

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

Caroline Almeida do Vale

Conservação de primatas do gênero *Callithrix* (Erxleben, 1777): impacto das mudanças climáticas e das arboviroses

Juiz de Fora

2020

Caroline Almeida do Vale

Conservação de primatas do gênero *Callithrix* (Erxleben, 1777): impacto das mudanças climáticas e das arboviroses

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor em Biodiversidade e Conservação da Natureza.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Prezoto

Juiz de Fora

2020

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Vale, Caroline Almeida do.

Conservação de primatas do gênero *Callithrix* (Erxleben, 1777) : impacto das mudanças climáticas e das arboviroses / Caroline Almeida do Vale. -- 2020.

72 f.

Orientador: Fábio Prezoto

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, 2020.

1. Alterações climáticas. 2. Epizootias. 3. Febre amarela. 4. Modelagem de Distribuição de Espécie. 5. Saguis. I. Prezoto, Fábio, orient. II. Título.

Caroline Almeida do Vale

Conservação de primatas do gênero *Callithrix* (Erxleben, 1777): impacto das mudanças climáticas e das arboviroses

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor em Biodiversidade e Conservação da Natureza.

Aprovada em 14 de fevereiro de 2020

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Fábio Prezoto - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof.^a Dra. Aline Cristina Sant'Anna
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Bruno Corrêa Barbosa
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dra. Cecília Kosmann
Gerente do Depto. de Vigilância Epidemiológica e Ambiental PMJF

Prof.^a Dra. Maria Clara Nascimento Costa
Universidade Federal de Minas Gerais

“Dedico a todas as pessoas que através da
Ciência fazem do mundo um lugar melhor”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e à Nossa Senhora do Rosário e das Graças, por terem me dado forças, proteção e discernimento, que me permitiram chegar até esse momento;

Ao meu marido Mishell, pelo amor, apoio e carinho durante todos esses anos da minha jornada acadêmica;

Aos meus filhos Miguel e Rafael, por fazerem parte da minha vida tornando-a mais feliz, por todo o carinho e amor;

Aos Meus Pais e a minha irmã Camile por todo o apoio e amor desde a minha infância, ajuda e incentivo durante a minha vida adulta;

Ao Dr. Fábio Prezoto por ter sido o melhor orientador que eu poderia ter durante todos esses anos da minha jornada acadêmica, por sempre ter acreditado em mim e confiado nos meus projetos e ideias; meu muito obrigada por tudo;

À Samyra e à Laura pela amizade dos últimos dez anos. À Samy em especial por ter compartilhado comigo a vida o universo e tudo e mais, a ela e ao Luiz por terem me acolhido em sua casa sempre que precisei;

A todos os colegas do LABEC pela amizade;

Aos professores do Doutorado pelas disciplinas que nos ensinaram a serem melhores profissionais e pesquisadores;

À Universidade pela bolsa de doutorado, por ter feito parte da minha vida durante os últimos dez anos e se tornado uma parte de mim.

Obrigada!

“Só quando nosso cérebro inteligente e nosso coração humano trabalham juntos é que nós podemos atingir todo nosso potencial” (Jane Goodall)

RESUMO

Primatas estão entre os animais que mais serão afetados pelas mudanças climáticas. Os macacos do gênero *Callithrix*, ocorrem em três biomas brasileiros, algumas espécies possuem ocorrência restrita e dependência de um conjunto de variáveis climático/ambientais que só existem em áreas específicas. Este estudo teve como objetivo principal discutir a conservação dos primatas do gênero *Callithrix*, e o impacto das mudanças e das arboviroses. A tese está formatada em dois capítulos, que possuem como intuito ampliar e auxiliar a discussão dessa temática. O primeiro capítulo teve como objetivo utilizar a modelagem de distribuição potencial para identificar como as mudanças climáticas afetarão as áreas de ocupação dessas espécies no futuro, e identificar áreas onde existem necessidade de criação de unidades de conservação. As espécies que apresentaram maior perda de áreas de adequabilidade foram *C. flaviceps* e *C. kuhlii*, seguidos por *C. aurita*, *C. geoffroyi* e *C. jacchus*. Os valores da AUC foram entre 0,951 e 0,997, com média de 0,974. No cenário futuro, irão ocorrer mudanças na faixa e nos padrões de distribuição das espécies do gênero *Callithrix*, sendo que *C. flaviceps* e *C. kuhlii* serão as mais afetadas. A espécie *C. penicillata* foi a que menos sofreu com a perda de áreas de adequabilidade, apesar de ser ligeiramente mais deslocada no futuro em direção à Floresta Atlântica. As áreas de preservação ainda, são poucas e, provavelmente, não serão suficientes para manter as populações dessas espécies a longo prazo. O capítulo dois, teve como objetivo abordar as arboviroses e as mudanças climáticas através de um estudo de caso do surto de febre amarela que ocorreu em Juiz de Fora, MG, entre 2017 e 2018. Nele descrevemos as epizootias relatadas ao Sistema de Vigilância de Epizootias em PNH (Primatas não humanos) em Minas Gerais e Juiz de Fora, entre janeiro de 2017 e dezembro de 2018, e trazemos dados atualizados sobre os números de casos humanos da febre amarela, mortalidade de primatas e cobertura vacinal do município de Juiz de Fora e em Minas Gerais. Juiz de Fora viveu o maior surto, que se tem registro, para febre amarela entre 2017/2018, e teve o maior número de casos humanos em todo o estado. O sistema de vigilância em PNH, permitiu uma rápida resposta do sistema de saúde em Juiz de Fora, evitando mais mortes humanas e

diminuindo a expansão da doença. Não se sabe ainda as consequências para as populações de PNH (primatas não humanos) atingidas por essa epidemia de febre amarela. Porém, sabe-se que nos próximos anos se as mudanças climáticas previstas se concretizarem, o risco de reurbanização da febre amarela pode ser ainda maior, por isso ações que visem o combate do vetor *Aedes aegypti* devem ser contínuas.

Palavras- chave: Alterações climáticas. Epizootias. Febre amarela. Modelagem de Distribuição de Espécie. Saguís

ABSTRACT

Primates are among the animals that will be most affected by climate change. Marmoset of the genus *Callithrix*, occur in three Brazilian biomes, some species have restricted occurrence and dependence on a set of climatic / environmental variables that only exist in specific areas. This study aimed to discuss the conservation of primates of the *Callithrix* genus, and the impact of changes and arboviruses. The thesis is formatted in two chapters, which aim to expand and assist the discussion of the theme. The first chapter aimed to use the model of potential distribution to identify how climate change will affect the areas of occupation of these species in the future and to identify areas where there is a need to create conservation units. The species that showed the greatest loss of suitability areas were *C. flaviceps* and *C. kuhlii*, followed by *C. aurita*, *C. geoffroyi*, *C. jacchus*. The AUC values were between 0.951 and 0.997, with an average of 0.974. In the future scenario, changes in the range and distribution patterns of species of the genus *Callithrix* will occur, with *C. flaviceps* and *C. kuhlii* being the most affected. The species *C. penicillata* was the one that suffered the least with the loss of areas of suitability, although it is slightly more detached in the future towards the Atlantic Forest. Preservation areas are still few and probably will not be enough to maintain populations of these species in the long term. Chapter two aimed to address arboviruses and climate change through a case study of the yellow fever outbreak that occurred in Juiz de Fora, MG between 2017 and 2018, in which we describe the epizooties, reported to the Epizootics Surveillance System of the NHP in Minas Gerais and Juiz de Fora, between January 2017 and December 2018, and we bring updated data on the numbers of human cases of yellow fever, primate mortality and information on vaccination coverage in the municipality of Juiz de Fora and in Minas Gerais. Juiz de Fora experienced the worst outbreak for yellow fever between 2017/2018 and had the highest number of human cases across the state. The NHP surveillance system allowed a quick response from the health system in Juiz de Fora, avoiding further human deaths and reducing the spread of the disease. The consequences for NHP populations affected by this yellow fever epidemic are not yet known. However, it is known that in the coming years if the predicted climate changes materialize, the risk of

yellow fever reurbanization may be even greater, so actions aimed at combating the vector *Aedes aegypti* must be continuous.

Keywords: Climate change. Epizootics. Marmosets. Species Distribution Modeling. Yellow fever.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 1- Análise da influência das mudanças climáticas na distribuição dos primatas do gênero *Callithrix*

Figura 1 - Espécies do gênero *Callithrix* A) *C. penicillata*, B) *C. jacchus*, C) *C. geoffroyi*, D) *C. kuhlii*, E) *C. aurita* e F) *C. flaviceps*.....33

Figura 2 - Distribuição geográfica nativa das espécies do gênero *Callithrix* nos biomas da Caatinga, Cerrado e Floresta Atlântica, de acordo com a União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN, 2019).....36

Figura 3 - O padrão da distribuição encontrado para *C. flaviceps* nos modelos no cenário atual, no cenário otimista (2050 Rcp 2.6) e no cenário pessimista (2070 Rcp 8.5). Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência.....38

Figura 4 - O padrão da distribuição encontrado para *C. kuhlii* nos modelos no cenário atual, no cenário otimista (2050 Rcp 2.6) e no cenário pessimista (2070 Rcp 8.5). Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência.....39

Figura 5 - O padrão da distribuição encontrado para *C. aurita* nos modelos no cenário atual, no cenário otimista (2050 Rcp 2.6) e no cenário pessimista (2070 Rcp 8.5). Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência.....39

Figura 6 - O padrão da distribuição encontrado para *C. geoffroyi* nos modelos no cenário atual, no cenário otimista (2050 Rcp 2.6) e no cenário pessimista (2070 Rcp 8.5). Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência.....39

Figura 7- O padrão da distribuição encontrado para *C. jacchus* nos modelos no cenário atual, no cenário otimista (2050 Rcp 2.6) e no cenário pessimista (2070 Rcp 8.5). Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência.....40

Figura 8 - O padrão da distribuição encontrado para *C. penicillata* nos modelos no cenário atual, no cenário otimista (2050 Rcp 2.6) e no cenário pessimista (2070 Rcp 8.5). No cenário pessimista as setas sinalizam o deslocamento das áreas ao longo do tempo. Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência.....40

Figura 9 - Mapa com a distribuição das Unidades de Conservação Brasileiras (federais, estaduais e municipais), áreas em verde. Distribuição de *C. KuhlII* área em azul, distribuição de *C. flaviceps* área em vermelho.....45

Anexo I

Figura 1 - O padrão da distribuição encontrado para *C. flaviceps* nos modelos no cenário 2050 Rcp 8.5 e no cenário 2070 Rcp 2.6. Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência.....52

Figura 2 - O padrão da distribuição encontrado para *C. kuhlii* nos modelos no cenário 2050 Rcp 8.5 e no cenário 2070 Rcp 2.6. Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência.....52

Figura 3 - O padrão da distribuição encontrado para *C. aurita* nos modelos no cenário 2050 Rcp 8.5 e no cenário 2070 Rcp 2.6. Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência.....53

Figura 4 - O padrão da distribuição encontrado para *C. geoffroyi* nos modelos no cenário 2050 Rcp 8.5 e no cenário 2070 Rcp 2.6. Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência.....53

Figura 5 - O padrão da distribuição encontrado para *C. jacchus* nos modelos no cenário 2050 Rcp 8.5 e no cenário 2070 Rcp 2.6. Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência.....54

Figura 6 - O padrão da distribuição encontrado para *C. penicillata* nos modelos no cenário 2050 Rcp 8.5 e no cenário 2070 Rcp 2.6. No cenário pessimista as setas sinalizam o deslocamento das áreas ao longo do tempo. Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência.....54

Capítulo 2 - Epizootias em primatas não humanos durante o surto de febre amarela em Juiz de Fora -MG

Figura 1 - Mapa do município de Juiz de Fora, e sua localização dentro do município de Minas Gerais.....57

Figura 2 - Primatas encontrados mortos em Juiz de Fora - MG durante a última reemergência de Febre Amarela na região Sudeste do Brasil. A) Sagui (*Callithrix penicillata*), encontrado morto na Praça Jarbas de Lery em Juiz de Fora-MG em 2017. B) Sagui (*Callithrix penicillata*), encontrado morto no bairro Granjas Triunfo em Juiz de Fora- MG em 2018.....59

Figura 3 - Casos de epizootias em PNH registrados em Juiz de Fora durante os anos de 2017 e 2018.....60

Figura 4 - Espécies de primatas que ocorrem no município de Juiz de Fora- MG. A) *Alouatta guariba* B) *Callithrix penicillata*, registrado no parque da Lajinha em Juiz de Fora C) *Sapajus nigritus* registrado em Monte Verde, Juiz de Fora D) *Callicebus nigrifrons*.....62

Figura 5 - Notificações de febre amarela em Juiz de Fora para PNH (azul) e Humanos (Laranja) por semana epidemiológica nos anos de 2017 e 2018 no município de Juiz de Fora Minas, Gerais.....65

Figura 6 - PNH, da espécie *Callithrix penicillata*, registrados em área urbana no município de Juiz de Fora, Minas Gerais.66

Figura 7 - Mapa do município de Juiz Fora, dividido por regiões. Onde pontos em amarelo representam epizootias em PNH notificadas em área urbana e os pontos em vermelho os bairros onde os LIRAA realizados em 2017 e 2018 apresentaram o maior número de focos do *Aedes aegypti*.....67

Anexo II

Figura 1- Ficha de notificação/ investigação de epizootia..... 73

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1 - Análise da influência das mudanças climáticas na distribuição dos primatas do gênero *Callithrix*

Tabela1: Valores de AUC para os modelos de distribuição atual, futura 2050 rcp 2.6, 2050 rcp 8.5, 2070 rcp 2.6, 2070 rcp 8.5.....41

