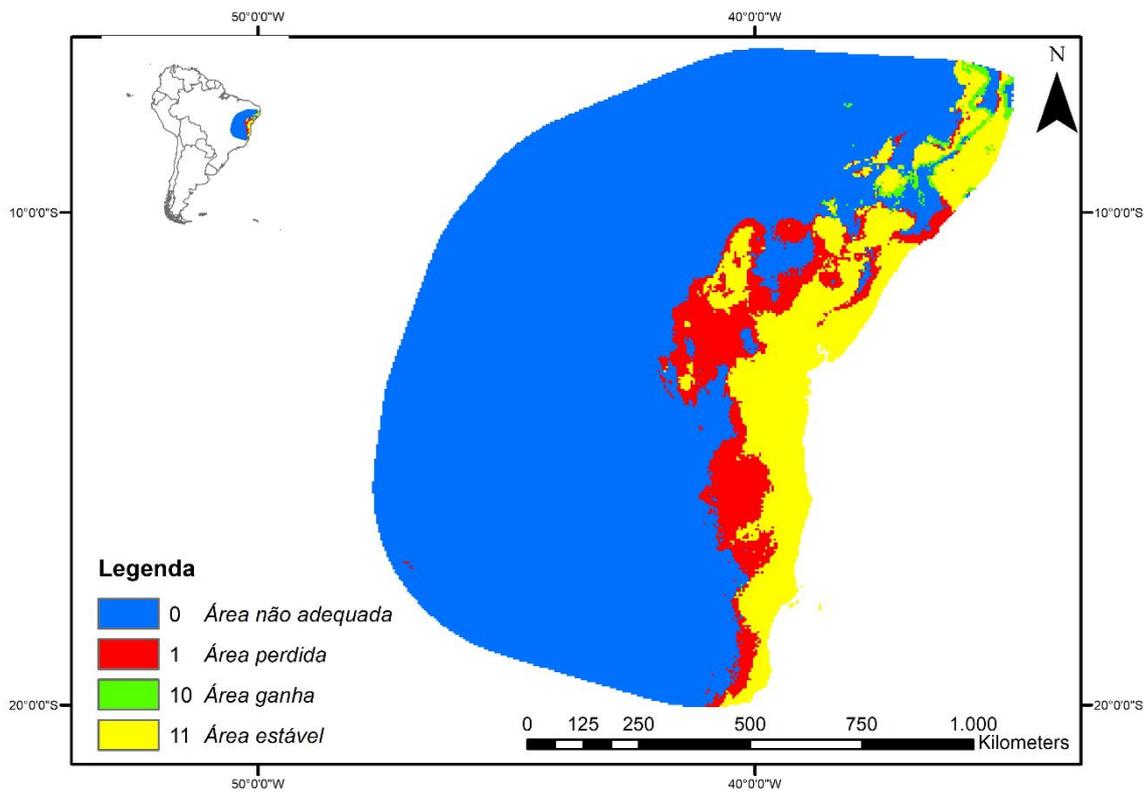


Figura 9: Mapa das mudanças na distribuição das áreas previstas para *Sapajus xanthosternos* no presente e no futuro, na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno.

Considerando o balanço entre as possíveis perdas e ganhos, para as espécies que apresentaram mudanças no sentido de redução das suas áreas potencialmente adequadas, estas perdas não se traduziram em mudança para uma categoria de maior risco de ameaça da classificação da IUCN. *Sapajus apella* e *S. libidinosus* não demonstraram percentual de redução superior a 30% para que fossem caracterizados como Vulnerável (VU). Já *S. flavius* e *S. xanthosternos* apresentaram perdas superiores a 50 e 30%, respectivamente, percentuais estes que corresponderiam à categoria Em Perigo (EN) e Vulnerável (VU). Contudo, ambas as espécies já se encontram classificadas como Criticamente em Perigo (CR), a categoria de maior risco dentre as ameaçadas.

Quanto às áreas adequadas e florestadas, que foram quantificadas para as cinco espécies não amazônicas aqui analisadas (*S. flavius*, *S. libidinosus*, *S. nigritus*, *S. robustus* e *S.xanthosternos*), observaram-se algumas semelhanças e diferenças em relação aos mapas de adequabilidade sem o recorte dos remanescentes florestais. Novamente *S. flavius* e *S. xanthosternos* apresentaram as maiores perdas em 2050, sendo que a primeira registra redução de mais de 65% de áreas potencialmente adequadas e florestadas. *Sapajus robustus* permanece sendo a espécie com maior ganho de áreas potencialmente adequadas no futuro, agora superior a 300%. Por outro lado, ao considerarmos as áreas florestadas, *S. nigritus* e *S. libidinosus* passam a apresentar ganho de áreas adequadas e florestadas. Mais uma vez estes percentuais não implicam em mudança de categoria de ameaça da IUCN.

Tabela 3: Mudanças, perdas e ganhos em áreas climaticamente adequadas na extensão de ocorrência das espécies (EOO) e seu entorno, conforme predito pelos modelos de consenso no presente e no futuro, considerando apenas as áreas florestadas. Valores de mudança negativos e positivos significam, respectivamente, redução e ampliação de áreas adequadas em 2050.

<b>Espécie</b>	<b>Perda (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Ganho (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Estável (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Mudança (%)</b>	<b>Presente (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Futuro (km<sup>2</sup>)</b>
<i>S. flavius</i>	7226.40	335.15	3341.06	-65.21	10902.61	3676.21
<i>S. libidinosus</i>	284386.33	291300.88	431747.68	0.97	1007434.89	723048.56
<i>S. nigrítus</i>	49603.13	86442.42	171831.01	16.64	307876.56	258273.43
<i>S. robustus</i>	577.61	86338.85	25757.81	325.65	112674.27	112096.66
<i>S. xanthosternos</i>	47234.21	3255.45	68615.12	-37.96	119104.78	71870.57

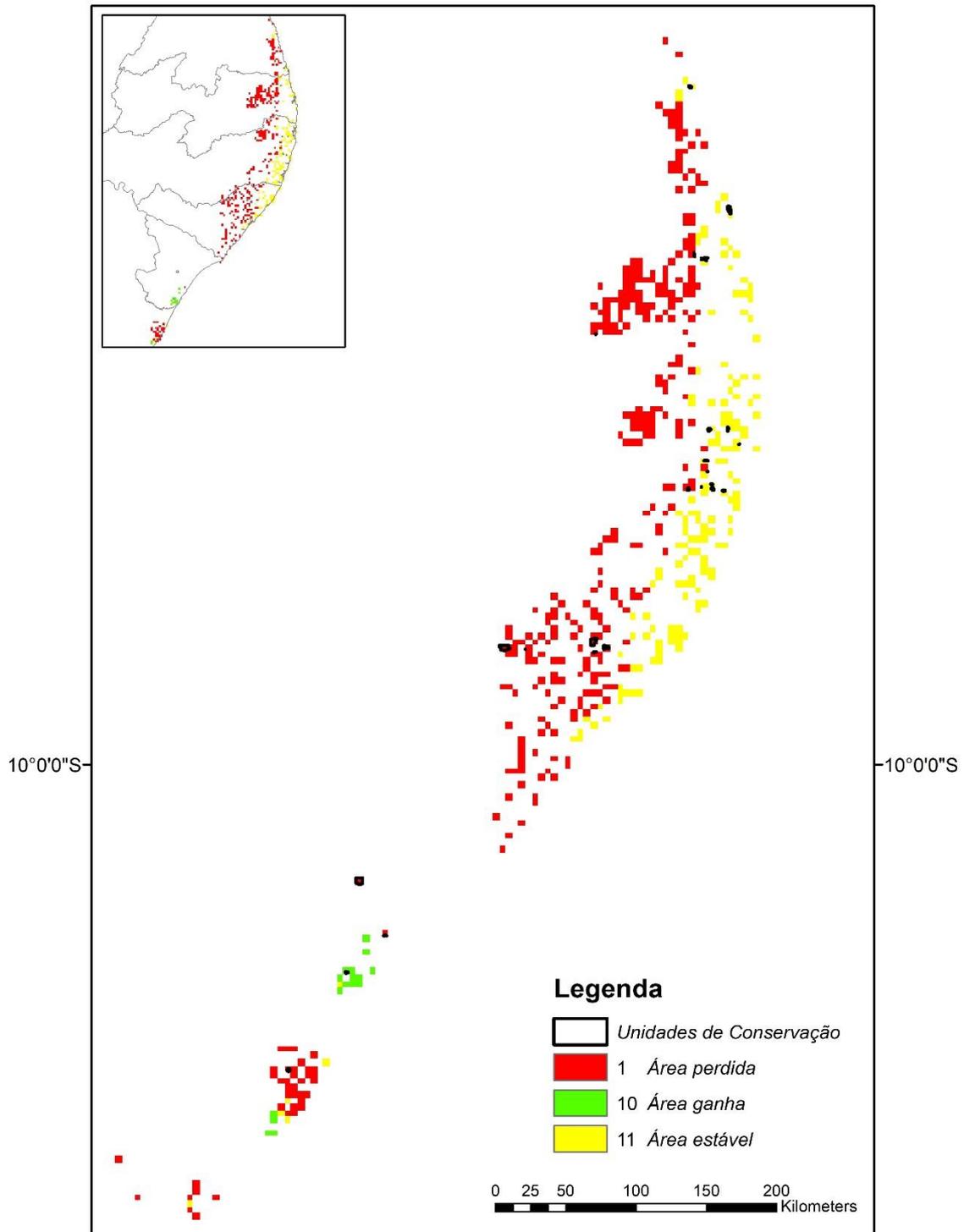


Figura 10: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *S. flavius* no presente e no futuro, nas áreas florestadas na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. Os polígonos sobrepostos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral e Reservas Particulares do Patrimônio Natural.