Tabela 2: Valores da taxa de omissão e proporção binominal, para os modelos de distribuição atual, futura 2050 rcp 2.6, 2050 rcp 8.5, 2070 rcp 2.6, 2070 rcp 8.5.....41

Capítulo 2 - Epizootias em primatas não humanos durante o surto de febre amarela em Juiz de Fora -MG

Tabela 1: Epizootias para primatas não humanos (PNH) notificadas entre 2001 e 2018, número de animais acometidos por ano/ período e os Estados que tiverem notificações.....63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
GEE	Gases do efeito estufa
PNH	Primatas não humanos
IUCN	União Internacional para a Conservação da Natureza
PCA	Análise de componente principal
AOGCM	Modelos de circulação geral atmosfera-oceano
RCP	Representative concentration pathways
AUC	Area under the receiver operating characteristics curve
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
Sinan	Sistema de Informação de Agravos de Notificação
FUNED	Fundação Ezequiel Dias
MS	Ministério da Saúde
SES MG	Secretária de Estado de Saúde de Minas Gerais
PMJF	Prefeitura Municipal de Juiz de Fora
SEPLAG JF	Secretaria de Planejamento e Gestão de Juiz de Fora
OMS	Organização Mundial da Saúde
LiRAa	Levantamento Rápido do Índice de Infestação do <i>Aedes aegypti</i>

SUMÁRIO

Introdução geral	19
Primatas e as mudanças climáticas.....	22
Os primatas do gênero <i>Callithrix</i> e as mudanças climáticas.....	24
Referências.....	30
Capítulo 1 - Análise da influência das mudanças climáticas na distribuição dos primatas do gênero <i>Callithrix</i>	
Resumo.....	34
Introdução.....	34
Material e métodos.....	36
Dados do estudo	37
Análise dos dados.....	38
Resultados e Discussão.....	40
Conclusão.....	49
Referências.....	50
Anexo I	55
Capítulo 2 - Epizootias em primatas não humanos durante o surto de febre amarela em Juiz de Fora -MG	
Resumo.....	58
Introdução.....	58
Material e métodos.....	61
Área de estudo.....	61
Dados do estudo.....	62
Análise dos dados.....	63
Resultados e Discussão.....	63
Conclusão.....	72
Referências.....	73
Anexo II	77

Introdução geral

As distribuições geográficas das espécies não são estáticas elas mudam com o decorrer do tempo, os registros paleontológicos estão repletos de exemplos dessas mudanças, pois diversos fósseis de espécies são encontrados em locais onde não ocorrem atualmente. À medida que o clima muda, as condições ambientais ideais para a sobrevivência de uma determinada espécie também mudam, levando-as a se moverem de um lugar para outro (Marengo, 2001; Ribeiro, 2010; IPCC, 2014, 2018; ONU, 2019).

Historicamente, as mudanças naturais do clima, sempre moldaram os processos evolutivos, mas durante um período mais extenso. Pois embora os limites de distribuição geográfica das espécies sejam dinâmicos e flutuem com o tempo, as mudanças climáticas atuais estão impulsionando uma redistribuição universal da vida na Terra. A velocidade com que as mudanças climáticas ocorrerão pode ameaçar a sobrevivência das espécies, e redistribuir a biodiversidade na Terra, com efeitos para a saúde dos ecossistemas e para o bem-estar humano (Marengo, 2001; Ribeiro, 2010; IPCC, 2014, 2018; ONU, 2019)

A crescente emissão de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, resultante de atividades humanas, como desmatamento, poluição e queimadas, está acelerando e intensificando as mudanças no clima da Terra. Amostras retiradas das geleiras da Antártica revelam que as concentrações atuais de carbono são as mais altas dos últimos 420.000 anos e, provavelmente, dos últimos 20 milhões de anos (IPCC, 2018; ONU, 2019).

Desde 1750, início da Revolução Industrial, a concentração atmosférica de carbono aumentou 31%, sendo que metade desse crescimento ocorreu nos últimos cinquenta anos. Durante os primeiros séculos da Revolução Industrial, os níveis de concentração de CO₂ atmosférico aumentaram de uma estimativa de 277 partes por milhão (ppm) para 317 ppm, um aumento de 40 ppm (IPCC, 2014; 2018; ONU, 2019). Estudos com reconstruções de temperatura durante os últimos 1.000 anos, têm reforçado ainda mais que as mudanças na temperatura global, não são exclusivamente devido a causas naturais, mas principalmente pelas atividades humanas (Ribeiro, 2010; IPCC, 2014; 2018). Se o padrão atual de emissões de gases do efeito estufa, resultantes de ações

antrópicas, continuar, há grandes possibilidades de haver mudanças climáticas de grande magnitude nos próximos 100 anos (Marengo, 2001; Ribeiro, 2010).

Entre as consequências do aquecimento global já observadas, estão o derretimento de geleiras nos pólos e o aumento de 10 centímetros no nível do mar em um século (Ribeiro, 2010; IPCC, 2014; 2018). As mudanças climáticas têm causado eventos extremos, como secas, enchentes, ondas de calor e de frio, furações e tempestades, afetando diferentes partes do planeta (PBMC, 2013; Lima, 2018).

Essas mudanças nas condições climáticas, devem provocar declínios populacionais e até mesmo a extinção de espécies, alterações em eventos fenológicos, na abundância de espécies, na interação biótica, nos padrões de migração e na distribuição geográfica de espécies (Parmesan, 2006, IPCC, 2014; Pacific et al., 2017).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ONU Meio Ambiente), e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) com objetivo de reunir e divulgar informações científicas sobre as mudanças climáticas, através de relatórios baseados na revisão de milhares de pesquisas científicas. Os relatórios divulgados pelo IPCC concluíram que entre 1880 e 2012, a temperatura média global aumentou 0,85 °C, os oceanos aqueceram, as quantidades de neve e gelo na terra diminuíram e o nível do mar aumentou (IPCC, 2018; ONU, 2019).

Para o futuro do planeta vários cenários de mudanças climáticas são projetados para os próximos anos (IPCC, 2014). O mais pessimista prevê que o aumento contínuo das emissões de gases de efeito estufa ao longo do século XXI causarão mudanças na precipitação global e aumento da temperatura. Nos cenários mais otimistas, mudanças nas atividades humanas levariam à redução das emissões de gases de efeito estufa até 2100, minimizando os efeitos nocivos das mudanças climáticas sobre a vida na Terra (IPCC, 2014).

A tendência é que à medida que crescem as populações, as economias e os padrões de vida, a devastação ambiental e a concentração de GEEs, na atmosfera da Terra, aumentem ainda mais, assim como os impactos causados pelas mudanças climáticas. Estas mudanças afetam o bem-estar humano, tanto diretamente (por exemplo, no fornecimento de alimentos ou por meio de doenças

emergentes) e indiretamente (desequilibrando os ecossistemas), colocando em risco a sobrevivência das espécies, inclusive a segurança e a saúde humana (IPCC, 2018; ONU, 2019).

Os eventos climáticos e seus efeitos sobre meio ambiente, a produção de alimentos, a qualidade da água e do ar e a ecologia de vetores (por exemplo, mosquitos) de agentes infecciosos (PBMC, 2013, IPCC, 2014), poderão influenciar processos sociais, determinando rupturas socioeconômicas, culturais e demográficas importantes.

É provável que o final deste século registre um aumento de 1 a 2° C na temperatura média global, há evidências alarmantes de que pontos críticos cruciais podem já ter sido alcançados ou ultrapassados, levando a mudanças irreversíveis nos principais ecossistemas e no sistema climático planetário. A maioria das consequências da mudança climática persistirá por muitos séculos, mesmo se as emissões forem interrompidas (IPCC, 2014; 2018).

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), deve ocorrer um aumento na temperatura, em todo o continente sul-americano. No Brasil, que está entre os dez países que mais emitem gases de efeito estufa na atmosfera, é previsto uma diminuição da precipitação na região Nordeste para o final deste século (PBMC, 2013) entre 5% e 20%, enquanto a temperatura pode aumentar entre 1°C e 5°C. Os cenários climáticos futuros também sugerem um aumento das secas extremas e, conseqüentemente, dos processos de desertificação do meio e final do século XXI (PBMC, 2013).

Pacific et al. (2017) realizaram uma metanálise baseada na revisão sistemática de centenas de trabalhos, para compreender como espécies de mamíferos e aves, irão responder a mudanças climáticas e quais grupos taxonômicos estão sendo e serão mais afetados. O trabalho demonstrou que os mamíferos em ambientes tropicais, áreas de maior estabilidade, como os marsupiais elefantes e macacos, serão os mais afetados por estas mudanças. Devido a estreita relação existente entre a distribuição de espécies e o clima, estima-se que muitos dos padrões de biodiversidade observados atualmente serão modificados nos próximos anos (IPCC, 2014; 2018). Dentre os mamíferos terrestres, os primatas neotropicais, estão entre os grupos menos capazes de acompanhar as mudanças climática, devido ao seu ciclo de vida mais longo e baixas taxas reprodutivas. Macacos têm pouco potencial para respostas

evolutivas rápidas por meio de alterações genéticas (Campos et al., 2017; Pacific et al., 2017).

2- Primatas e as mudanças climáticas

Os primatas já estão enfrentando uma crise de extinção iminente, causada pela extensa perda de habitat, mudança no uso da terra e a caça predatória. Nesse cenário as mudanças climáticas são uma ameaça adicional, sozinhas ou em combinação com outros fatores, podem impactar severamente esses animais.

Espécies de primatas neotropicais estão sendo, e continuarão, impactadas pelas mudanças climáticas globais. Sobretudo os que habitam o Leste da Ásia, a América Central, a Amazônia e a Floresta Atlântica (Graham et al., 2016). Os impactos causados pelas mudanças climáticas, aliados a outros problemas ambientais, colocam Brasil entre os países prioritários para a conservação de primatas no mundo (Estrada et al., 2017). As principais ameaças aos primatas no Brasil são a perda e fragmentação de habitat, caça para consumo humano, coleta para animais de estimação, predação por animais domésticos, interferência de espécies exóticas e mudanças climáticas (Estrada et al., 2017 , Gouveia et al., 2016). No Brasil 48% da espécies de primatas, estão em declínio populacional e 39% estão ameaçadas de extinção (Estrada et al., 2017).

Mesmo pequenos aumentos na temperatura podem levar a efeitos deletérios nas populações de primatas brasileiros (Sesink Clee et al. 2015) Primatas neotropicais, em particular, são acostumados a ambientes estáveis, onde há poucas variações na temperatura e nas mudanças sazonais. Além disso são altamente dependentes do dossel, para a locomoção, o que faz com que as potenciais rotas migratórias, como resposta às mudanças climáticas, possam ser interrompidas pelo desmatamento, restringindo as mudanças de alcance (Gouveia et al. 2016), a perda de habitat pode limitar os movimentos climáticos de espécies tropicais (Lawler et al. 2013).

As mudanças climáticas irão atuar diminuindo as áreas de ocorrência, e alterando padrões biológicos, ecológicos e comportamentais das diferentes espécies de primatas. Estudos realizados com populações de primatas a longo prazo têm demonstrado, que as variações climáticas globais e regionais (como alteração no regime de chuvas, enchentes, seca), podem interferir na abundância das populações de primatas (Dunham, et al., 2008, 2011 ; Milton & Giacalone, 2014), nas taxas de fertilidades, na proporção de nascimentos (machos/fêmeas) na sobrevivências dos filhotes (Dunham, et al. 2010; Wiederholt & Post, 2011; Campos et al., 2017), mortalidade dos indivíduos (Milton & Giacalone, 2014) na transmissão de doenças, taxa de parasitismo (Barrett et al., 2013) e contribuir com o isolamento de subpopulações (Dunbar, 1998).

Contudo sabe-se que em função das características biológicas e capacidade de adaptação, às mudanças climáticas, podem ameaçar mais ou menos determinadas espécies (Korstjens & Hillyer, 2016). Primatas menos especialistas, que vivem em grupos grandes, com ampla distribuição e com cérebros maiores seriam menos suscetíveis as mudanças climáticas, como o aumento da temperatura (Korstjens & Hillyer, 2016), mas estes estariam mais susceptíveis a enfrentar problemas relacionados ao aumento de conflitos com humanos, ocasionados pelas mudanças climáticas, como escassez de água, alimentos e transmissão de doenças (Shabahat, 2018).

A exemplo, pode-se citar as populações de gorilas da montanha que vivem no *Volcanoes National Park*. Localizado em Ruanda, este parque é cercado por populações de pequenos agricultores, que nos últimos anos, devido a longas e profundas secas, vêm adentrando no parque para encontrar água limpa, o que aumenta a probabilidade de contato com os grandes primatas e a transferência de doenças humanas. As secas também vêm diminuindo a disponibilidade de bambu, alimento favorito dos gorilas, que junto com a fragmentação das áreas nativas, estão forçando grupos de animais a saírem do parque e alimentarem em terras agrícolas, possivelmente levando a conflitos entre pessoas e gorilas (Shabahat, 2018).

Para muitas populações de primatas, a única opção viável para evitar a extinção em um ambiente em rápida mudança, seria a resiliência em situ pela plasticidade comportamental, fisiológica e demográfica (Strier et al., 2010).

Porém muitos primatas possuem ocorrência restrita, com uma distribuição limitada, poucos indivíduos e baixa variabilidade genética, o que os torna mais susceptíveis as ameaças oriundas das mudanças climáticas (Parmesan, 2006; Strier et al., 2010; Ledig, 2012; Pacifici et al., 2017). Os calitriquídeos de Floresta Atlântica, possuem ocorrência limitada a determinadas áreas deste bioma, influenciadas por fatores como a vegetação, o clima e a altitude desses locais, além disso esse bioma é altamente ameaçado pelas atividades antrópicas. Tais fatores podem contribuir para que essas espécies sejam ainda mais sensíveis e afetados pelas mudanças climáticas globais e regionais (Oliveira et al., 2015; Estrada, 2017).