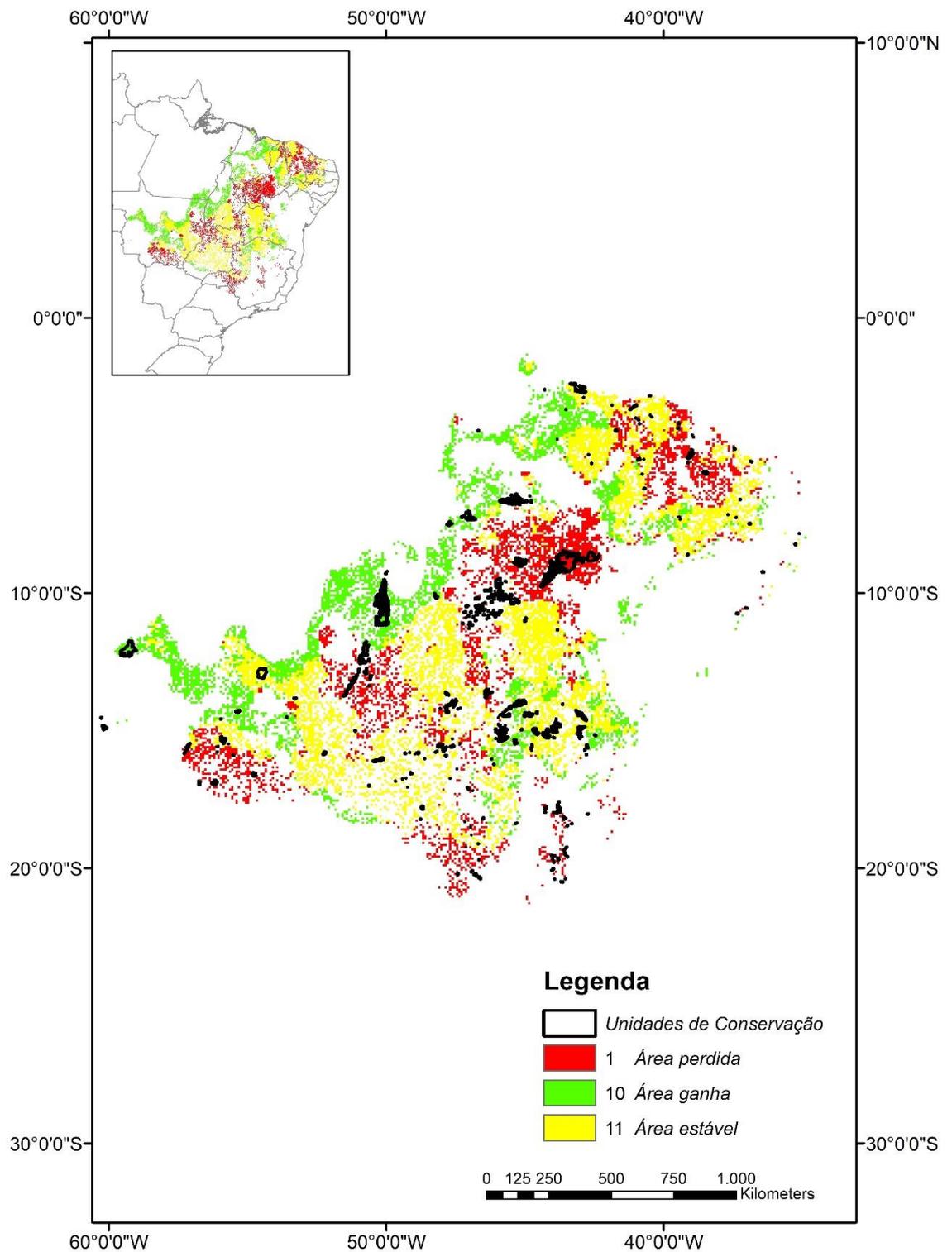


Figura 11: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *S. libidinosus* no presente e no futuro, nas áreas florestadas na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. Os polígonos sobrepostos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral e Reservas Particulares do Patrimônio Natural.

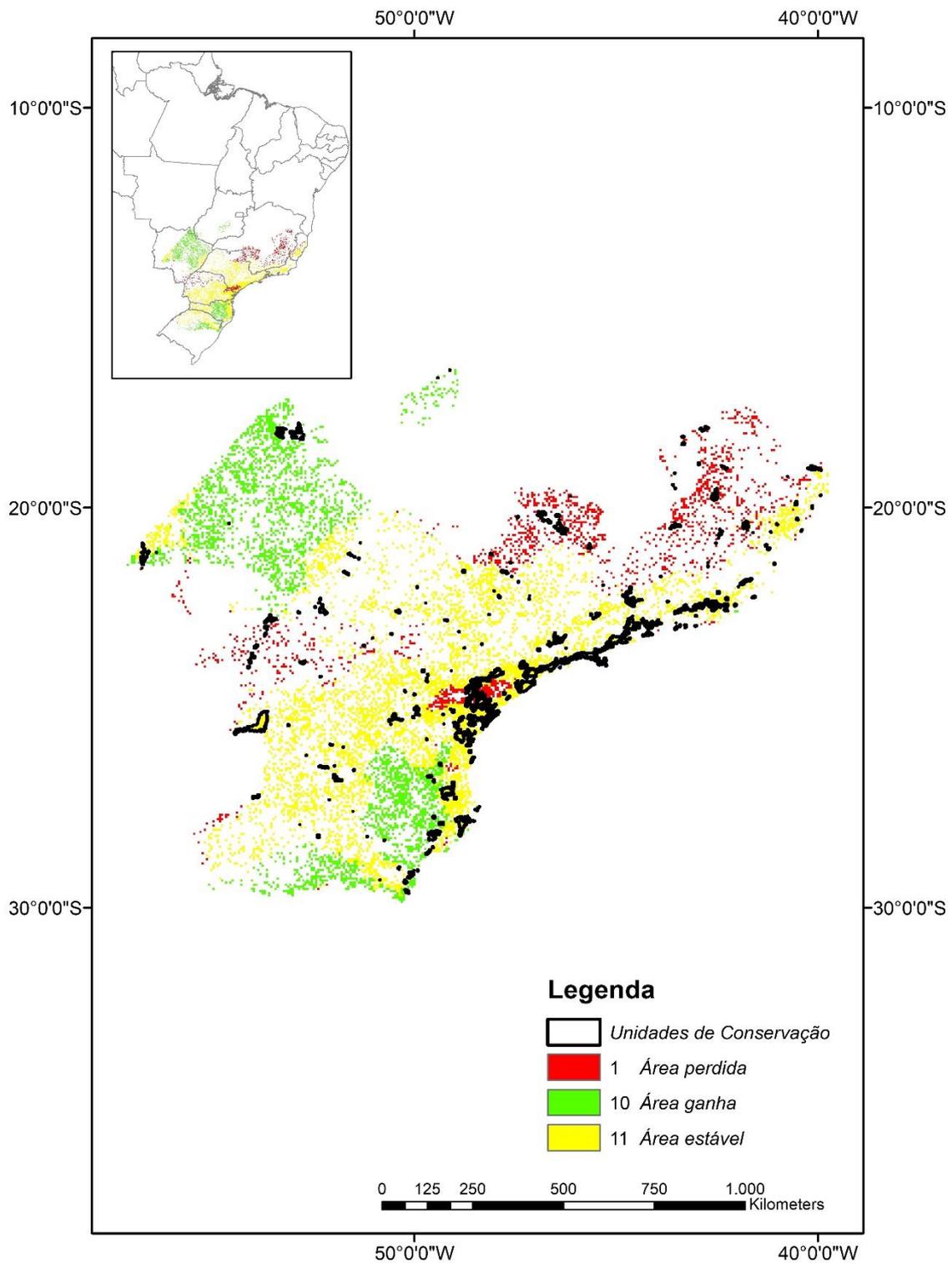


Figura 12: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *S. nigritus* no presente e no futuro, nas áreas florestadas na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. Os polígonos sobrepostos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral e Reservas Particulares do Patrimônio Natural.

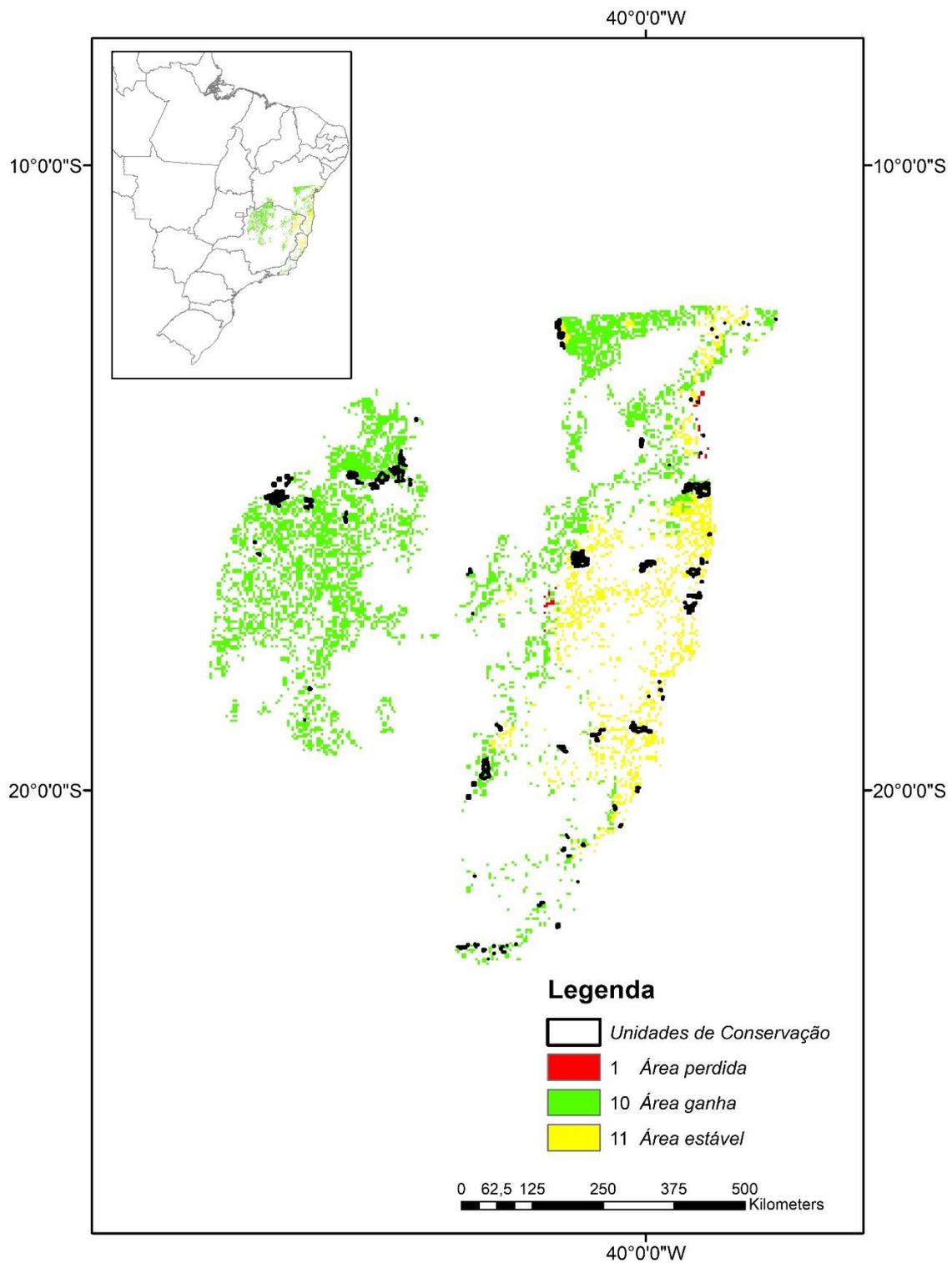


Figura 13: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *S. robustus* no presente e no futuro, nas áreas florestadas na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. Os polígonos sobrepostos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral e Reservas Particulares do Patrimônio Natural.

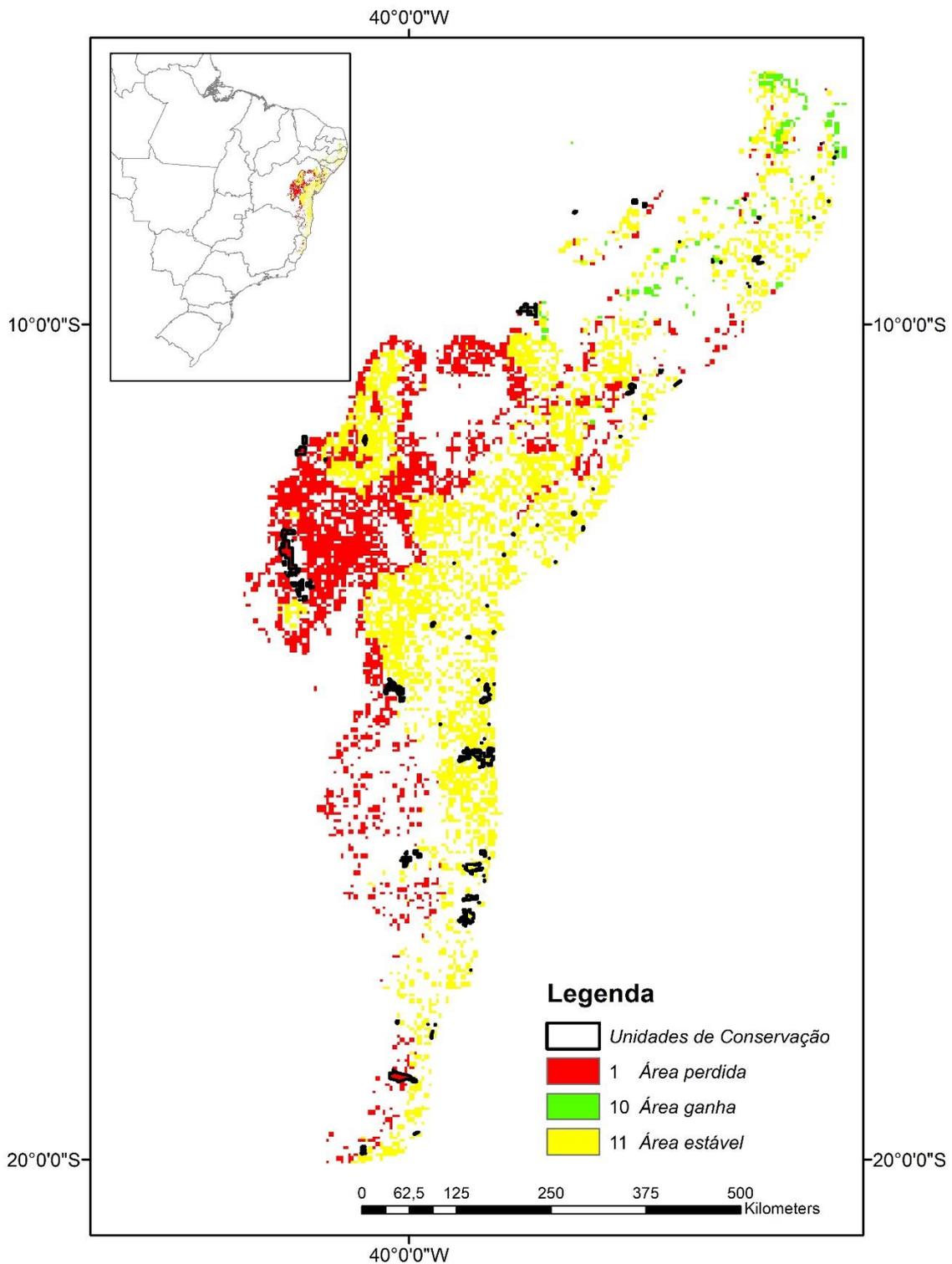


Figura 14: Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *S. xanthosternos* no presente e no futuro, nas áreas florestadas na extensão de ocorrência da espécie e seu entorno. Os polígonos sobrepostos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral e Reservas Particulares do Patrimônio Natural.

Levando em consideração as áreas adequadas e florestadas que se encontram cobertas por Unidades de Conservação de Proteção Integral e RPPNs (Tabela 4), percebe-se reduções ainda maiores das áreas potencialmente adequadas para *S. flavius* e *S. xanthosternos*. Porém, *S. nigritus* que apresentava ganho (aproximadamente 15%) ao considerarmos apenas as áreas florestadas da espécie, passa a apresentar redução das áreas adequadas em UCs. *Sapajus libidinosus*, que praticamente não apresentou ganho de área adequada quando consideradas as áreas florestadas, passa a apresentar redução de mais de 20% das áreas adequadas em UCs..

Todas as espécies de *Sapajus* não amazônicas apresentam-se pouco protegidas, sendo que, exceto para *S. nigritus*, as áreas adequadas e florestadas no presente e no futuro cobertas por UCs-PI e RPPNs sequer totalizam 3%. A cobertura das áreas estáveis também é similar. *Sapajus flavius* é a espécie com menor nível de proteção, sendo que menos de 1% de suas áreas adequadas e florestadas no presente e em 2050, bem como das áreas estáveis, encontram-se contidas dentro de UCs-PI e RPPNs (Tabela 4).

Tabela 4: Mudanças, perdas e ganhos em áreas climaticamente adequadas na extensão de ocorrência das espécies e seu entorno, conforme previsto pelos modelos de consenso no presente e no futuro, considerando apenas as áreas florestadas e inseridas em Unidades de Conservação de Proteção Integral e Reservas Particulares do Patrimônio Natural. Valores de mudança negativos e positivos significam, respectivamente, redução e ampliação de áreas adequadas em 2050.

Espécie	Perda (km <sup>2</sup> )	Ganho (km <sup>2</sup> )	Estável (km <sup>2</sup> )	Mudança (%)	Presente (km <sup>2</sup> )	Futuro (km <sup>2</sup> )	Presente (%)	Futuro (%)	Estável (%)
<i>S. flavius</i>	70.23	1.34	24.62	-72.63	96.19	25.96	0.88	0.71	0.74
<i>S. libidinosus</i>	12678.67	8107.03	6871.70	-23.38	27657.40	14978.73	2.75	2.07	1.59
<i>S. nigritus</i>	2432.38	1216.28	15209.82	-6.89	18858.48	16426.10	6.13	6.36	8.85
<i>S. robustus</i>	2.00	1820.40	1269.49	143.01	3091.89	3089.89	2.74	2.76	4.93
<i>S. xanthosternos</i>	998.75	115.88	1531.01	-34.90	2645.64	1646.89	2.22	2.29	2.23

A avaliação das respostas às mudanças climáticas nos gradientes altitudinal, latitudinal e longitudinal não revelou diferenças entre os valores médios destas variáveis observados nas áreas de ganho em relação às áreas de perda ou estáveis, com exceção da altitude para duas espécies. Para *Sapajus apella* observa-se que a altitude média nas áreas de ganho é menor do que nas áreas de perda ou estáveis. Já *S. cay* observa-se o contrário, a altitude média nas áreas de ganho é maior do que nas áreas de perda ou estáveis (Apêndice 2).

## Discussão

No presente estudo foram avaliados os possíveis impactos das mudanças climáticas previstas para o ano de 2050 sobre as oito espécies do gênero *Sapajus*, através da Modelagem de Nicho Ecológico em abordagem de previsão de consenso (*ensemble forecasting*) associada a análises espaciais em Sistemas de Informação Geográfica. Corroborando as hipóteses 1 e 2 propostas anteriormente, os resultados indicam que a maior parte das espécies de *Sapajus* podem perder parte das áreas climaticamente adequadas dentro de sua extensão de ocorrência até 2050. Também corroborando a hipótese 3, as maiores perdas foram observadas em *S. flavius* e *S. xanthosternos*, espécies que ocorrem na Mata Atlântica do Nordeste e em parte da Caatinga. As projeções climáticas futuras apontam que no final do século XXI a Caatinga e a porção nordeste da Mata Atlântica enfrentarão condições de aquecimento intenso, com aumento de 3 a 4,5°C em temperatura, bem como grave diminuição da precipitação entre 30 e 50% (PBMC 2013). Portanto, as regiões onde ocorrem *S. flavius* e *S. xanthosternos* sofrerão maiores impactos associados às mudanças climáticas futuras do que a porção sudeste da Mata Atlântica, região de ocorrência de *S. nigrurus*, onde as projeções climáticas indicam aquecimento mais ameno e aumento da precipitação (PBMC 2013). As espécies que de maneira geral apresentaram perda de áreas adequadas no futuro em todos os recortes (EOO e entorno, EOO e entorno dentro de remanescentes florestais), corroboram as tendências de redução reportadas em estudos de possíveis impactos das mudanças climáticas em escala global (WARREN et al., 2013), em especial para espécies endêmicas, terrestres e de regiões tropicais (HOLE et al., 2009; LOYOLA et al., 2012; RAMIREZ-VILLEGAS et al., 2014; SOUZA et al., 2011). Contradizendo a hipótese 4, das três espécies que ganham área adequada no futuro a que apresenta maior expansão, *S. robustus*, não é amplamente distribuída no presente, de fato é uma das três espécies com distribuição mais restrita.