A conservação efetiva desses saguis, principalmente os que se encontram em algum grau de ameaça pode depender da antecipação de como suas populações e seus ecossistemas responderão às mudanças climáticas. Os primatas do gênero *Callithrix* ocorrem em três biomas brasileiros: cerrado, caatinga e floresta atlântica, e são importantes para a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas e principalmente na preservação da comunidade vegetal (Passamani & Rylands, 2000; Bufalo et al., 2016; Culot et al., 2013; Vale & Prezoto, 2016).

3- Os primatas do gênero *Callithrix* e as mudanças climáticas

Seis espécies de primatas pertencem ao gênero *Callithrix*, são elas: *Callithrix aurita* (É. Geoffroy in Humboldt, 1812), *Callithrix flaviceps* (Thomas, 1903), *Callithrix geoffroyi* (É. Geoffroy in Humboldt, 1812), *Callithrix kuhlii* (Coimbra-Filho, 1985), *Callithrix penicillata* (É. Geoffroy, 1812) e *Callithrix jacchus* (Linnaeus, 1758) que apresentam distribuição influenciada pela vegetação, clima e altitude (Figura 4).

Arborícolas, esses saguis vivem em diversas fitofisionomias Florestais. São animais sociais, onde a fêmea é dominante, vivem em grupos familiares cuja amplitude pode variar de três a 16 indivíduos (Stevenson & Rylands, 1998). Ocupam um nicho onívoro, frugívoro-insetívoro, com variações na proporção e na sazonalidade dos itens consumidos de acordo com a espécie, a dieta típica destes primatas inclui invertebrados (insetos, aranhas e moluscos), pequenos

vertebrados, fungos, itens vegetais (flores, frutos, sementes e néctar) e goma (exsudatos) (Miranda & Faria, 2001).

O sagui *Callithrix penicillata* é típico do cerrado, das matas de galeria, cerradão e floresta estacional. Por sua vez *Callithrix jacchus* é natural da caatinga e floresta atlântica do Nordeste e ambos estão classificados como menos preocupantes na lista vermelha da IUCN (Stevenson & Rylands, 1998; Oliveira et al., 2015). *Callithrix geoffroyi* ocorre apenas nas planícies do estado Espírito Santo, habita matas de galeria de florestas úmidas, matas de várzea e florestas semidecíduais, atingindo altitudes de até 500 m , e está classificado como menos preocupantes na lista vermelha da IUCN (Stevenson & Rylands, 1998; Oliveira et al., 2015).

Encontrado em uma pequena área entre o nordeste de Minas Gerais e sudeste da Bahia, *Callithrix kuhlii* é listado pela IUCN como Quase Ameaçada (Rylands & Kierullf, 2016), possui uma população escassa com distribuição limitada, o que ameaça a sobrevivência da espécie a longo prazo (Stevenson; Rylands, 1998; Oliveira et al., 2015).

O *Callithrix aurita* é endêmico das florestas de altitude da Floresta Atlântica do sudeste, sendo registrado geralmente acima dos 800 metros de altitude, vivendo em áreas de até 1300 metros de altitude (Stevenson & Rylands, 1998; Oliveira et al., 2015), com uma capacidade de reprodução um pouco menor que as outras espécies, o sagui-da-serra-escuro dá à luz geralmente a um único filhote com gêmeos ocorrendo ocasionalmente, enquanto comumente as outras espécies registram partos gemelares (Stevenson & Rylands, 1998; Oliveira et al., 2015). Atualmente é classificado como vulnerável pela lista vermelha da IUCN (Rylands et al., 2016a) e como em perigo pelo livro vermelho da fauna brasileira (ICMBIO, 2016).

O sagui-da-serra, *Callithrix flaviceps*, é também endêmico de Floresta Atlântica, ocorre acima dos 500 metros de altitude no Espírito Santo, e áreas adjacentes ao leste de Minas Gerais e na fronteira com o estado do Rio de Janeiro (Stevenson & Rylands, 1998; Oliveira et al., 2015). Possuem uma área de vida relativamente grande, cerca de 35,5 ha (Reis et al., 2008), e uma preferência por áreas com alta umidade (Grelle & Cerqueira, 2006). Atualmente, suas populações são pequenas e fragmentadas, e ele foi classificado como em

perigo pela lista vermelha da IUCN e pelo livro vermelho da fauna brasileira (ICMBIO, 2016; Rylands et al., 2016b).

As quatro espécies nativas desse bioma, possuem distribuição limitada a determinadas áreas e em alguns casos influenciada pela vegetação, clima e altitude. Sabe-se que muitos primatas possuem ocorrência restrita e dependência de um conjunto de variáveis climático/ambientais, que só existem em áreas específicas, o que os torna ainda mais vulneráveis às mudanças climáticas (Pacifi et al., 2017). Além das mudanças climáticas globais, o crescente aumento da antropização nos últimos anos tem elevado consideravelmente a ameaça para a biodiversidade, em especial para espécies dependentes de ambientes arbóreos, como os primatas.

Os primatas brasileiros são altamente dependentes de ambientes florestais, mesmo que consigam ocorrer temporariamente em alguns ambientes antropizados (Estrada, 2017), pois dependem da existência de um estrato arbóreo para sobreviver. A tendência atual de diminuição dos ambientes florestais no Brasil, seja pelas ações antrópicas e conseqüentemente pelas mudanças climáticas, podem diminuir as populações de espécies de primatas existentes (Graham et al., 2016).

Originalmente, o bioma da Floresta Atlântica, onde ocorrem quatro espécies do gênero, ocupava mais de 1,3 milhões de km² em 17 estados do território brasileiro, e estendia-se por grande parte da costa do país. Porém, devido à ocupação e atividades humanas na região, restam cerca de 29% de sua cobertura original, e menos de 5% são efetivamente de florestas nativas pouco antropizadas (MMA, 2019). Esta situação pode estar sendo agravada devido às mudanças nos padrões climáticos terrestres, como as mudanças do regime de chuvas e outras alterações atmosféricas, que podem modificar substancialmente o padrão de distribuição das espécies arbóreas dos biomas nativos (Colombo, 2007).

Estes processos podem resultar na diminuição da área de ocorrência e conseqüentemente dos recursos disponíveis, causando queda no tamanho das populações ou mesmo a extinção de espécies. Alterações na dinâmica das populações de primatas podem causar desequilíbrio ambiental.

Os saguis desempenham importantes papéis ecológicos atuando como dispersores (Bufalo et al., 2016), controladores de populações de insetos

(Passamani & Rylands, 2000) e mantenedores de relações ecológicas principalmente em áreas defaunadas, onde outros mamíferos e primatas de maior porte não conseguem sobreviver (Culot et al., 2013; Vale & Prezoto, 2016).

Os primatas do gênero *Callithrix* ocorrem em três biomas brasileiros: cerrado, caatinga e floresta atlântica, e são importantes para a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas e principalmente na preservação da comunidade vegetal. Nesse gênero, os calitriquídeos de Floresta Atlântica podem vir a ser, os mais afetados por essas mudanças climáticas, pois possuem ocorrência limitada a determinadas áreas e influenciada pela vegetação, clima e altitude, além viverem em um bioma ameaçado.

Por isso a conservação efetiva dos saguis, principalmente os que se encontram em algum grau de ameaça pode depender da antecipação de como suas populações e seus ecossistemas responderão às mudanças climáticas. Por isso, o uso de novas tecnologias e ferramentas de análise, fazem-se necessárias, para que se possa compreender as possíveis mudanças na distribuição das espécies, causadas por variações climáticas, e assim poder auxiliar em sua proteção e conservação.

Neste contexto, a modelagem de distribuição potencial é uma boa ferramenta de análise (Elith & Leathwick, 2009; Peterson & Soberón, 2012). Modelos de distribuição potencial podem ser usados para avaliar alterações na distribuição de espécies em resposta às mudanças climáticas (Williams & Blois, 2018). Os modelos de distribuição potencial se desenvolveram de forma expressiva nos últimos anos, devido à disponibilidade de dados climatológicos e ecológicos em largas escalas espaciais, em conjunto com a facilidade de acesso a Sistemas de Informação Geográfica, programas de otimização e maior poder computacional (Torres & Vercillo, 2012).

Portanto, este estudo teve como objetivo principal discutir a conservação dos primatas do gênero *Callithrix*, e o impacto das mudanças climáticas e das arboviroses. A tese está formatada em dois capítulos, que têm como intuito ampliar e auxiliar a discussão da temática. Uma descrição sucinta de cada um de seus capítulos e objetivos é apresentada a seguir.

O capítulo 1, teve como objetivo elaborar modelos que permitam prever potenciais efeitos das mudanças climáticas nas populações de primatas do gênero *Callithrix*, e como as áreas de adequabilidade dessas espécies se comportarão frente a essas mudanças no futuro. O capítulo 2, teve como objetivo abordar as arboviroses nas Populações de Primatas não Humanos (PNH), através de um estudo de caso do surto de febre amarela que ocorreu em Juiz de Fora, MG, entre 2017 e 2018. Neste capítulo, descrevemos as epizootias relatadas ao Sistema de Vigilância de Epizootias de PNH em Minas Gerais e Juiz de Fora, além de informações sobre o surto de febre amarela na região, espécies de primatas que foram afetados, números de casos humanos da febre amarela, e cobertura vacinal do município de Juiz de Fora e em Minas Gerais.

Referências

- Barrett, M. A., Brown, J. L., Junge, R. E., Yoder, A. D. 2013. Climate change, predictive modeling and lemur health: assessing impacts of changing climate on health and conservation in Madagascar. **Biological Conservation**, 157, 409–422
- Bufo, F. S.; Galetti, M.; Culot, L. 2016. Seed Dispersal by Primates and Implications for the Conservation of a Biodiversity Hotspot, the Atlantic Forest of South America. **International Journal of Primatology**, 37 (3), 1-17.
- Campos, F. A. et al. 2017. Does climate variability influence the demography of wild primates? Evidence from long-term life-history data in seven species. **Global change biology**, 23 (11), 4907-4921.
- Colombo, A. F. 2007. Consequências potenciais das mudanças climáticas globais para espécies arbóreas da Mata Atlântica. 87 fls. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- Culot, L.; Bovy, E.; Vaz-De-Mello, F. Z.; Guevara, R.; Galetti, M. 2013. Selective defaunation affects dung beetle communities in continuous Atlantic rainforest. **Biological Conservation**, 163,79-89.
- Dunbar, R. I. M. 1998. Impact of global warming on the distribution and survival of the gelada baboon: a modelling approach. **Global Change Biology**, 4, 293–304
- Dunham, A. E.; Erhart, E. M.; Overdorff, D. J.; Wright, P. C. 2008. Evaluating effects of deforestation, hunting, and El Niño events on threatened lemur. **Biological Conservation**, 141(1), 287–297.

Dunham, A. E.; Erhart, E. M.; Wright, P. C. 2010. Global climate cycles and cyclones: consequences for rainfall patterns and lemur reproduction in Southeastern Madagascar. **Global Change Biology**,17, 219–227.

Elith, J. and J. R. Leathwick. 2009. Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**,40, 677-697

Estrada, A., Garber, P. A., Rylands, A. B., Roos, C., Fernandez-Duque, E., Fiore, A. D. Li, B. 2017. Impending extinction crisis of the world's primates: Why primates matter. **Science Advances**, 3(1), e1600946.

Gouveia, S. F., Souza-Alves, J. P., Rattis, L., Dobrovolski, R., Jerusalinsky, L., Beltrão-Mendes, R.; Ferrari, S. F. 2016. Climate and land use changes will degrade the configuration of the landscape for titi monkeys in eastern Brazil. **Global Change Biology**, 22 (6), 2003– 2012

Graham, T. L., Matthews, H. D., & Turner, S. E. 2016. A global-scale evaluation of primate exposure and vulnerability to climate change. **International Journal of Primatology**, 37, 158-174.

Grelle, C.E.V.; Cerqueira, R. 2006. Determinantes da Distribuição Geográfica de *Callithrix flaviceps* (Thomas) (Primates, Callitrichidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, 23, 414-420.

ICMBIO, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Sumário executivo Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. 2016.

IPCC. 2014. **Climate Change 2014: Synthesis report**. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf. Acesso out de 2019.

IPCC. 2018. **Special Report on Global Warming of 1.5°C**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/download/>. Acesso out de 2019

Korstjens, A. H.; Hillyer, A. P. 2016. Primates and climate change: A review of current knowledge. In S. A. Wich, A. J. Marshall (Eds.). **An introduction to primate conservation**. Oxford: Oxford University Press, 175 –192.

Lawler J. J. et al. 2013. Rotas projetadas para o movimento da fauna, impulsionadas pelo clima. **Ecology Letters** ,16, 1014 – 1022.

Ledig, F. T. 2012. Climate change and conservation. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 8, 57-74.

Lima, A. P. A. C. 2018. O efeito das mudanças climáticas sobre a fenologia de floração de espécies polinizadas por beija-flores na Mata Atlântica. Dissertação (Mestre em Botânica). 75 fls. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Marengo, J. A. 2001. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 16 (1), 1-18.

Milton, K.; Giacalone, J. 2014. Differential effects of unusual climatic stress on Capuchin (*Cebus capucinus*) and Howler Monkey (*Alouatta palliata*) populations on Barro Colorado Island, Panama. **American Journal of Primatology**, 76, 249–261.

Miranda, G. H. B.; Faria, D. S. 2001. Ecological aspects of black-pinellated marmoset (*Callithrix penicillata*) in the cerrado and dense cerrado of the Brazilian Central Plateau. **Brazilian Journal of Biology**, 61 (3), 397- 404.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. 2019. **Mata Atlântica**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica> > Acesso em 24 set. 2016.