É importante destacar que existem incertezas quanto às predições dos modelos, pois, cada algoritmo utiliza uma abordagem distinta para a extrapolação dos dados ao longo do gradiente ambiental e para a delimitação das áreas adequadas (BUISSON et al., 2010; DINIZ-FILHO et al., 2009; PEARSON et al., 2006; RANGEL; LOYOLA, 2012). De fato os algoritmos utilizados neste trabalho apresentaram diferentes comportamentos quanto à extrapolação dos dados, havendo variação de algoritmo para algoritmo e de espécie para a espécie. Diante das incertezas observadas em torno das

projeções dos distintos algoritmos usados para a modelagem, o presente estudo corrobora a ideia da adoção da modelagem de consenso (*ensemble forecasting*) entre os resultados derivados de diferentes algoritmos e modelos climáticos como abordagem mais apropriada para estimar os possíveis impactos ocasionados pelas mudanças climáticas (ARAÚJO; NEW, 2007). Ressalta-se que a robustez das predições é especialmente importante em temas relativos à conservação da biodiversidade, pois tais incertezas podem interferir negativamente em esforços de conservação (LOYOLA et al., 2012). Cabe também lembrar que as modelagens de distribuição potencial das áreas adequadas apenas consideram as variáveis ambientais utilizadas como preditoras. Quaisquer outras influências bióticas como predação, competição, disponibilidade de recursos alimentares, capacidade de dispersão e adaptabilidade não são avaliados. Ou seja, os modelos apenas predizem áreas climaticamente adequadas para a distribuição das espécies, porém, não necessariamente estas ocuparão todas estas áreas.

Uma importante questão a ser levantada quanto à estudos de impactos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade consiste na capacidade das espécies de alcançar seus possíveis habitats adequados (MCKENNEY et al., 2007). No que se refere a capacidades de dispersão, no nordeste da Mata Atlântica, por exemplo, indivíduos de *Sapajus* não são capazes de atravessar as plantações de cana-de-açúcar em distâncias de 200 metros para alcançar manchas florestais nas proximidades (LYNCH ALFARO; IZAR; FERREIRA, 2014; OLIVEIRA & LANGGUTH, 2006). Em termos de capacidades de adaptação, a espécie *Sapajus libidinosus* é considerada adaptável, inclusive faz uso de pedras como instrumentos de percussão para quebrar sementes, compartilhando esse comportamento apenas com humanos, chimpanzés e macacos-de-cauda-longa asiáticos, *Macaca* (GOREN-INBAR et al., 2002; GUMERT et al., 2009).

Ao analisar os diferentes recortes (área total, área florestadas e áreas protegidas) foi observada alteração no balanço das áreas de perda e ganho de áreas adequadas de acordo com o recorte analisado. A título de exemplo, *S. libidinosus* apresenta perdas ao considerarmos as áreas adequadas totais (-9%), um leve ganho considerando áreas adequadas e florestadas (1%), e perdas maiores ao considerarmos as áreas adequadas, florestadas e protegidas (-23%), evidenciando a importância da análise de cada caso.

Contradizendo a hipótese 5, de que o impacto das mudanças climáticas aumentaria a categoria de risco para boa parte das espécies, levando em conta apenas o critério A3c a classificação da IUCN observa-se que o *status* de conservação das espécies de *Sapajus* não sofreu alteração para categoria de maior risco. As espécies

passíveis de alteração devido à perda de habitat maiores do que 30 e 50% (*S. xanthosternos* e *S. flavius*), já se encontram em categorias de risco mais severas do que aquelas em que seriam classificadas de acordo com o critério A3c. Para estas duas espécies já Criticamente em Perigo pode-se afirmar que as mudanças climáticas representam uma importante ameaça. Porém, cumpre ressaltar que as espécies de *Sapajus* sofrem com outros estressores como a pressão de caça, a perda/fragmentação/degradação das florestas (Andes, Amazônia, Mata Atlântica) ou a desertificação (Caatinga e Cerrado) (LYNCH ALFARO; IZAR; FERREIRA, 2014), assim como o risco de doenças, com destaque atualmente para a febre amarela. Estas pressões exercidas sobre as populações têm causado consequências como a diminuição do tamanho das populações, mudanças no uso do habitat e aumento das zonas de sobreposição das espécies (e.g. *S. apella* e *S. libidinosus*). (LYNCH ALFARO; IZAR; FERREIRA, 2014).

É importante ressaltar que muitos autores alertam para o impacto que a ação sinérgica dos dois vetores de mudança global, isto é, que a ação combinada de rápidas alterações climáticas e substantiva perda e fragmentação de hábitat, exercerá sobre a distribuição e a persistência de espécies e populações (BEALE et al., 2013; MANTYKA-PRINGLE et al., 2011; OPDAM & WASCHER, 2004). Essa sinergia pode ser especialmente impactante na Mata Atlântica, que já perdeu mais de 80% de sua cobertura vegetal original e onde mais de 80% dos remanescentes florestais são menores do que 50 hectares e encontram-se dispersos em paisagens bastante fragmentadas (RIBEIRO et al., 2009). Por um lado, um alto grau de fragmentação da paisagem pode dificultar a resposta das espécies que ali ocorrem às mudanças climáticas, devido a limitações impostas pela quantidade e configuração espacial do habitat (OPDAM & WASCHER, 2004; PYKE, 2004). Por outro lado, áreas sujeitas a tendências de altas temperaturas e decréscimos de precipitação exacerbam os efeitos de perda e fragmentação do habitat sobre a densidade e/ou diversidade de espécies (MANTYKA-PRINGLE et al., 2011). Tais considerações ressaltam ainda mais a potencial vulnerabilidade das espécies da porção nordeste da Mata Atlântica, *S. flavius* e *S. xanthosternos*, uma vez que dentro do bioma é a região nordeste que apresenta as condições climáticas de maior aquecimento e diminuição de chuvas (PBMC, 2013), bem como a menor quantidade de habitat, com fragmentos pequenos, mais isolados e com muita área próxima da borda (RIBEIRO et al., 2009).

Quanto às análises referentes às Unidades de Conservação, reforçando o padrão recorrente neste estudo, as perdas maiores atingem as espécies *S. flavius* e *S. xanthosternos*, indicando que mesmo as áreas protegidas por lei sofrerão redução de áreas potencialmente adequadas para estas espécies (72% e 35% respectivamente). A espécie *S. libidinosus* também sofrerá redução na ordem de aproximadamente 20% das suas áreas potencialmente adequadas. Já *S. nigritus* também apresenta contração, porém, menos severa (6%). *S. robustus* é a única espécie analisada, que apresenta ganhos de território potencial em todos os recortes. Para os *Sapajus* não amazônicos é importante destacar que as UCs-PI e RPPNs tanto no presente como no futuro representam uma proteção muito pequena para todas as espécies, com uma cobertura que sequer alcança 3% das áreas adequadas para as espécies. As áreas estáveis, adequadas no presente e no futuro, também apresentam este mesmo nível de proteção. A situação é mais grave para *S. flavius* que apresenta menos de 1% de suas áreas adequadas e florestadas no presente e no futuro protegidas em UCs-PI e RPPNs. Apesar do balanço demonstrar possíveis perdas e ganhos, cabe ressaltar a importância de criar novas UCs para proteger as áreas adequadas para as espécies de *Sapajus* e manter as existentes que contêm áreas estáveis, uma vez que já se encontram estabelecidas e passaram pelas primeiras etapas de estabelecimento e implementação.

Em relação às respostas das espécies às mudanças climáticas nos gradientes altitudinal e latitudinal, os resultados obtidos nesse estudo não corroboraram a hipótese 6, pois não foram identificadas as tendências gerais de que as áreas adequadas para as espécies migrarão predominantemente para altitudes e latitudes mais elevadas, padrões já relatados para outros grupos e outras regiões (CUNNINGHAM et al., 2016; DUAN et al., 2016; MOKHATLA et al., 2015).

Por fim, ressalta-se que, apesar das incertezas envolvidas, os resultados demonstraram que o impacto das mudanças climáticas é uma ameaça que não pode deixar de ser considerada em estratégias de conservação para as espécies do gênero *Sapajus* aqui analisadas. Esse panorama reforça a necessidade de ações de conservação voltadas para proteger áreas climaticamente adequadas para as espécies alvo, sobretudo para as espécies *S. flavius* e *S. xanthosternos*, da Mata Atlântica do nordeste. Estudos de modelagem de nicho ecológico/distribuição de espécies são importante ferramenta para guiar os esforços de conservação, incluindo a manutenção, a criação e a mudança dos limites de áreas de conservação ambiental. Espera-se que a informação gerada a partir desta abordagem, tais como os resultados obtidos no presente estudo, possam contribuir

para as estratégias de conservação das espécies estudadas, inclusive para o planejamento de ações de adaptação às mudanças climáticas.

## Referências bibliográficas

- ALFARO, J. W. L.; SILVA, J. DE S. E.; RYLANDS, A. B. How Different Are Robust and Gracile Capuchin Monkeys? An Argument for the Use of *Sapajus* and *Cebus*. **American Journal of Primatology**, v. 74, n. 4, p. 273–286, 2012.
- ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 6, p. 1223–1232, 12 set. 2006.
- ARAÚJO, M. B. et al. Climate change threatens European conservation areas. **Ecology Letters**, v. 14, n. 5, p. 484–492, 2011.
- ARAÚJO, M. B.; NEW, M. Ensemble forecasting of species distributions. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 22, n. 1, p. 42–47, 2007.
- BEALE, C. M. et al. Protected area networks and savannah bird biodiversity in the face of climate change and land degradation. **Ecology Letters**, v. 16, p. 1061–1068, 2013.
- BELLARD, C. et al. Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology Letters**, v. 15, n. 4, p. 365–377, 2012.
- BROWN, J. L. SDMtoolbox: A python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 5, n. 7, p. 694–700, 2014.
- BUISSON, L. et al. Uncertainty in ensemble forecasting of species distribution. **Global Change Biology**, v. 16, n. 4, p. 1145–1157, 2010.
- CERQUEIRA, R. **Determinacao de distribuicoes potenciais de especies** *Oecologia Brasiliensis*, 1995.
- CHEN, I. C. et al. Rapid range shift of species associated with high levels of climate warming. **Science**, v. 333, p. 1024–1026, 2011.
- CHOU, S.C; et al. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 438–454, 2014.
- CUNNINGHAM, H. R. et al. Abiotic and Biotic constraints across reptile and amphibian ranges. **Ecography**, v. 39, p. 1-8, 2016.
- DAWSON, T. P. Beyond predictions: Biodiversity conservation in a changing climate (vol 332,

- pg 53, 2011). **Science**, v. 332, n. 6030, p. 664, 2011.
- DINIZ-FILHO, J. A. F. et al. Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species turnover under climate change. **Ecography**, v. 32, n. 6, p. 897–906, 2009.
- DINIZ FILHO, J. A. F. et al. The three phases of the ensemble forecasting of niche models: geographic range and shifts in climatically suitable areas of *Utetheisa ornatix* (Lepidoptera, Arctiidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 54, n. 3, p. 339–349, 2010.
- DUAN, R. Y. et al. The potential effects of climate change on amphibian distribution, range fragmentation and turnover in China. **PeerJ**, 4:e2185, 2016.
- FODEN, W. B. et al. Identifying the World's Most Climate Change Vulnerable Species: A Systematic Trait-Based Assessment of all Birds, Amphibians and Corals. **PLoS ONE**, v. 8, n. 6, 2013.
- FRANKLIN, J. **Mapping Species: Spatial inference and prediction**. p. 340, 2010.
- GOREN-INBAR, N.; SHARON, G.; MELAMED, Y.; KISLEV, M. Nuts, nut cracking, and pitted stones at Gesher Benot Ya'aqov, Israel. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, p. 2455-2460, 2002.
- GOUVEIA, S. F. et al. Climate and land use changes will degrade the configuration of the landscape for titi monkeys in eastern Brazil. **Global Change Biology**, v. 22, p. 2003–2012, 2016.
- GRAHAM, T. L.; MATTHEWS, H. D.; TURNER, S. E. A global-scale evaluation of primate exposure and vulnerability to climate change. **Int. J. Primatol.**, v. 37, p. 158–174, 2016.
- GRENOUILLET, G. et al. Ensemble modelling of species distribution: The effects of geographical and environmental ranges. **Ecography**, v. 34, n. 1, p. 9–17, 2011.
- GUMERT, M.D.; KLUCK, M.; MALAIVIJITNOND, S. The physical characteristics and usage patterns of stone axe and pounding hammers used by long-tailed macaques in the Andaman Sea region of Thailand. **American Journal of Primatology**, v. 71, p. 594–608, 2009.
- HANNAH, L. **Climate Change Biology**. [s.l.: s.n.].
- HERSHKOVITZ, P. Mammals of northern Colombia. Preliminary report no. 4: Monkeys (Primates), with taxonomic revisions of some forms. **Proceedings of the United States National Museum**, v. 98, n. 3232, p. 323–427, 1949.
- HIJMANS, R. J. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 1965–1978, 2005.

- HOLE, D. G. et al. Projected impacts of climate change on a continent-wide protected area network. **Ecology Letters**, v. 12, n. 5, p. 420–431, 2009.
- HU, J.; HU, H.; JIANG, Z. The impacts of climate change on the wintering distribution of an endangered migratory bird. **Oecologia**, v. 164, n. 2, p. 555–565, 2010.
- HU, J.; JIANG, Z. Climate change hastens the conservation urgency of an endangered ungulate. **PLoS ONE**, v. 6, n. 8, 2011.
- IPCC. **Climate Change 2007 Synthesis Report**. [s.l: s.n.].
- IPCC. **Climate Change 2013 - The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- IUCN, S. AND P. S. **Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria**. [s.l: s.n.]. v. 1
- IZAR, P. et al. Flexible and conservative features of social systems in tufted capuchin monkeys: comparing the socioecology of *Sapajus libidinosus* and *Sapajus nigritus*. **American Journal of Primatology**, v. 74, n. 4, p. 315–331, abr. 2012.
- LAWLER, J. J. et al. Predicting climate-induced range shifts: Model differences and model reliability. **Global Change Biology**, v. 12, n. 8, p. 1568–1584, 2006.
- LEMES, P.; LOYOLA, R. D. Mudanças climáticas e prioridades para a conservação da biodiversidade - Climate change and priorities for biodiversity conservation. **Revista de Biologia Neotropical**, v. 11, n. 1, p. 47, 2015.
- LIMA, M. G. M. et al. Capuchin monkey biogeography: understanding *Sapajus* Pleistocene range expansion and the current sympatry between *Cebus* and *Sapajus*. **Journal of Biogeography**, v. 44, n. 4, p. 810–820, 2017.
- LIU, C.; WHITE, M.; NEWELL, G. Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. **Journal of Biogeography**, v. 40, n. 4, p. 778–789, 2013.
- LOYOLA, R. D. et al. Severe Loss of Suitable Climatic Conditions for Marsupial Species in Brazil: Challenges and Opportunities for Conservation. **PLoS ONE**, v. 7, n. 9, 2012.
- LYNCH ALFARO, J. W. et al. Explosive Pleistocene range expansion leads to widespread Amazonian sympatry between robust and gracile capuchin monkeys. **Journal of Biogeography**, v. 39, n. 2, p. 272–288, 2012.
- LYNCH ALFARO, J. W.; IZAR, P.; FERREIRA, R. G. Capuchin monkey research priorities and urgent issues. **American Journal of Primatology**, v. 76, n. 8, p. 705–720, 2014.
- MARMION, M. et al. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. **Diversity and Distributions**, v. 15, n. 1, p. 59–69, 2009.

- MCKENNEY, D. W. et al. Beyond Traditional Hardiness Zones: Using Climate Envelopes to Map Plant Range Limits. **BioScience**, v. 57, n. 11, p. 929, 2007.
- MEROW, C. et al. Advancing population ecology with integral projection models: A practical guide. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 5, n. 2, p. 99–110, 2014.
- MEYER, A. L. S., PIE, M. R., & PASSOS, F. C. Assessing the exposure of lion tamarins (*Leontopithecus* spp.) to future climate change. **American Journal of Primatology**, v. 76, p. 551–562, 2014.
- MOKHATLA, M. M., RÖDDER, D. & MEASEY, G. J. Assessing the effects of climate change on distributions of Cape Floristic Region amphibians. **South African Journal of Science**, v. 111, p. 1-7, 2015.
- MORITZ, C.; AGUDO, R. The future of species under climate change: Resilience or decline? **Science**, v. 341, n. 6145, p. 504–508, 2013.
- NAIMI, B. **Usdm: Uncertainty analysis for species distribution models**. [s.l.: s.n.]. v. 1
- NAIMI, B.; ARAÚJO, M. B. Sdm: A reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. **Ecography**, v. 39, n. 4, p. 368–375, 2016.
- OLIVEIRA, M. M.; LANGGUTH, A. Rediscovery of Marcgrave's capuchin monkey and designation of a neotype for *Símia Flavia* Schreber, 1774 (Primates, Cebidae). **Boletim do Museu Nacional, nova série**, Rio de Janeiro, v. 523, p. 1–16, 2006.
- OPDAM, P.; WASHER, D. Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. **Biological Conservation**, v. 117, p. 285-297, 2004.
- PACIFICI, M. et al. Assessing species vulnerability to climate change. **Nature Climate Change**, v. 5, p. 215–224, 2015.
- PARMESAN, C. Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 37, n. 1, p. 637–669, 2006.
- PEARSON, R. G. et al. Model-based uncertainty in species range prediction. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 10, p. 1704–1711, 2006.
- PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? **Global Ecology & Biogeography**, v. 12, p. 11, 2003.
- PETERSON, A. T. et al. **Niches and Geographic Distributions.pdf**, 2011.
- PHILLIPS, S. J.; DUDÍK, M. Modeling of species distribution with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography**, v. 31, n. December 2007, p. 161–175, 2008.

- PBMC. **Contribuição do Grupo e Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1.** PBMC, Rio de Janeiro, 2013, 24p.
- POO-MUÑOZ D.A. et al. Galictis cuja (Mammalia): An update of current knowledge and geographic distribution. **Iheringia, Série Zoológica**, v. 104, p. 341-346, 2014.
- POULOS, H. M. et al. Ensemble forecasting of potential habitat for three invasive fishes. **Aquatic Invasions**, v. 7, n. 1, p. 59–72, 2012.
- POUNDS, J. A. et al. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. **Nature**, v. 439, n. 7073, p. 161–167, 2006.
- PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 2 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil.** Disponível em < <http://mapbiomas.org/> >. Acessado em dezembro de 2017.
- PYKE, C. R. Habitat loss confounds climate change impacts. **Frontiers in Ecology and Environment**, v. 2, p. 178-182, 2004.
- RAMIREZ-VILLEGAS, J. et al. Using species distributions models for designing conservation strategies of Tropical Andean biodiversity under climate change. **Journal for Nature Conservation**, v. 22, n. 5, p. 391–404, 2014.
- RANGEL, T. F. & LOYOLA, R. D. Labeling Ecological Niche Models. **Natureza & Conservação**, v. 10, n. 2, p. 119–126, 2012.
- REIS, N. R. et al. Mamíferos do Brasil. **Mamíferos do Brasil**, v. 31, n. 4, p. 231–276, 2006.
- SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 9, p. 2–7, 2007.
- SCHAEFER, H. et al. Ice stratigraphy at the Pâkitsoq ice margin, West Greenland, derived from gas records. **Journal of Glaciology**, v. 55, n. 191, p. 411–421, 2009.
- SCHLOSS, C. A.; NUNEZ, T. A.; LAWLER, J. J. Dispersal will limit ability of mammals to track climate change in the Western Hemisphere. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 22, p. 8606–8611, 2012.
- SEDDON, A. W. et al. Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. **Nature**, v. 531, p. 229-232, 2016.
- SOUZA, T. V. et al. Redistribution of threatened and endemic atlantic forest birds under climate change. **Natureza a Conservacao**, v. 9, n. 2, p. 214–218, 2011.
- THOMAS, C. D. et al. Extinction risk from climate change. **Nature**, v. 427, n. 6970, p. 145–8, 2004.
- THUILLER, W. Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change.

- Global Change Biology**, v. 10, n. 12, p. 2020–2027, 2004.
- UNESCO & IBECC. **Mudanças Climáticas e Mudanças Socioambientais Globais : Mudanças Climáticas e Mudanças Socioambientais Globais** : [s.l: s.n.].
- VALE, M. M.; ALVES, M. A. S.; LORINI, M. L. Mudanças climáticas: desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade brasileira. **Oecologia brasiliensis**, v. 13, n. 3, p. 518–535, 2009.
- VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Mudanças Na Circulação Atmosférica Sobre a América Do Sul Para Cenários Futuros De Clima Projetados Pelos Modelos Globais Do Ippc Ar4. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 1, p. 125–145, 2010.
- VAN VUUREN, D. P. et al. The representative concentration pathways: An overview. **Climatic Change**, v. 109, n. 1, p. 5–31, 2011.
- WARREN, R. et al. Quantifying the benefit of early climate change mitigation in avoiding biodiversity loss. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 7, p. 678–682, 2013.
- WRIGHT, P. C. Climate Change and its impact on primates: A case study from Madagascar. **American Journal of Primatology**, v. 7 (Suppl.): p. 20-69, 2008.