Oliveira, G. R.; Amora, D. T., Reis, N. R.; Peracchi, A. L.; Rosa, G. M. 2015. Gênero *Callithrix*. In Reis N. R., Peracchi A. L, Andrade R (eds.). **Primatas do Brasil**. Londrina: Technical Books. pp. 64-77.

ONU, Organização das Nações Unidas. 2019. **Influência humana no aumento de Gases de Efeito Estufa (GEE)**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/mudanca-climatica/>. Acesso 20 dez. 2019.

Pacifici, M., Visconti, P., Butchart, S. H., Watson, J. E., Cassola, F. M.; Rondinini, C. 2017. Species' traits influenced their response to recent climate change. **Nature Climate Change**, 7 (3), 205-208.

Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, 37, 637-669.

Passamani, M.; Rylands, A. B. 2000. Feeding behavior of Geoffroy's marmoset (*Callithrix geoffroyi*) in an Atlantic forest fragment of south-eastern Brazil. **Primates**, 41 (1), 27-38.

PBMC, Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. 2013. Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas: Impactos, vulnerabilidades e adaptação. PBMC: Rio de Janeiro, 2013, 28 p.

Peterson, A. T. and J. Soberón. 2012. Species Distribution Modeling and Ecological Niche Modeling: Getting the Concepts Right. **Natureza & Conservação**, 10,102-107.

Reis, N. R.; Peracchi, A. L.; Andrade, F. R. (Orgs). 2008. **Primatas Brasileiros**. Londrina: Technical Books, 259 p.

Ribeiro, W. C. 2010. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. **Parcerias estratégicas**, 13 (27), 297-322

Rylands, A.B.; Kierulff, M.C.M. 2016. *Callithrix kuhlii*. **The IUCN Red List of Threatened Species**: e.T3575A9955873. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/species/3575/9955873>. Acesso em 2 jan. 2019.

Rylands, A.B, Ferrari, S.F. & Mendes, S.L. 2016 a. *Callithrix flaviceps*. **The IUCN Red List of Threatened Species**: e.T3571A9951402. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/species/3571/9951402>. Acesso em 2 jan 2019.

Rylands, A.B., Kierulff, M.C.M., Mendes, S.L.; Oliveira, M.M. 2016b. *Callithrix aurita*. **The IUCN Red List of Threatened Species**: e.T3570A9949843. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/species/3570/9949843>. Acesso em 2 jan 2019.

Sesink Cleo P. R. et al. 2015. Chimpanzee population structure in Cameroon and Nigeria is associated with habitat variation that may be lost under climate change. **BMC Evolutionary Biology**, 15 (2), 2-13.

Shabahat, E. **Rwandan people and mountain gorillas face changing climate together**. Mongabay series: Great Apes, 2018. Disponível em: <https://news.mongabay.com/2018/06/rwandan-people-and-mountain-gorillas-face-changing-climate-together/>. Acesso em 12 nov 2019.

Stevenson, M. F. & Rylands, A. B. 1998. The marmosets, genus *Callithrix*. In: Mittermeier, A. et al (Ed). **Ecology and Behavior of Neotropical Primates**, vol. 2. Washington: World Wildlife Found, pp. 131-222.

Strier, K. B., Altmann, J., Brockman, D. K., Bronikowski, A. M., Cords, M., Fedigan, L. M.,...Alberts, S. C. 2010. The Primate Life History Database: A unique shared ecological data resource. **Methods in Ecology and Evolution**, 1(2), 199–211.

Torres, N. M.; Vercillo, U. E. 2012. Como ferramentas de modelagem de distribuição de espécies podem subsidiar ações de governo. **Natureza & Conservação**, 10 (2), 228-230.

Vale, C. A.; Prezoto, F. 2016. Papel dos primatas do gênero *Callithrix* na manutenção das relações ecológicas em áreas defaunadas na Floresta Atlântica. **CES Revista**, 30 (2), 19-33.

Wiederholt, R.; Post, E. 2010. Tropical warming and the dynamics of endangered primates. **Biology Letters**, 6, 257–260.

Williams, J.E.; Blois, J.L. 2018. Range shifts in response to past and future climate change: can climate velocities and species' dispersal capabilities explain variation in mammalian range shifts? **Journal of Biogeography**, 45, 2175-2189, 10.1111/jbi.13395

Capítulo 1 - Análise da influência das mudanças climáticas na distribuição dos primatas do gênero *Callithrix*

Resumo

Primatas estão entre os animais que irão ser mais afetados pelas mudanças climáticas. Os saguis do gênero *Callithrix*, ocorrem em três biomas brasileiros, algumas espécies possuem ocorrência restrita e dependência de um conjunto de variáveis climático/ambientais que só existem em áreas específicas. Este estudo teve como objetivo utilizar a modelagem de distribuição de espécies para prever os potenciais efeitos das mudanças climáticas nas áreas de ocupação dessas espécies no futuro, buscando identificar as áreas de adequabilidade dos primatas do gênero *Callithrix* em cenários futuros. As espécies que têm o potencial de apresentar maior perda das áreas de adequabilidade foram *C. flaviceps* e *C. kuhlli*, seguidos por *C. aurita*, *C. geoffroyi* e *C. jacchus*. Os valores da AUC foram entre 0,951 e 0,997, com média de 0,974. No cenário futuro irão ocorrer mudanças nas áreas de adequabilidade de *Callithrix*, sendo *C. flaviceps* e *C. kuhlli*, as espécies mais afetadas. A espécie *C. penicillata* possivelmente é a que apresentará menor impacto nas áreas de adequabilidade, apesar dela ser ligeiramente mais descolocada no futuro em direção a Floresta Atlântica. As áreas de preservação ainda são poucas e provavelmente não serão suficientes para manter a população dessas espécies a longo prazo.

Palavras-chave: Conservação; Sagui; Maxent; Modelagem de distribuição de espécies

Introdução

Mudanças climáticas ocorrem no planeta de forma cíclica naturalmente há milhares de anos (Petit et al., 1999). Entre cada um dos períodos de era glacial o planeta passou por momentos de intervalos mais quentes, como o que estamos vivendo atualmente. No entanto, o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC) (IPCC, 2014) estima que nos últimos 250 anos a temperatura do planeta passou a aumentar muito mais rapidamente do que o padrão existente nos últimos 10.000 anos devido às emissões de gases do efeito estufa (GEE) por atividades antrópicas. A exacerbação desse fenômeno está acarretando elevação da temperatura global e os efeitos desse aquecimento já podem ser percebidos nas populações animais, com diminuição da área ocupada por espécies e mudanças na época de reprodução (Root et al., 2003; Wiederholt & Post, 2011).

No Brasil, análises das observações de temperatura indicam que a temperatura média anual subiu 0,5°C nos últimos 100 anos, esses aumentos durante o século XX, são compatíveis com o aquecimento global (Ribeiro, 2010). No país as mudanças mais significativas serão o aumento de temperatura, modificações nos padrões de chuvas e alterações na distribuição de extremos climáticos tais como secas, inundações, frentes frias, geadas, tempestades severas, vendavais, granizo etc. (Marengo, 2001; Ribeiro, 2010).

Mamíferos em ambientes tropicais sobretudo marsupiais, elefantes e primatas estarão entre os mais afetados por essas mudanças. Primatas possuem uma lenta história de vida e pouco potencial para respostas evolutivas por meio de alterações genéticas. Muitos primatas possuem ocorrência restrita e dependência de um conjunto de variáveis climático/ambientais que só existem em áreas específicas (Pacifi et al., 2017).

A exemplo os primatas do gênero *Callithrix* (Figura 1); *C. penicillata* ocorre no cerrado, *C. jacchus* encontrado na caatinga e Floresta Atlântica do Nordeste, e *C. geoffroyi*, *C. flaviceps*, *C. aurita* e *C. kuhlli*, que são exclusivamente endêmicos de Floresta Atlântica, um bioma altamente ameaçado (Colombo & Joly; 2010; WWF, 2009) .

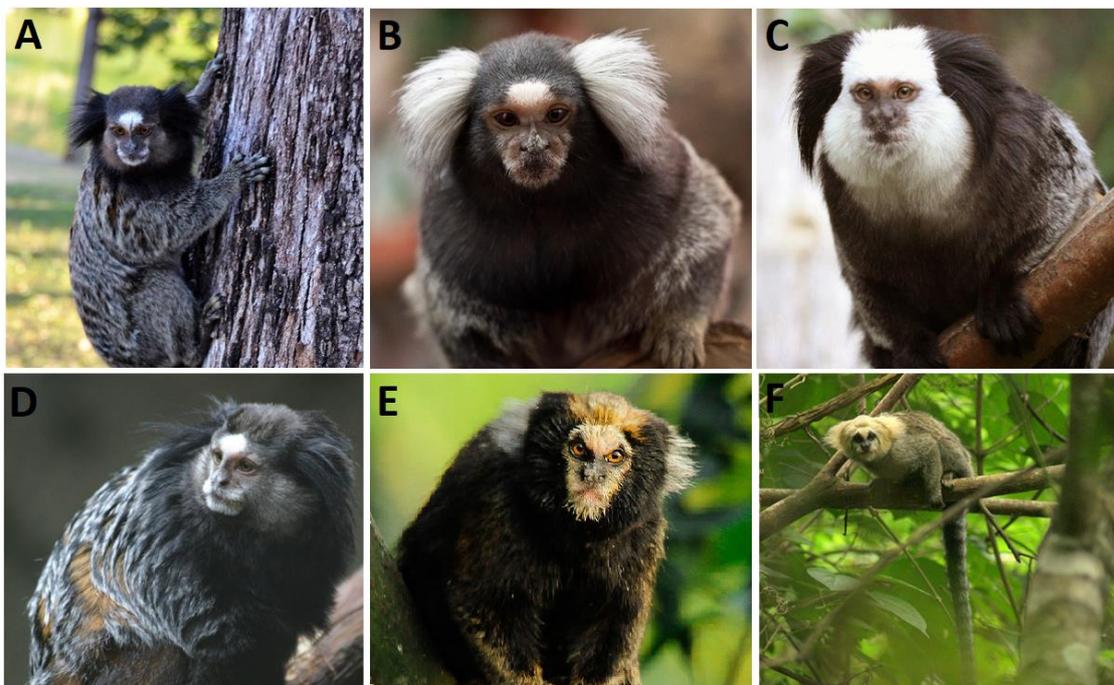


Figura 1: Espécies do gênero *Callithrix* A) *Callithrix penicillata*, B) *Callithrix jacchus*, C) *Callithrix geoffroyi*, D) *Callithrix kuhlli*, E) *Callithrix aurita* e F) *Callithrix flaviceps*. Fonte: Fotografias B, C, D, E e F IUCN, 2016; Fotografia A, Arquivo pessoal da autora.

Encontrados nas florestas de altitude *C. aurita* e *C. flaviceps* ocorrem geralmente acima dos 800 e 500 metros respectivamente e possuem exigências em relação ao clima e umidade para sobreviverem (Stevenson & Rylands, 1988; Rylands et al., 2016a, b). O sagui *C. kuhlli* possui uma população pequena e restrita ao sul da Bahia e uma pequena parte do norte de Minas Gerais (Stevenson & Rylands, 1988; Rylands & Kierullf, 2016).

Poucas espécies estarão imunes as mudanças climáticas, e que esta será a principal causa de extinção neste século, e as espécies já fortemente pressionadas pela ação humana tendem a sofrer mais (WWF, 2009).

Uma boa ferramenta para se compreender possíveis mudanças na distribuição das espécies causadas por variações no clima é a modelagem de nicho ecológico (Elith & Leathwick, 2009; Peterson & Soberón, 2012). Esta ferramenta utiliza algoritmos estatísticos para fazer um modelo preditivo de ocorrência potencial da espécie usando as variáveis climáticas e ambientais existentes em cada ponto de ocorrência permitindo a projeção da resposta de distribuição das espécies frente ao clima (Peterson et al., 2011).

Os modelos de distribuição de espécies são obtidos de maneira rápida e com baixo custo e vêm sendo usados em estudos de biogeografia, conservação, ecologia e paleontologia (Balmford & Gaston, 1999; Araújo & Guisan, 2006).

Portanto este estudo teve como objetivo prever potenciais efeitos das mudanças climáticas globais nas populações de primatas do gênero *Callithrix* e como as áreas de ocorrência dessas espécies se comportarão frente a essas mudanças no futuro.

Material e métodos

Neste estudo foi utilizado o software Maxent (www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/), que é uma técnica de aprendizagem automática (machine-learning) que estima a distribuição de probabilidades mais próxima à distribuição uniforme sob a restrição de que os valores esperados para cada variável ambiental estejam de acordo com os valores empíricos observados nos pontos de ocorrência (De Marco Junior & Siqueira, 2009). Em um estudo comparativo entre essas ferramentas estatísticas, o Maxent obteve o melhor desempenho tanto nos pacotes bioclimáticos, quanto para o desempenho para a região da América do Sul, quando comparado aos modelos gerados pelos

programas BIOCLIM, GARP, MARS, DOMAIN e GAM (Elith et al., 2006), sua principal vantagem sobre outros pacotes analíticos mais usados, é a disponibilidade de funções para avaliar a qualidade do modelo (Elith et al., 2006).

Para produzir o modelo em questão este algoritmo requer na entrada um conjunto de camadas ou variáveis ambientais (tais como a precipitação, altitude, etc.), bem como um conjunto de locais de ocorrência georreferenciados (Phillips et al., 2006).

Os locais de ocorrência dos saguis foram obtidos através de uma extensa revisão de literatura na base da Web of Science (appswebofknowledge.ez25.periodicos.capes.gov.br), na Scielo-Scientific Electronic Library Online (www.scielo.org/php/index.php), na Periódicos Capes (www.periodicos.capes.gov.br) e no Google Acadêmico (scholar.google.com.br), também foram realizadas consultas a coleções biológicas e nos bancos de dados de registro de localidade de espécies: Global Biodiversity Information Facility (www.gbif.org), Mammal Networked Information System (<https://ecologicaldata.org/wiki/mammal-networked-information-system>), Species Link (smlink.cria.org.br). Quando não se encontravam aferidos, os locais de ocorrência foram georreferenciados através da ferramenta Geoloc (smlink.cria.org.br/geoloc) e do Google Earth.

Foram considerados apenas os pontos de ocorrência nativa para cada espécie, ocorrências fora da área de distribuição original não foram usados. Para isso foi utilizado como referência a distribuição da IUCN (Figura 2). Registros duvidosos quanto a origem ou com informações imprecisas sobre a localidade foram excluídos. No total foram obtidos 593 pontos de ocorrência: 168 para *C. penicillata*, 182 para *C. jacchus*, 25 para *C. flaviceps*, 38 para *C. aurita*, 124 para *C. geoffroyi* e 56 para *C. kuhlli*.

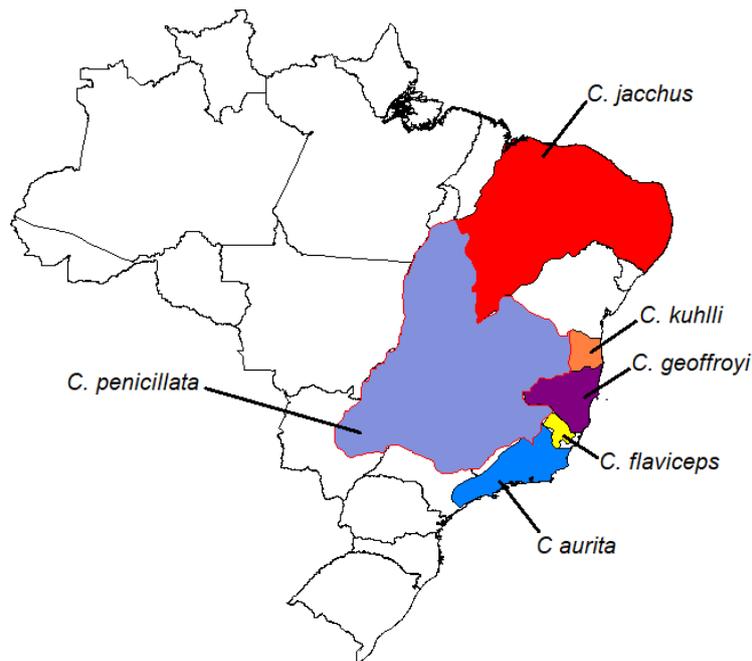


Figura 2: Distribuição geográfica nativa das espécies do gênero *Callithrix* nos biomas da Caatinga, Cerrado e Floresta Atlântica, de acordo com a União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN, 2019). Fonte: Mapa gerado no *software* DIVA-GIS, com os mapas das IUCN.

As variáveis ambientais foram obtidas na base de dados online WordClim (www.worldclim.org) (Hijmans et al., 2005). Foi usado um conjunto de variáveis ambientais que envolvem precipitação e temperatura no presente e as mesmas variáveis projetadas nos anos de 2050 (média para 2041-2060) e 2070 (média para 2061-2080). Dentre as 19 disponíveis foram utilizadas as variáveis bioclimáticas bio 1 a bio 7 e bio 10 a bio 17, porque as variáveis bio 8, 9, 18 e 19 não continham artefatos para a região de estudo. Com o intuito de diminuir o *overfitting* (ajuste exagerado às variáveis) que tende a ser maior com maior número de dimensões, através da análise de componente principal (PCA), utilizamos seis variáveis que explicavam juntos 99% da variação dos dados, bio 4 (sazonalidade da temperatura), bio 5 (temperatura máxima do mês mais quente), bio 10 (temperatura máxima do trimestre mais quente), bio 12 (precipitação anual), bio 13 (precipitação do mês mais chuvoso) e bio 15 (sazonalidade da precipitação).

As projeções para o futuro foram baseadas em estimativas de modelos de circulação geral atmosfera-oceano (AOGCM) utilizados no quinto painel intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC) (IPCC 2014). Foram utilizados dois modelos AOGCM geral com melhor desempenho na América Sul

de diferentes fontes (Chou et al., 2014; Yin et al., 2013): HADGEM2-ES do *Met Office Hadley Center* e MIROC5 do *Atmosphere and Ocean Research Institute*.

Para cada AOGCM foram utilizados os *representative concentration pathways* (RCP) RCP2.6 e RCP8.5. RCPs são cenários climáticos utilizados no quinto relatório do IPCC que descrevem concentrações prováveis dos gases de efeito estufa na atmosfera (IPCC, 2014). Onde o RCP2.6 é o cenário mais otimista, prediz que a emissão de gases do efeito estufa atingirão um pico em 2020 e depois declinarão, já o RCP8.5 é o mais pessimista, prediz que as emissões continuam a aumentar indefinidamente, a temperatura tende a aumentar de 0,3 a 1,7 graus Celsius no RCP2.6 e de 2,6 a 4,8 no RCP8.5 até o ano de 2100 (IPCC, 2014). Embora essas duas vias de concentração de gases de efeito estufa, tenham sido usadas para 2050 e 2070, as diferenças na previsão entre os RCPs são mais notáveis após 2050.

Assim, foram modelados cinco cenários para cada uma das seis espécies do gênero *Callithrix* (*C. penicillata*, *C. jacchus*, *C. flaviceps*, *C. aurita*, *C. geoffroyi* e *C. kuhlii*), um atual e quatro cenários futuros 2050 rcp2.6, 2050 rcp 8.5, 2070 rcp 2.6 e 2070 rcp 8.5. Ao todo foram rodados 30 cenários, e todos estão disponíveis no Anexo I.

Para avaliar a qualidade e confiabilidade do modelo um conjunto de dados independentes (teste) foi criado usando uma aleatória de 25% dos pontos de presença, (totalizando 444 pontos de treino e 149 pontos de teste), onde os tons vermelhos preveem uma alta probabilidade de condições favoráveis; os tons de verde preveem condições típicas daquelas em que a espécie é normalmente encontrada; e tons de azul preveem uma probabilidade baixa de condições favoráveis (Amaral et al., 2011). Os resultados do modelo foram avaliados por meio da análise da curva característica de operação (ROC), a curva ROC é produzida plotando valores de '1 – especificidade' no eixo x de um gráfico, e valores de sensibilidade no eixo y. Ela avalia a taxa de verdadeiros positivos (ausência de erro de omissão) versus a especificidade da taxa de falso positivo (erro de sobreprevisão), gerando a área sob a curva (AUC). A medida de ajuste do modelo seria de uma previsão aleatória com o valor de AUC = 0,5. O AUC varia entre 0 e 1, onde valores igual a 1 = desempenho perfeito do modelo; 0,5= desempenho tão bom quanto o de um modelo gerado aleatoriamente; valores

menores que 0,5 = desempenho pior que o de um modelo gerado aleatoriamente (Amaral et al., 2011).

Outros dois parâmetros estatísticos foram levados em consideração, a taxa de omissão e a proporção binominal (Pearson, 2007). Esses parâmetros nos ajudam a entender o quanto o modelo foi omisso em prever a ocorrência dos pontos de teste e quanto ele é significativo estatisticamente.

Análises complementares, foram realizadas através do programa DIVA-GIS (www.diva-gis.org/download), os shapes utilizados foram obtidos no site da IUCN (<https://www.iucnredlist.org/>) e do Ministério do Meio Ambiente (<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>).

Resultados e Discussão

As espécies que apresentaram maior redução das áreas de adequabilidade foram *C. flaviceps* (Figura 3) e *C. kuhlli* (Figura 4), seguidos por *C. aurita* (Figura 5), *C. geoffroyi* (Figura 6) e *C. jacchus* (Figura 7). As áreas de adequação futuras encontradas para cada espécie nos modelos, tanto nos cenários otimista e pessimista, variou de acordo com a espécie. Em geral o padrão no cenário pessimista se mostrou mais diferente do atual, e apresentou uma maior redução das áreas de ocupação. Nos anos de 2050 e 2070 tanto os cenários otimistas quanto pessimistas mostram um empobrecimento geral do habitat no futuro, com exceção de *C. penicillata* (Figura 8).

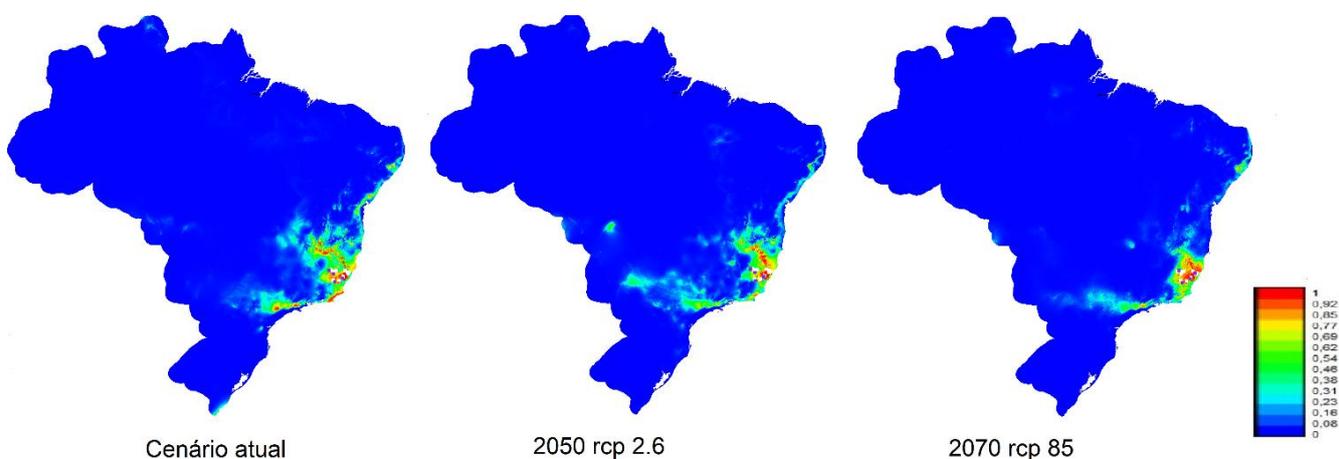


Figura 3: Áreas de adequação encontradas para *C. flaviceps* nos modelos no cenário atual, no cenário otimista (2050 Rcp 2.6) e no cenário pessimista (2070 Rcp 8.5). Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência

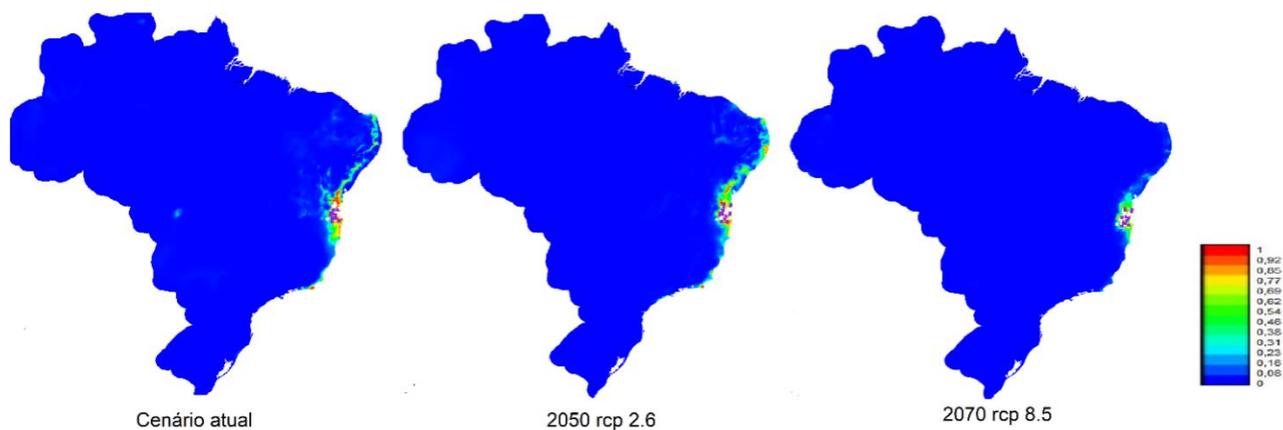


Figura 4: Áreas de adequação encontradas para *C. kuhlii* nos modelos no cenário atual, no cenário otimista (2050 Rcp 2.6) e no cenário pessimista (2070 Rcp 8.5). Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência.