## Apêndices

**Apêndice 1:** Perfis ambientais gerados para as espécies de *Sapajus*, em destaque as variáveis selecionadas para a modelagem

### *Sapajus apella*

	<b>MÁX</b>	<b>MÍN</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>DESVPAD</b>
<b>Altitude</b>	2095	4	150	312
<b>Temperatura anual média</b>	27,3	17,4	25,95	1,556993
<b>Varição da média diurna</b>	15	6,8	9,7	1,544765
<b>Isotermalidade</b>	8,9	6,2	7,8	0,533164
<b>Sazonalidade de temperatura</b>	217	28,1	58,2	31,72972
<b>Temperatura máxima do mês mais quente</b>	36,2	24,5	32,7	1,524233
<b>Temperatura mínima do mês mais frio</b>	22,6	6,9	20,1	3,02157
<b>Varição da temperatura anual</b>	22,2	8,6	12,1	2,896475
<b>Temperatura média do trimestre mais úmido</b>	26,9	18,2	25,8	1,279749
<b>Temperatura média do trimestre mais seco</b>	28,2	15,7	26,25	2,280858
<b>Temperatura média do trimestre mais quente</b>	28,2	18,5	26,7	1,461611
<b>Temperatura média do trimestre mais frio</b>	26,9	15,7	25,25	1,936387
<b>Precipitação anual</b>	3536	1292	2145,5	368,4681
<b>Precipitação do mês mais úmido</b>	554	216	335	54,73651
<b>Precipitação do mês mais seco</b>	137	7	47,5	28,22569
<b>Sazonalidade de precipitação</b>	86	31	57	10,46324
<b>Precipitação do trimestre mais úmido</b>	1471	600	920	137,7335
<b>Precipitação do trimestre mais seco</b>	450	32	174	87,53062
<b>Precipitação do trimestre mais quente</b>	1298	95	277,5	216,8385
<b>Precipitação do trimestre mais frio</b>	1261	85	709,5	327,9227

**Sapajus cay**

	<b>MÁX</b>	<b>MÍN</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>DESVPAD</b>
<b>Altitude</b>	1093	59	312	228
<b>Temperatura anual média</b>	26	17,5	23	1,66071
<b>Varição da média diurna</b>	13,7	10,8	11,7	0,670871
<b>Isotermalidade</b>	7	4,9	6,15	0,598698
<b>Sazonalidade de temperatura</b>	409,7	155,3	246,9	71,86873
<b>Temperatura máxima do mês mais quente</b>	35,3	28,2	32,2	1,238746
<b>Temperatura mínima do mês mais frio</b>	16,5	4	12,6	2,559564
<b>Varição da temperatura anual</b>	24,5	15,9	19,25	2,281292
<b>Temperatura média do trimestre mais úmido</b>	27,8	20	25,15	1,647679
<b>Temperatura média do trimestre mais seco</b>	23,2	14	20	2,277295
<b>Temperatura média do trimestre mais quente</b>	28	21,6	26,2	1,190236
<b>Temperatura média do trimestre mais frio</b>	22,9	12,4	19,6	2,316558
<b>Precipitação anual</b>	1763	583	1384,5	247,8342
<b>Precipitação do mês mais úmido</b>	265	98	187	31,77536
<b>Precipitação do mês mais seco</b>	99	3	35	23,16958
<b>Sazonalidade de precipitação</b>	97	21	41,5	18,20895
<b>Precipitação do trimestre mais úmido</b>	720	273	506	76,8713
<b>Precipitação do trimestre mais seco</b>	328	19	146,5	76,85486
<b>Precipitação do trimestre mais quente</b>	641	273	468,5	77,39795
<b>Precipitação do trimestre mais frio</b>	333	19	182,5	80,84297

**Sapajus flavius**

	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>DESVPAD</b>
<b>Altitude</b>	482	6	75	98
<b>Temperatura anual média</b>	26	23,1	25,3	0,651425
<b>Varição da média diurna</b>	9,7	6,5	8,6	0,705715
<b>Isotermalidade</b>	7,6	6,6	7,1	0,228719
<b>Sazonalidade de temperatura</b>	136	94,2	114,2	9,578435
<b>Temperatura máxima do mês mais quente</b>	31,8	29,5	30,9	0,606063
<b>Temperatura mínima do mês mais frio</b>	20,4	17	19,2	0,679814
<b>Varição da temperatura anual</b>	13	9,3	12	0,755182
<b>Temperatura média do trimestre mais úmido</b>	25,6	21,5	24,8	0,93437
<b>Temperatura média do trimestre mais seco</b>	26,6	23,7	25,8	0,631802
<b>Temperatura média do trimestre mais quente</b>	27,1	24,5	26,3	0,596939
<b>Temperatura média do trimestre mais frio</b>	24,2	21,1	23,5	0,706554
<b>Precipitação anual</b>	2054	1067	1495	224,598
<b>Precipitação do mês mais úmido</b>	333	175	241	37,78217
<b>Precipitação do mês mais seco</b>	47	22	29	6,369975
<b>Sazonalidade de precipitação</b>	65	58	62	2,244111
<b>Precipitação do trimestre mais úmido</b>	912	463	671	104,0098
<b>Precipitação do trimestre mais seco</b>	150	80	98	19,26588
<b>Precipitação do trimestre mais quente</b>	487	186	343	67,46372
<b>Precipitação do trimestre mais frio</b>	765	414	548	88,90764

*Sapajus libidinosus*

	MÁX	MÍN	MÉDIA	DESVPAD
Altitude	1126	2	526	289
Temperatura anual média	27,4	19,6	24,44	1,794927
Varição da média diurna	15,3	9,1	11,67667	1,307782
Isotermalidade	8,2	6,4	7,07	0,385016
Sazonalidade de temperatura	185,4	41	107,2217	36,18737
Temperatura máxima do mês mais quente	35,2	26	32,14833	2,149852
Temperatura mínima do mês mais frio	22	11,3	15,70333	2,585223
Varição da temperatura anual	22,2	11,2	16,445	1,986943
Temperatura média do trimestre mais úmido	27,7	20,7	24,82167	1,561843
Temperatura média do trimestre mais seco	28	18,1	23,48167	2,26824
Temperatura média do trimestre mais quente	28,2	20,7	25,49667	1,755859
Temperatura média do trimestre mais frio	26,8	17,4	22,85	2,202733
Precipitação anual	1995	619	1361,733	335,5709
Precipitação do mês mais úmido	357	146	256,3	55,02274
Precipitação do mês mais seco	26	0	6,2	5,329165
Sazonalidade de precipitação	114	58	81,7	10,90374
Precipitação do trimestre mais úmido	1005	368	695,7	156,5818
Precipitação do trimestre mais seco	88	1	26,2	18,73436
Precipitação do trimestre mais quente	826	13	302,6833	199,3561
Precipitação do trimestre mais frio	909	1	128,9167	207,999

*Sapajus macrocephalus*

	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DESVPAD
Altitude	2487	16	342,2696	519,7196
Temperatura anual média	27,8	13,7	26,1	2,506805
Varição da média diurna	14,8	8,4	9,8	1,179964
Isotermalidade	9,2	6,6	8,2	0,576414
Sazonalidade de temperatura	115,2	21	47	21,27209
Temperatura máxima do mês mais quente	35,2	19,2	32,2	2,61301
Temperatura mínima do mês mais frio	22,7	8,3	20,3	3,01832
Varição da temperatura anual	18,7	10	11,9	1,751185
Temperatura média do trimestre mais úmido	27	13,6	26	2,435382
Temperatura média do trimestre mais seco	29,4	13,4	25,9	2,754215
Temperatura média do trimestre mais quente	29,4	14	26,6	2,577313
Temperatura média do trimestre mais frio	26,9	13,4	25,3	2,483849
Precipitação anual	4805	963	2590	633,5093
Precipitação do mês mais úmido	755	131	319	92,31366
Precipitação do mês mais seco	228	5	89	57,69707
Sazonalidade de precipitação	68	8	36	14,44363
Precipitação do trimestre mais úmido	1995	349	899	257,1225
Precipitação do trimestre mais seco	713	49	340	167,3624
Precipitação do trimestre mais quente	1399	120	519	217,9992

*Sapajus nigrurus*

	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DESVPAD
Altitude	1662	3	516	324
Temperatura anual média	24,6	13,4	20,5	2,165439
Varição da média diurna	13,9	7,2	11,9	1,555806
Isotermalidade	6,8	4,5	6,2	0,490888
Sazonalidade de temperatura	369,2	129,5	236,5	51,45365
Temperatura máxima do mês mais quente	32,7	21,2	29,4	2,18061
Temperatura mínima do mês mais frio	18,3	2,3	10,2	2,753311
Varição da temperatura anual	24,1	13,3	18,7	2,155019
Temperatura média do trimestre mais úmido	26,2	14,4	22,9	2,332042
Temperatura média do trimestre mais seco	23	10,7	17,5	2,410941
Temperatura média do trimestre mais quente	26,9	15,6	23,5	2,055356
Temperatura média do trimestre mais frio	22,6	10,7	17,1	2,440427
Precipitação anual	3031	990	1385	323,7401
Precipitação do mês mais úmido	367	137	212	45,92386
Precipitação do mês mais seco	140	9	36	33,85109
Sazonalidade de precipitação	84	8	52	20,51222
Precipitação do trimestre mais úmido	1077	393	589	132,6048
Precipitação do trimestre mais seco	490	35	137	111,7421
Precipitação do trimestre mais quente	1077	280	531	140,5472
Precipitação do trimestre mais frio	540	35	152	116,5937

*Sapajus robustus*

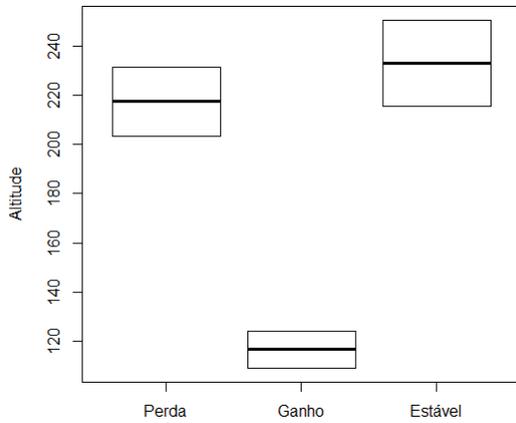
	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DESVPAD
Altitude	882	3	241	233
Temperatura anual média	24,8	20,8	24,05	0,978956
Varição da média diurna	13,6	7,3	9,8	1,653072
Isotermalidade	7	6,1	6,6	0,200121
Sazonalidade de temperatura	195,4	120,7	152,05	15,74291
Temperatura máxima do mês mais quente	33,2	28	31	0,992434
Temperatura mínima do mês mais frio	18,6	11,3	16,65	2,012571
Varição da temperatura anual	19,5	11,1	14,6	2,24435
Temperatura média do trimestre mais úmido	26,3	22,2	25	1,019424
Temperatura média do trimestre mais seco	26,2	18,4	22	1,711489
Temperatura média do trimestre mais quente	26,9	22,7	25,9	0,973304
Temperatura média do trimestre mais frio	22,6	18,2	21,9	1,129087
Precipitação anual	1610	793	1149	170,9974
Precipitação do mês mais úmido	264	126	174,5	29,0938
Precipitação do mês mais seco	107	4	40	23,75123
Sazonalidade de precipitação	92	16	46,5	22,32701
Precipitação do trimestre mais úmido	697	327	476	84,07156
Precipitação do trimestre mais seco	342	16	139,5	84,53488
Precipitação do trimestre mais quente	477	189	339	53,85059
Precipitação do trimestre mais frio	431	18	141	100,3649