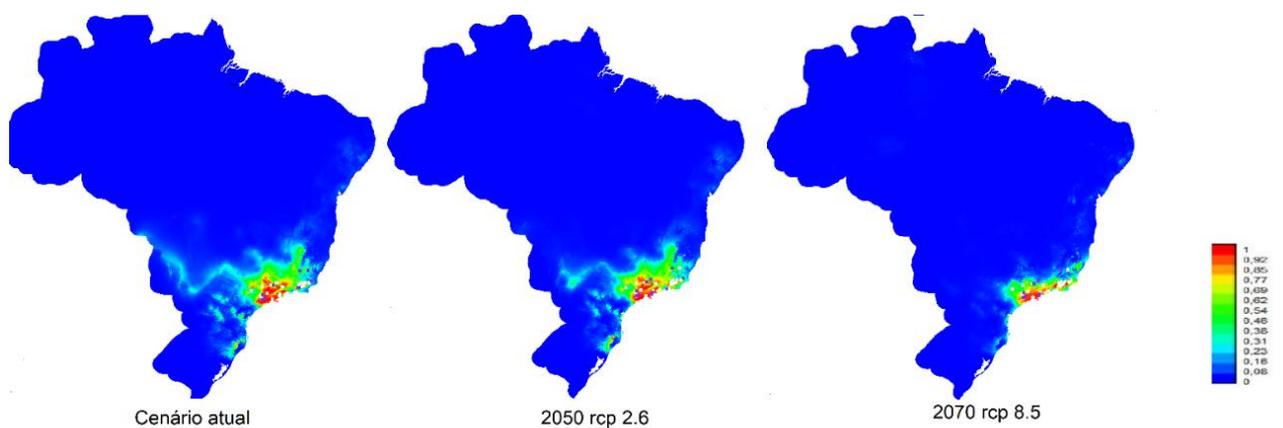


Figura 5: Áreas de adequação encontradas para *C. aurita* nos modelos no cenário atual, no cenário otimista (2050 Rcp 2.6) e no cenário pessimista (2070 Rcp 8.5). Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência

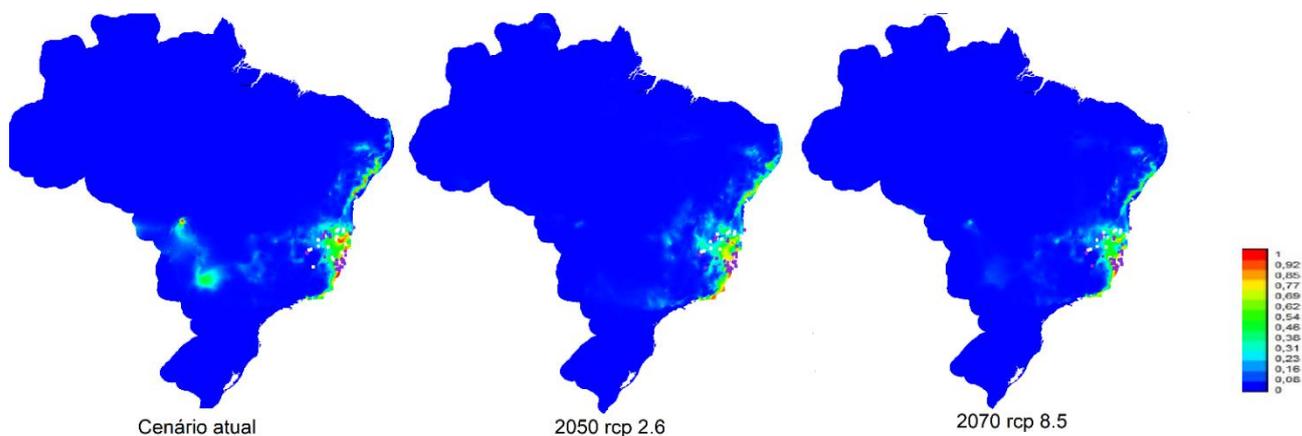


Figura 6: Áreas de adequação encontradas para *C. geoffroyi* nos modelos no cenário atual, no cenário otimista (2050 Rcp 2.6) e no cenário pessimista (2070 Rcp 8.5). Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência

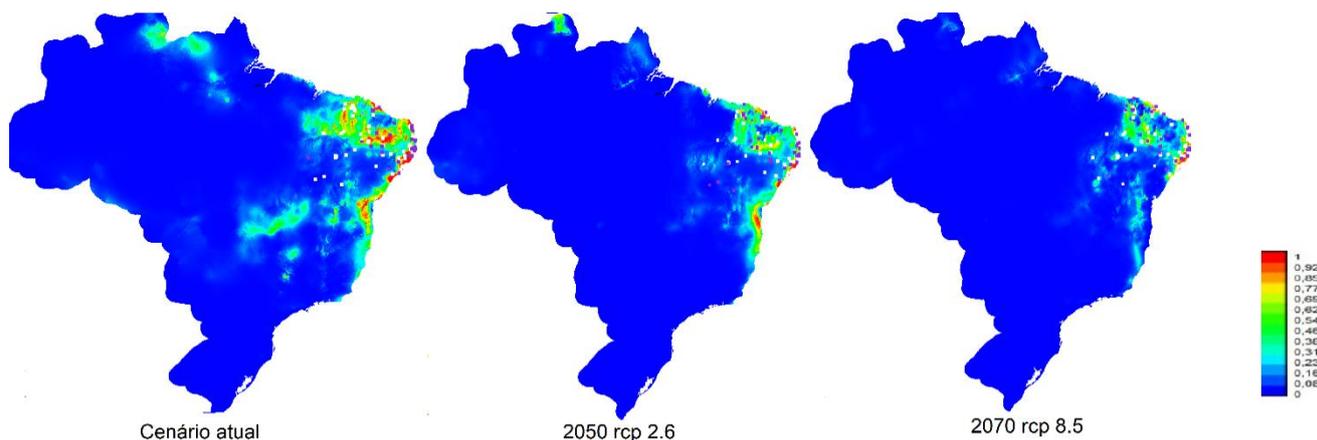


Figura 7: Áreas de adequação encontradas para *C. jacchus* nos modelos no cenário atual, no cenário otimista (2050 Rcp 2.6) e no cenário pessimista (2070 Rcp 8.5). Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência

A espécie *C. penicillata* não apresentou redução aparente da área de adequabilidade, apesar desse ser ligeiramente mais deslocado no futuro em direção a Floresta Atlântica (Figura 8). *Callithrix penicillata* tem sido relatada como invasora em áreas da floresta atlântica do sul e do sudeste (Vale & Prezoto, 2015), o modelo de distribuição potencial demonstrou grande sucesso ecológico em colonizar essas áreas mais ao sudeste e sul do país, cenários futuros de mudanças climáticas podem contribuir ainda mais com esse processo de invasão (Vale, 2016).

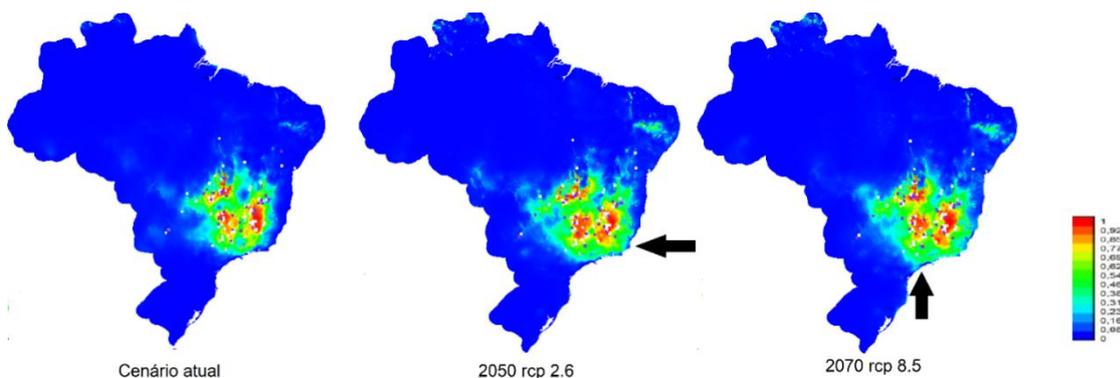


Figura 8: Áreas de adequação encontradas para *C. penicillata* nos modelos no cenário atual, no cenário otimista (2050 Rcp 2.6) e no cenário pessimista (2070 Rcp 8.5). No cenário pessimista as setas sinalizam o deslocamento das áreas ao longo do tempo. Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência

Os modelos gerados tiveram alta capacidade preditiva, com um valor de AUC entre 0,951 e 0,997, e valor médio em torno de 0,974 (Tabela 1). Pearce &

Ferrier (2000), no entanto, consideram que geralmente valores acima de 0,75, já indicam um bom desempenho do modelo gerado, por isso quanto mais próximo de 1 for a área sob a curva, menor a probabilidade do modelo ser resultado da previsão aleatória.

Tabela1: Valores de AUC para os modelos de distribuição atual, futura 2050 rcp 2.6, 2050 rcp 8.5, 2070 rcp 2.6, 2070 rcp 8.5

	Cenário atual	2050 rcp 2.6	2050 rcp 8.5	2070 rcp 2.6	2070 rcp 8.5
Espécie					
<i>C. penicillata</i>	0,964	0,960	0,960	0,960	0,951
<i>C. jacchus</i>	0,987	0,979	0,984	0,985	0,985
<i>C. geoffroyi</i>	0,993	0,993	0,993	0,979	0,979
<i>C. kuhlli</i>	0,997	0,997	0,997	0,995	0,997
<i>C. flaviceps</i>	0,998	0,997	0,997	0,997	0,997
<i>C. aurita</i>	0,996	0,994	0,994	0,998	0,994

Os modelos apresentaram reduzidos valores tanto para a taxa de omissão quanto para o teste binominal, indicando que os modelos gerados são significativamente diferentes dos gerados ao acaso.

Tabela 2: Valores da taxa de omissão e proporção binominal, para os modelos de distribuição atual, futura 2050 rcp 2.6, 2050 rcp 8.5, 2070 rcp 2.6, 2070 rcp 8.5

Cenário	Espécie	Taxa de omissão	Proporção binominal
Atual	<i>C. aurita</i>	0.0250	0
	<i>C. flaviceps</i>	0.0000	0
	<i>C. geoffroyi</i>	0.0417	0
	<i>C. jacchus</i>	0.0000	0
	<i>C. kuhlli</i>	0.0769	0
	<i>C. penicillata</i>	0.0556	0
2050 rcp 2.6	<i>C. aurita</i>	0.0000	0
	<i>C. flaviceps</i>	0.0400	0
	<i>C. geoffroyi</i>	0.1200	0
	<i>C. jacchus</i>	0.0556	0
	<i>C. kuhlli</i>	0.0000	0
	<i>C. penicillata</i>	0.0294	0
2050 rcp 8.5	<i>C. aurita</i>	0.1250	0
	<i>C. flaviceps</i>	0.2000	0
	<i>C. geoffroyi</i>	0.1200	0
	<i>C. jacchus</i>	0.0278	0
	<i>C. kuhlli</i>	0.0000	0
	<i>C. penicillata</i>	0.0000	0
2070 rcp 2.6	<i>C. aurita</i>	0.0250	0
	<i>C. flaviceps</i>	0.0000	0
	<i>C. geoffroyi</i>	0.1200	0
	<i>C. jacchus</i>	0.0278	0
	<i>C. kuhlli</i>	0.0000	0
	<i>C. penicillata</i>	0.0294	0

2070 rcp 8.5	<i>C. aurita</i>	0.0250	0
	<i>C. flaviceps</i>	0.0000	0
	<i>C. geoffroyi</i>	0.0417	0
	<i>C. jacchus</i>	0.0000	0
	<i>C. kuhlii</i>	0.0769	0
	<i>C. penicillata</i>	0.0556	0

Quanto às variáveis ambientais que mais influenciaram a predição dos modelos, existe uma maior correlação entre a distribuição de *C. aurita* tanto no cenário atual como nos futuros com as variáveis: sazonalidade da temperatura (BIO 4), seguida pela temperatura máxima do mês mais quente (BIO 5). Para *C. flaviceps* as variáveis ambientais que mais influenciaram a predição do modelo, no cenário atual foram a precipitação anual (BIO 12) e sazonalidade da temperatura (BIO 4), para os cenários futuros a precipitação do mês mais chuvoso (BIO 13) e a sazonalidade da temperatura (BIO 4). As variáveis que mais tiveram influência para *C. flaviceps* demonstra uma relação direta com habitat nativo da espécie, que possui preferência por locais de maior altitude e umidade. Um estudo prévio com modelos obtidos através de regressão logística para *C. flaviceps* (com uma concordância de 95,6%) mostraram que os fatores climáticos parecem limitar a sua distribuição, sugerindo que existem áreas com maiores probabilidades (> 40%) de ocorrência da espécie. Esta teve uma relação positiva com a umidade relativa (Grelle & Cerqueira, 2006).

As variáveis ambientais, que mais influenciaram a predição do modelo para *C. penicillata* foram nos cenários atual e futuro a sazonalidade da temperatura (BIO 4) e a temperatura máxima do trimestre mais quente (BIO 10). Enquanto para *C. jacchus* as variáveis ambientais que mais influenciaram a predição no cenário atual foram a sazonalidade da temperatura (BIO 4) temperatura máxima do mês mais quente (BIO 5), no cenário futuro a sazonalidade da precipitação (BIO 15) e a temperatura máxima do mês mais quente (BIO 5). As variáveis que mais contribuíram com os modelos para essas espécies possuem relação direta com a distribuição das mesmas. Existem sistemas que apresentam elevada sazonalidade e outros padrões mais estáveis, o cerrado brasileiro é um bom exemplo de ambiente de alta sazonalidade, que possui marcadamente duas estações uma chuvosa e quente (outubro a abril) com temperaturas variando entre 20 a 28°C e outra fria e seca (maio a

setembro). Já a caatinga possui temperaturas anuais elevadas, geralmente superiores a 25°C, em alguns lugares superior a 32°C, chuvas escassas e irregulares com longos períodos de seca (Tannus, 2004).

Para *C. kuhlii* as variáveis precipitação do mês mais chuvoso (BIO 13) e temperatura máxima do mês mais quente (BIO 5) foram as que mais influenciaram o cenário atual enquanto temperatura máxima do trimestre mais quente (BIO 10) e a temperatura máxima do mês mais quente (BIO 5) foram as que mais influenciaram o cenário futuro. As variáveis sazonalidade da temperatura (BIO 4) e precipitação anual (BIO 12) foram as que mais influenciaram o modelo do cenário atual de *C. geoffroyi*, enquanto a temperatura máxima do mês mais quente (BIO 5), a sazonalidade da temperatura (BIO 4) e a precipitação anual (BIO 12) foram as que mais influenciaram os cenários futuros. Apesar da existência de microclimas, o clima predominante na Floresta Atlântica é tropical úmido, que é marcado por temperaturas médias e umidade do ar elevadas durante todo o ano todo e as chuvas regulares e bem distribuídas (SOS Mata Atlântica, 1992) o que explica a correlação da distribuição desses saguis com essas variáveis.