*Sapajus xanthosternos*

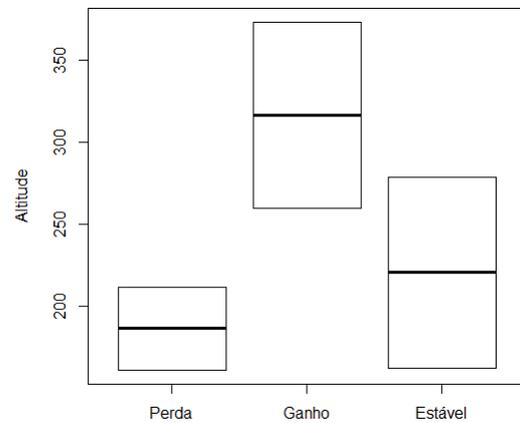
	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>DESVPAD</b>
<b>Altitude</b>	1104	5	283	266
<b>Temperatura anual média</b>	25,4	20,6	23,7	1,106625
<b>Varição da média diurna</b>	13,7	6,3	7,8	1,921686
<b>Isotermalidade</b>	7,6	6,1	6,5	0,323258
<b>Sazonalidade de temperatura</b>	186,9	94,1	129,9	20,73614
<b>Temperatura máxima do mês mais quente</b>	33,1	26,7	29,6	1,383916
<b>Temperatura mínima do mês mais frio</b>	20,6	11,8	17,6	1,884554
<b>Varição da temperatura anual</b>	18,8	9,6	11,8	2,381127
<b>Temperatura média do trimestre mais úmido</b>	26,2	21,1	24,2	1,190158
<b>Temperatura média do trimestre mais seco</b>	26,3	19,3	22,65	1,781065
<b>Temperatura média do trimestre mais quente</b>	26,7	21,8	25,2	1,147246
<b>Temperatura média do trimestre mais frio</b>	23,8	18,6	21,9	1,159009
<b>Precipitação anual</b>	2327	586	1241,5	400,3251
<b>Precipitação do mês mais úmido</b>	311	94	159,5	52,05413
<b>Precipitação do mês mais seco</b>	136	1	50,5	34,99187
<b>Sazonalidade de precipitação</b>	96	10	40,5	23,35406
<b>Precipitação do trimestre mais úmido</b>	779	236	423,5	132,059
<b>Precipitação do trimestre mais seco</b>	448	3	171,5	112,869
<b>Precipitação do trimestre mais quente</b>	591	187	279,5	88,10501
<b>Precipitação do trimestre mais frio</b>	615	3	311,5	183,0338

**Apêndice 2:** Box plots com valores de cada parâmetro analisado (altitude, latitude, longitude), para as diferentes áreas computadas (perdas, ganhos e áreas estáveis) de cada espécie de *Sapajus*.

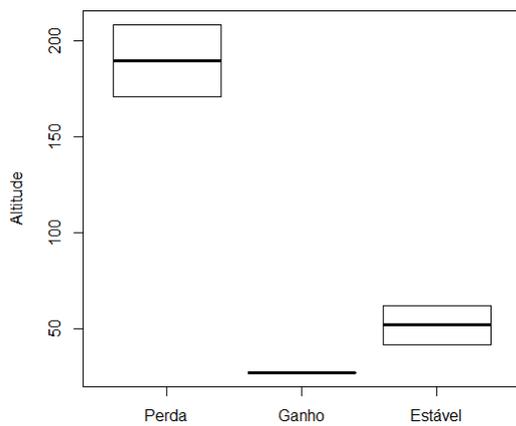
### Altitude



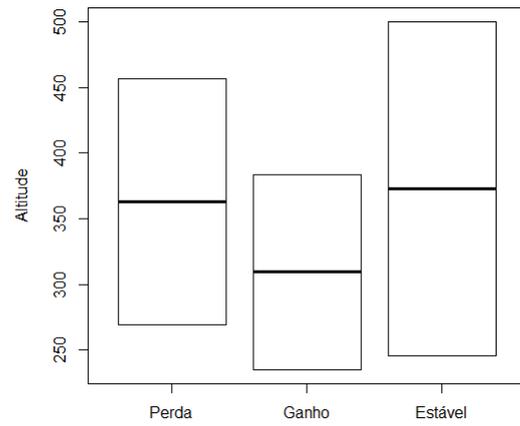
2.1: Altitude *S. apella*.



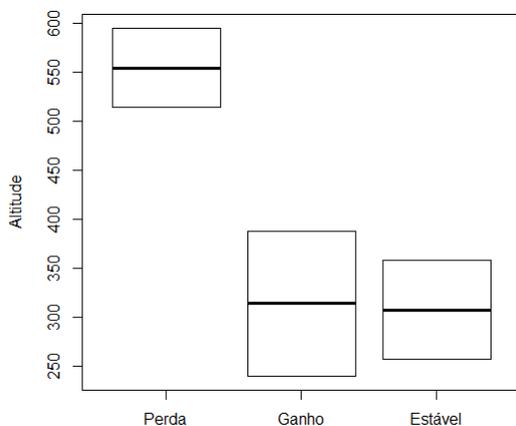
2. 2: Altitude *S. cay*.



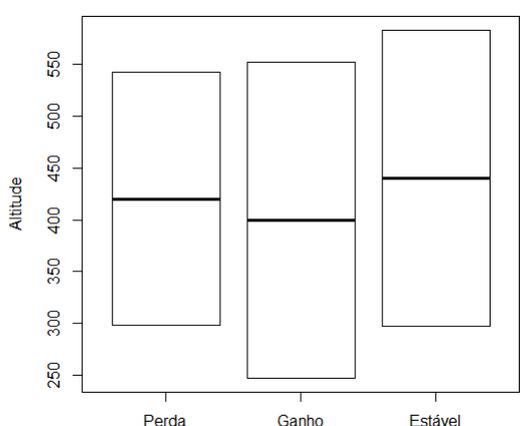
2. 3: Altitude *S. flavius*.



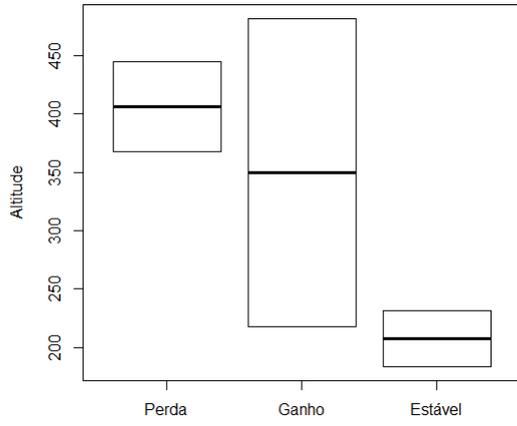
2. 4: Altitude *S. libidinosus*.



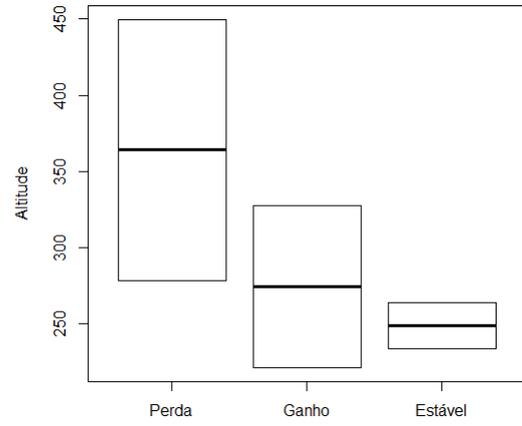
2. 5: Altitude *S. macrocephalus*.



2. 6: Altitude *S. nigrinus*.

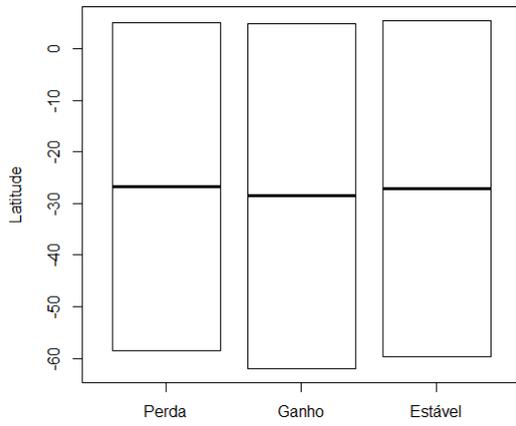


2. 7: Altitude *S. robustus*.

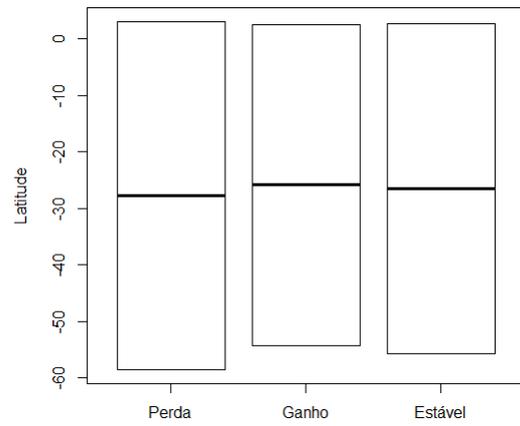


2. 8: Altitude *S. xanthosternos*.

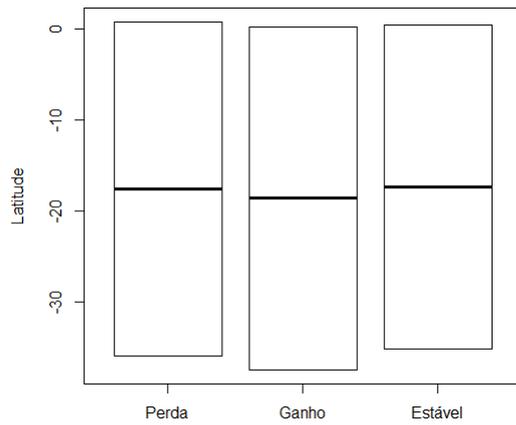
## Latitude



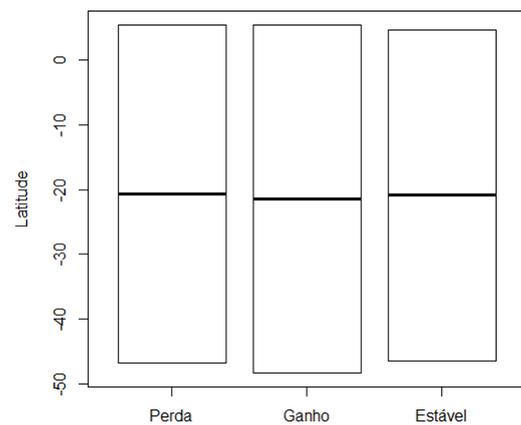
2. 9: Latitude *S. apella*.



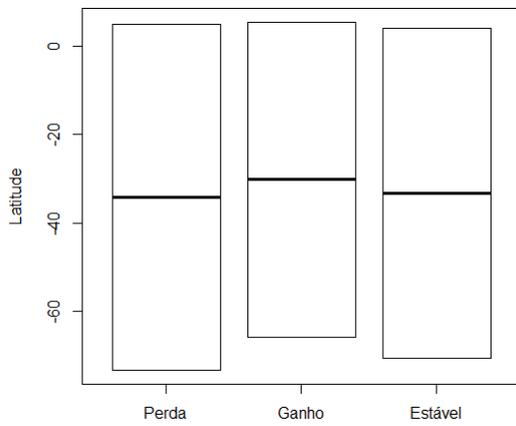
2. 10: Latitude *S. cay*.



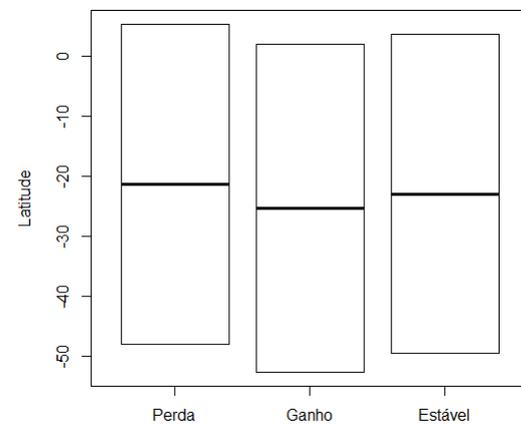
2. 11: Latitude *S. flavius*



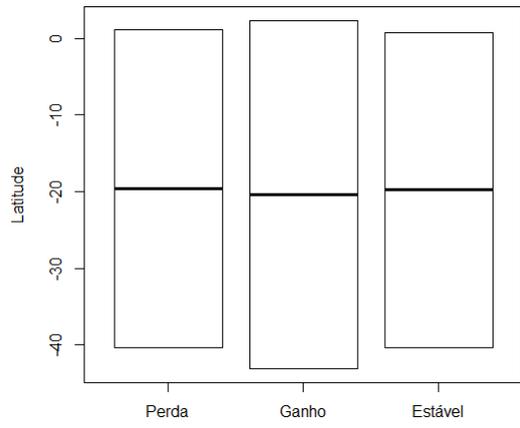
2. 12: Latitude *S. libidinosus*.



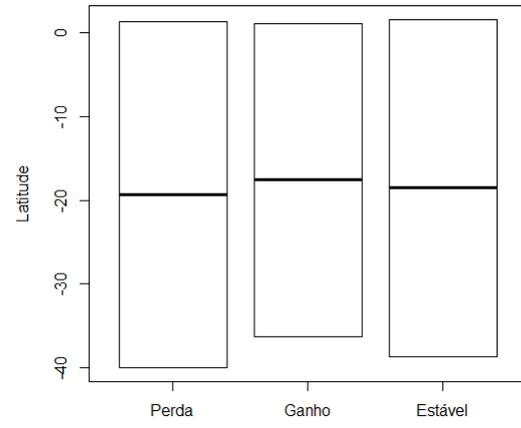
2. 13: Latitude *S. macrocephalus*.



2. 14: Latitude *S. nigritus*.

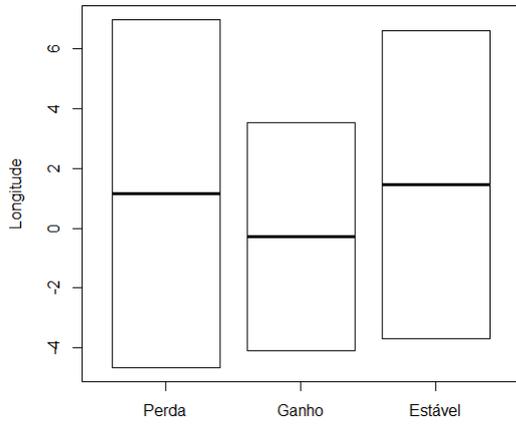


2. 15: Latitude *S. robustus*.

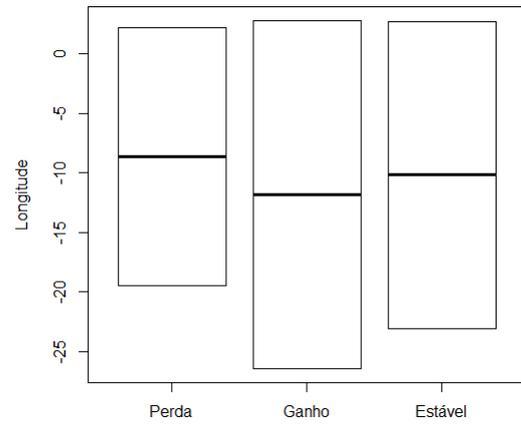


2. 16: Latitude *S. xanthosternos*.

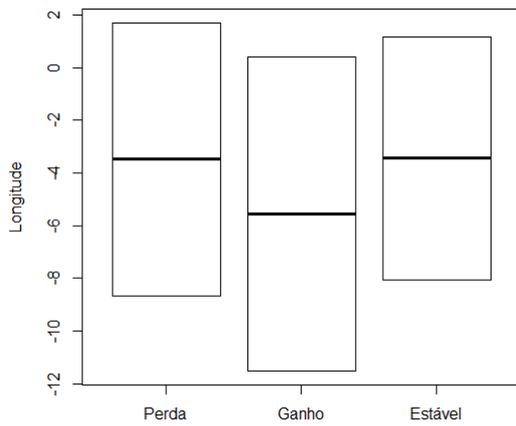
## Longitude



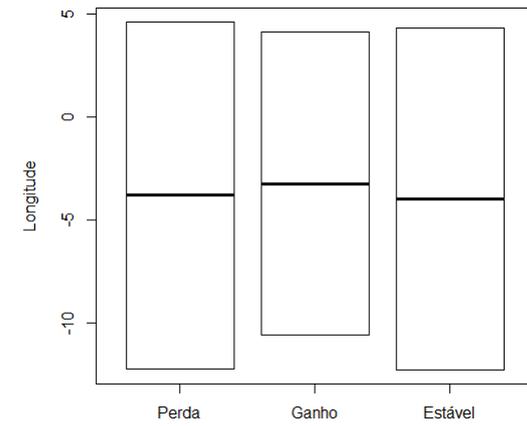
2. 17: Longitude *S. apella*.



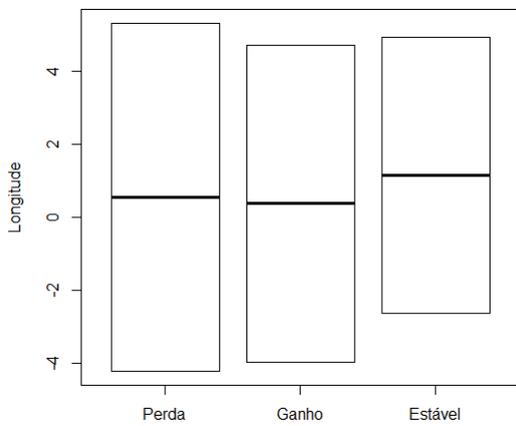
2. 18: Longitude *S. cay*.



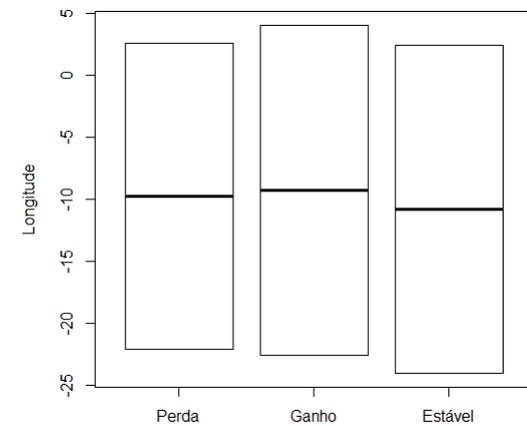
2. 19: Longitude *S. flavius*.



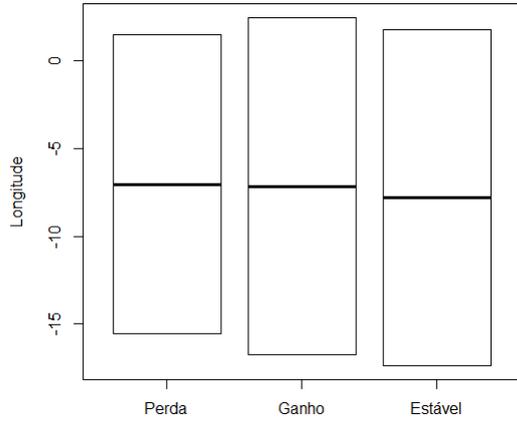
2. 20: Longitude *S. libidinosus*.



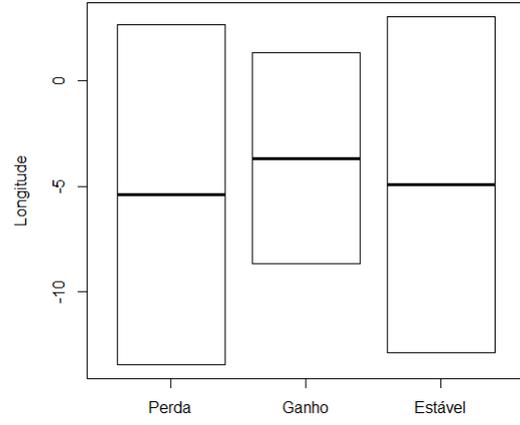
2. 21: Longitude *S. macrocephalus*.



2. 22: Longitude *S. nigritus*.



2. 23: Longitude *S. robustus*.



2. 24: Longitude *S. xanthosternos*.