Sabe-se que os primatas estão entre os mamíferos que mais serão afetados pelas mudanças climáticas futuras (Pacifi et al., 2017). São uma ordem muito diversificada e altamente ameaçada na América do Sul, e o Brasil não é exceção, pois, 116 espécies de primatas ocorrem no território nacional, destas, 26 encontram-se em algumas das categorias de vulnerabilidade definidas pela IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza): vulneráveis, ameaçadas ou criticamente ameaçadas de extinção (IUCN, 2012; 2016).

Os primatas das regiões neotropicais, como a América Central, a Amazônia e o sudeste do Brasil, estão entre os mais vulneráveis às mudanças climáticas (Graham et al., 2016), estudos focados na previsão de prováveis impactos futuros das mudanças climáticas em primatas neotropicais, preveem a contração da área de ocupação futura (Gouveia et al., 2016; Meyer et al., 2014). Essas contrações do habitat também foram previstas para outros táxons em vários biomas da região, como árvores (ver Siqueira & Peterson, 2003), outros vertebrados (ver: Loyola et al., 2012; Marini et al., 2009; Souza et al., 2011; Vale et al., 2015) e invertebrados (ver: Ferro et al., 2015; Giannini et al., 2012).

Se esta tendência de contração da área de ocupação, observada para outras espécies, se mantiver para o gênero *Callithrix*, é bem provável que ocorra uma alteração no padrão de distribuição com uma redução das áreas de adequabilidade.

Os calitriquídeos, que provavelmente terão maior redução nas áreas de adequabilidade no futuro são os de floresta atlântica. Atualmente *C. flaviceps* possui populações pequenas e fragmentadas e foi classificado como em perigo pela lista vermelha da IUCN e pelo livro vermelho da fauna brasileira (IUCN, 2012; ICMBIO, 2016). Endêmico da Floresta Atlântica ocorre acima dos 500 metros de altitude no Espírito Santo e áreas adjacentes ao leste de Minas Gerais e na fronteira com o estado do Rio de Janeiro (Rylands et al., 1996), possuem uma área de vida relativamente grande cerca de 35,5 ha (Reis et al., 2008), e uma preferência por áreas com alta umidade (Grelle & Cerqueira, 2006). *C. aurita* é endêmico das florestas de altitude da Floresta Atlântica do sudeste, sendo registrado geralmente acima dos 800 metros de altitude, vivendo em áreas até 1300 metros de altitude. Típico da Floresta pluvial tropical, montana e submontana (Brandão & Develey, 1998; Carvalho et al., 2013) é classificado como vulnerável pela lista vermelha da IUCN (IUCN, 2012) e como em perigo pelo livro vermelho da fauna brasileira (ICMBIO, 2016). Ao contrário das outras espécies de saguis que comumente registram partos gemelares, o sagui-da-serra-escuro dá a luz geralmente a um único filhote com gêmeos ocorrendo ocasionalmente (Oliveira et al., 2015).

A diminuição do habitat das espécies já vem ocorrendo com o desmatamento da Floresta Atlântica pelo processo de urbanização, uso do solo para a agricultura e a pecuária (Schnell et al., 2013) e aumento da queimadas. Em 2019 o número de focos de incêndios registrados nesse bioma (janeiro a outubro) aumentou em 58% quando comparado ao mesmo período em 2018, com mais de 15.000 focos registrados (Inpe, 2019). Surtos recentes da febre amarela nos últimos dois anos dizimou milhares desses animais (Vale & Prezoto, 2017; Vale et al., 2018)

Encontrado em uma pequena área Floresta Atlântica entre o nordeste de Minas Gerais e sudeste da Bahia, *Callithrix kuhlli* é listado pela IUCN como Quase Ameaçada (IUCN, 2012). O Sagui-de-Wied possui uma população escassa com distribuição limitada a áreas (Oliveira et al., 2015), onde estudos

recentes têm demonstrado que o plantio de cacau vem influenciando negativamente na sobrevivência da fauna nativa da região, inclusive *C. kuhlii* (Schroth et al., 2011; Cassano et al., 2014; Guy et al., 2016). A situação desses animais pode agravar ainda mais com a contração de áreas no futuro devido às mudanças climáticas.

Mesmo com a variação entre espécies, os modelos demonstram que em maior ou menor escala, mesmo em cenários pessimistas de mudanças climáticas, ainda existirão áreas que reunirão características essenciais para a sobrevivência dessas espécies de primatas. Quando analisamos as Unidades de Conservação (Uc's), federais, estaduais e municipais que existem hoje no país com ao auxílio do software DIVA-GIS e comparamos com os modelos obtidos percebemos que ainda existem áreas de distribuição desses primatas que não estão protegidas de forma eficaz. Destacamos principalmente área de ocorrência de *C. flaviceps* e *C. kuhlii*, que tendem a sofrer uma maior redução de suas áreas no futuro (Figura 9).

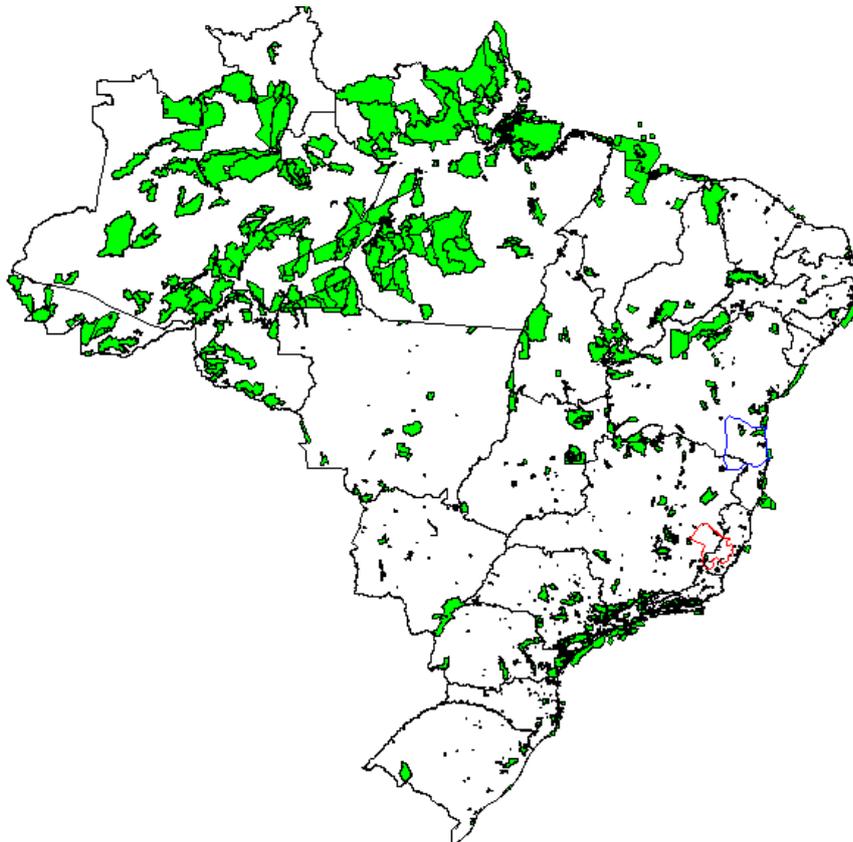


Figura 9: Figura com a distribuição das Unidades de Conservação Brasileiras (federais, estaduais e municipais), áreas em verde. Distribuição de *C. Kuhlii* área em azul, distribuição de *C. flaviceps* área em vermelho. Fonte: Figura gerada no software DIVA-GIS, com os shapes do Ministério do Meio Ambiente e da IUCN.

Sabe-se que primatas representam 40% da biomassa de vertebrados frugívoros presentes nas florestas tropicais, e por isso são um grupo essencial à manutenção da estrutura vegetal e da regeneração florestal (Culot et al., 2010). Saguis possuem uma ampla dieta e intenso comportamento de forrageio, com os animais percorrendo longas distâncias diariamente, mesmo em áreas menores (Corrêa & Coutinho, 2008), sendo importantes na manutenção de ecossistemas. Eles atuam como dispersores, e podem consumir mais de 101 espécies de frutos, com boa capacidade de manipular os alimentos, nem sempre ingerem as sementes quando consome os frutos, aumentando as chances de serem dispersas intactas (Bufalo et al., 2016). *Callithrix* são também mantenedores de relações ecológicas principalmente em áreas defaunadas, onde outros mamíferos e primatas de maior porte não conseguem sobreviver (Vale & Prezoto, 2016).

Estudos comparativos entre áreas defaunadas (onde há ausência de mamíferos de médio e grande porte), sem saguis e com *C. aurita*, encontram densidades estáveis de besouros coprófagos nos locais que haviam *C. aurita*, esses coleópteros passaram a utilizar as fezes desses primatas no lugar dos mamíferos costumeiros (Culot et al., 2013). Saguis possuem um importante papel como controladores de populações de insetos. Trabalhos com *C. geoffroyi*, registraram que além de consumirem insetos ao longo de todo ano, esse consumo pode representar até 14% de sua dieta de acordo a variação sazonal (Passamani & Rylands, 2000). A diminuição e a degradação dos habitats contribui para que essas populações tenham que sobreviver em áreas antropizadas e próximas a ambientes urbanos, onde as condições ambientais podem contribuir para alterações nos padrões comportamentais de uso do espaço, deslocamento e consumo de recursos (Vale & Prezoto, 2016; Ribeiro et al., 2018).

Conclusões

Se as mudanças climáticas previstas se concretizarem os primatas do gênero *Callithrix* irão sofrer mudanças na faixa e nos padrões de distribuição das espécies. *C. flaviceps* e *C. kuhlii* serão as espécies que mais apresentarão redução em seu habitat, essas espécies possuem populações reduzidas, sendo classificadas como em perigo e quase ameaçada pela IUCN, suas áreas de distribuição atualmente são pouco protegidas por Unidades de Conservação

comprometendo ainda mais a sobrevivência dessas espécies a longo prazo. Os modelos gerados, atingiram índices desejáveis de confiabilidade, nos anos de 2050 e 2070 tanto os cenários positivos quanto negativos, mostraram um empobrecimento geral do habitat no futuro. No entanto os calitriquídeos de Floresta Atlântica serão os mais afetados por essas mudanças climáticas, pois possuem ocorrência limitada a determinadas áreas e influenciada pela vegetação, clima e altitude, além viverem em um bioma ameaçado. Por isso a conservação efetiva dos saguis, principalmente os que se encontram em algum grau de ameaça pode depender da antecipação de como suas populações e seus ecossistemas responderão às mudanças climáticas.

Nossas análises demonstram que as áreas de preservação ainda são poucas e provavelmente não serão suficientes para manter essas populações a longo prazo os modelos gerados podem servir de orientação para a escolha e criação e UC's futuras.

Referências

- Amaral, S.; Bestetti, C. C.; Ribeiro Júnior, M. A. 2011. **Tutorial de modelos de distribuição de espécie**. Divisão de Processamento de Imagens – INPE, Brasil
- Araujo, M. B.; Guisan, A. 2006. Five (or so) challenges for species distribution Modelling. **Journal of biogeography**, 33 (10), 1677-1688
- Balmford, A.; Gaston, K. J. 1999. Why biodiversity surveys are good value? **Nature**, 18, 204–205
- Brandão, L. D.; Develey, P. F. 1998. Distribution and Conservation of the Buffy Tufted Ear marmoset, *Callithrix aurita*, In: Lowland Coastal Atlantic Florest Southeast Brazil. **Neotropical Primates**, 6 (3), 86-88
- Bufalo, F. S.; Galetti, M.; Culot, L. 2016. Seed Dispersal by Primates and Implications for the Conservation of a Biodiversity Hotspot, the Atlantic Forest of South America. **International Journal of Primatology**, 37 (3), 1-17
- Carvalho, R. S. et al. 2013. Molecular identification of a Buffy-tufted-ear marmoset (*Callithrix aurita*) incorporated in a group of invasive marmosets in the Serra dos Orgãos National Park, Rio de Janeiro–Brazil. **Forensic Science International: Genetics**, 4, 230-231
- Cassano, C. R., Barlow, J., & Pardini, R. 2014. Forest loss or management intensification? Identifying causes of mammal decline in cacao agroforests. **Biological Conservation**, 69, 14-22.
- Chou, S. C, et al. 2014. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, 3, 512– 527

- Colombo, A. F.; Joly, C. A. 2010. Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. **Brazilian Journal of Biology**, 70 (3), 697-708
- Corrêa, H. K.; Coutinho, P. E. G. 2008. Gênero *Callithrix* Erxleben 1777. In: Reis, N. R.; Peracchi, A. L.; Andrade, F. R. (Orgs), **Primatas Brasileiros**. Londrina: Technical Books, pp.47-58
- Culot, L.; Mann, D.J.; Muñoz Lazo, F, J. J.; Huynen, M.C.; Heymann, E.W. 2010. Tamarins and dung beetles: an efficient diplochorous dispersal system for forest regeneration. **Biotropica**, 43, 84-92.
- Culot, L.; Bovy, E.; Vaz-De-Mello, F. Z.; Guevara, R.; Galetti, M. 2013. Selective defaunation affects dung beetle communities in continuous Atlantic rainforest. **Biological Conservation**, 163, 79-89.
- De Marco Junior, P.; Siqueira, M. F. 2009. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista? **Megadiversidade**, 5, 1-2.
- Elith, J. et al. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, 29, 129-151.
- Elith, J. and J. R. Leathwick. 2009. Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, 40, 677-697.
- Ferro, C., López, M., Fuya, P., Lugo, L., Cordovez, J. M.; González, C. 2015. Spatial distribution of sand fly vectors and eco-epidemiology of cutaneous leishmaniasis transmission in Colombia. **Plos ONE**, 10 (10): e0139391
- Giannini, T. C., Acosta, A. L., Garófalo, C. A., Saraiva, A. M., Alves-dos-Santos, I., & Imperatriz-Fonseca, V. L. 2012. Pollination services at risk: Bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. **Ecological Modelling**, 244, 127– 131.
- Gouveia, S. F., Souza-Alves, J. P., Rattis, L., Dobrovolski, R., Jerusalinsky, L., Beltrão-Mendes, R.; Ferrari, S. F. 2016. Climate and land use changes will degrade the configuration of the landscape for titi monkeys in eastern Brazil. **Global Change Biology**, 22 (6), 2003– 2012.
- Graham, T. L., Matthews, H. D., & Turner, S. E. 2016. A global-scale evaluation of primate exposure and vulnerability to climate change. **International Journal of Primatology**, 37 (2), 158– 174.
- Grelle, C.E.V.; Cerqueira, R. 2006. Determinantes da Distribuição Geográfica de *Callithrix flaviceps* (Thomas) (Primates, Callitrichidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, 23, 414-420.
- Guy, C., Cassano, C. R., Cazarre, L., Vleeschouwer De, K. M., Kierulff, M. C. M., Neves, L. G., Raboy, B. E. 2016. Evaluating landscape Suitability for golden-headed lion tamarins (*Leontopithecus Chrysomelas*) and Wied's black tufted-ear marmosets (*Callithrix Kuhlii*) in the Bahian Atlantic Forest. **Tropical Conservation Science**, 09 (2) 735-757.

Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G.; Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, 25, 1965-1978.

ICMBIO, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Sumário executivo Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. 2016.

INPE. Banco de dados de queimadas. 2019. Disponível em < <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>> Acesso em ago 2019.

IPCC. 2014. **Climate Change 2014**: Synthesis report.

IUCN. **The IUCN Red List of Threatened Species**. 2016. Disponível em < <http://www.iucnredlist.org/>> Acesso em: 02 abr. 2019.

IUCN. **Primates in peril**. 2012. Disponível em < <http://www.iucnredlist.org/news/primates-in-peril>> Acesso em: 02 abr. 2019.

Loyola, R. D., Lemes, P., Faleiro, F. V., Trindade-Filho, J., & Machado, R. B. 2012. Severe loss of suitable climatic conditions for marsupial species in Brazil: Challenges and opportunities for conservation. **Plos ONE**, 7(9): e46257.

Marini, M. Â., Barbet-Massin, M., Lopes, L. E.; Jiguet, F. 2009. Predicted climate-driven bird distribution changes and forecasted conservation conflicts in a neotropical savanna. **Conservation Biology**, 23 (6), 1558– 1567

Marengo, J. A. 2001. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 16 (1), 1-18.

Meyer, A. L. S., Pie, M. R.; Passos, F. C. 2014. Assessing the exposure of lion tamarins (*Leontopithecus spp.*) to future climate change. **American Journal of Primatology**, 76 (6), 551– 562

Oliveira G R, Amora D T, Reis N R, Peracchi AL & Rosa GM, 2015. Gênero *Callithrix*. In Reis N. R., Peracchi A. L, Andrade R (eds.). **Primates do Brasil**. Londrina: Technical Books. pp. 64-77

Pacifici, M., Visconti, P., Butchart, S. H., Watson, J. E., Cassola, F. M., Rondinini, C. (2017). Species' traits influenced their response to recent climate change. **Nature Climate Change**, 7 (3), 205.

Passamani, M.; Rylands, A. B. 2000. Feeding behavior of Geoffroy's marmoset (*Callithrix geoffroyi*) in an Atlantic forest fragment of south-eastern Brazil. **Primates**,41 (1), 27-38

Pearce, J. & Ferrier, S. 2000. An evaluation of alternative algorithms for fitting species distribution models using logistic regression. **Ecological Modelling**, 128, 127-147

Pearson, R. G. 2007. Species' distributions modeling for conservation educators and practitioners. **National Science Foundation**. 1-50.

Peterson, A. T., J. Soberón, R. G. Pearson, R. P. Anderson, E. Martinez-Meyer, M. Nakamura, M. B. Araujo. 2011. **Ecological Niches and Geographic Distributions**. Princeton: Princeton University Press

- Peterson, A. T.; Soberón J. 2012. Species Distribution Modeling and Ecological Niche Modeling: Getting the Concepts Right. **Natureza & Conservação**, 10,102-107
- Petit, J. R., et al. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. **Nature**, 399, 429-436
- Phillips SJ et al. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, 190 (4), 231-259.
- Reis, N. R.; Peracchi, A. L.; Andrade, F. R. (Orgs). 2008. **Primates Brasileiros**. Londrina: Technical Books, 259 p.
- Ribeiro, W. C. 2010. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. **Parcerias estratégicas**, 13 (27), 297-322.
- Ribeiro, C. V; Vale, C.; Andriolo, A.; Prezoto, F. 2018. Caracterização das interações entre sagüis (*Callithrix penicillata*) e humanos. **Neotropical Primates**, 24 (1), 17-21.
- Root, T. L., J. T. Price, K. R. Hall, H. Schneider, C. Rosenzweig; J. A. Pounds. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. **Nature** 421, 57-60.
- Rylands, A. B.; Fonseca, G. A. B.; Mittermeier, Y. L. R. 1996. Primates of the Atlantic forest: origin, distributions, endemism, and communities. *In*: Norcon, M. A., Rosenberger, A. L. Garber, P. A. (Eds.) **Adaptive Radiations of Neotropical Primates**. New York, 21-51.
- Rylands, A.B. & Kierulff, M.C.M. 2016. *Callithrix kuhlii*. **A Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN de 2016**.
- Rylands, A.B, Ferrari, S.F. & Mendes, S.L. 2016a. *Callithrix flaviceps*. **The IUCN Red List of Threatened Species**
- Rylands, A.B., Kierulff, M.C.M., Mendes. S.L. & de Oliveira, M.M. 2016b. *Callithrix aurita*. **The IUCN Red List of Threatened Species**.
- Schnell J. K., Harris G. M., Pimm S. L., Russell G. J. 2013. Quantitative analysis of forest fragmentation in the Atlantic Forest reveals more threatened bird species than the current red list. **PLoS ONE** 8(5):e2206.
- Schroth, G., Faria, D., Araujo, M., Bede, L., Van Bael, S. A., Cassano, C. R., Delabie, J. H. 2011. Conservation in tropical landscape mosaics: the case of the cacao landscape of southern Bahia, Brazil. **Biodiversity and Conservation**, 20 (8), 1635-1654.
- Siqueira, M. F., Peterson, A. T. 2003. Consequences of global climate change for geographic distributions of Cerrado tree species. **Biota Neotropica**, 3 (2), 1– 14.
- SOS Mata Atlântica. 1992. **Mata Atlântica**. Fundação SOS Mata Atlântica: São Paulo.
- Souza, T., Lorini, M., Alves, M. S., Cordeiro, P., Vale, M. M. 2011. Redistribution of threatened and endemic Atlantic Forest birds under climate change. **Natureza & Conservação**, 9 (2), 214– 218

Stevenson, M. F.; Rylands, A. B. 1998. The marmosets, genus *Callithrix*. In: Mittermeier, A. et al (Ed). **Ecology and Behavior of Neotropical Primates**, vol. 2. Washington: World Wildlife Found, pp. 131-222.

Tannus, R.N. 2005. Funcionalidade e sazonalidade sobre o cerrado e sobre o ecótono floresta-cerrado: uma investigação com dados micrometeorológico de energia e CO₂. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas). Universidade de São Paulo, São Paulo.112 f.

Vale, C. A.; Prezoto, F. 2015. Invasões biológicas: o caso do mico estrela (*Callithrix penicillata*). **CES Revista**, 29 (1), 58-76.

Vale, C. A. 2016. Distribuição e potencial de invasão do sagui *Callithrix penicillata* (É. Geoffroy, 1812) no território brasileiro. Dissertação (Mestrado em Comportamento e Biologia Animal). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 53 f.

Vale, C. A.; Prezoto, F. 2016. Papel dos primatas do gênero *Callithrix* na manutenção das relações ecológicas em áreas defaunadas na Floresta Atlântica. **CES Revista**, 30 (2) 19-33

Vale, C. A.; Prezoto, F. (2017). A culpa não é do macaco: os primatas e a febre amarela. **Multiverso**, 2 (1),1-12

Vale, C. A.; JUNIOR, V. S.; PREZOTO, F. Febre amarela: o mosquito, o macaco e o ser humano. **Ces Revista**, v. 32, n. 2, 2018.

Vale, M. M., Lorini, M. L., & Cerqueira, R. 2015. Neotropical wild cats susceptibility to climate change. **Oecologia Australis**, 19 (1), 63– 88.

Wiederholt, R., & Post, E. 2011. Birth seasonality and offspring production in threatened neotropical primates related to climate. **Global Change Biology**, 17(10), 3035-3045

WWF, World Wide Found for Nature. 2008. **As espécies e o clima**. Disponível em:http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/expedicao_darwin_/as_especies_e_o_clima/. Acesso em: 02 abr. 2019.

Yin, L., Fu, R., Shevliakova, E., & Dickinson, R. E. 2013. How well can CMIP5 simulate precipitation and its controlling processes over tropical South America? **Climate Dynamics**, 41(11), 3127– 3143

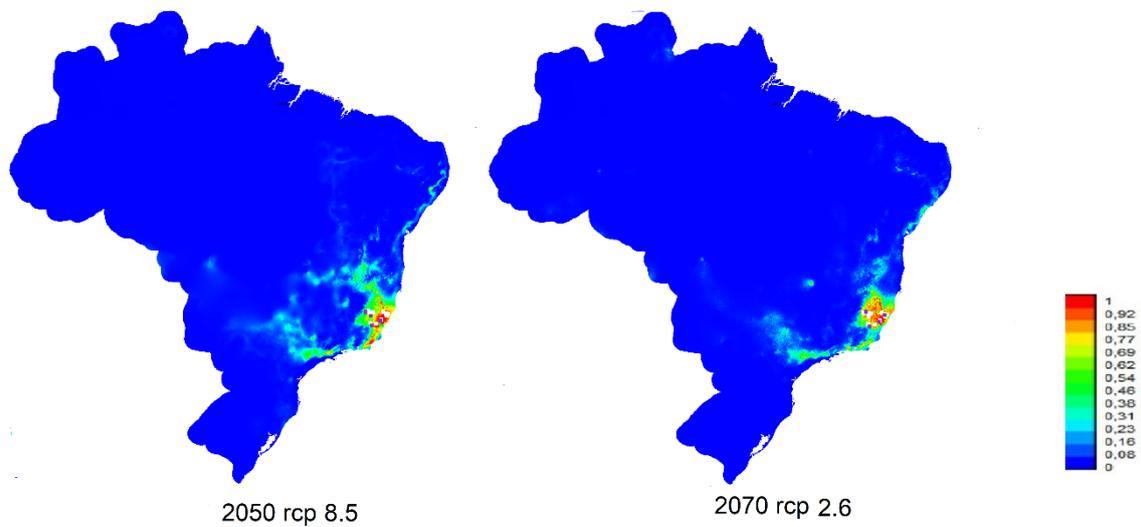
Anexo I*Callithrix flaviceps*

Figura 1 - Áreas de adequação encontradas para *C. flaviceps* nos modelos no cenário 2050 Rcp 8.5 e no cenário 2070 Rcp 2.6. Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência

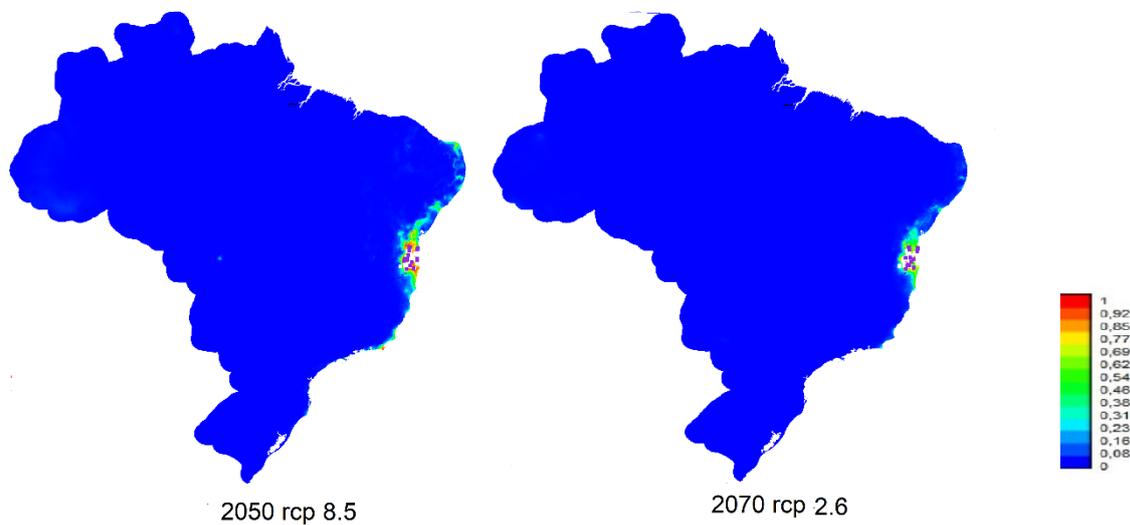
Callithrix kuhlii

Figura 2 - Áreas de adequação encontradas para *C. kuhlii* nos modelos no cenário 2050 Rcp 8.5 e no cenário 2070 Rcp 2.6. Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência

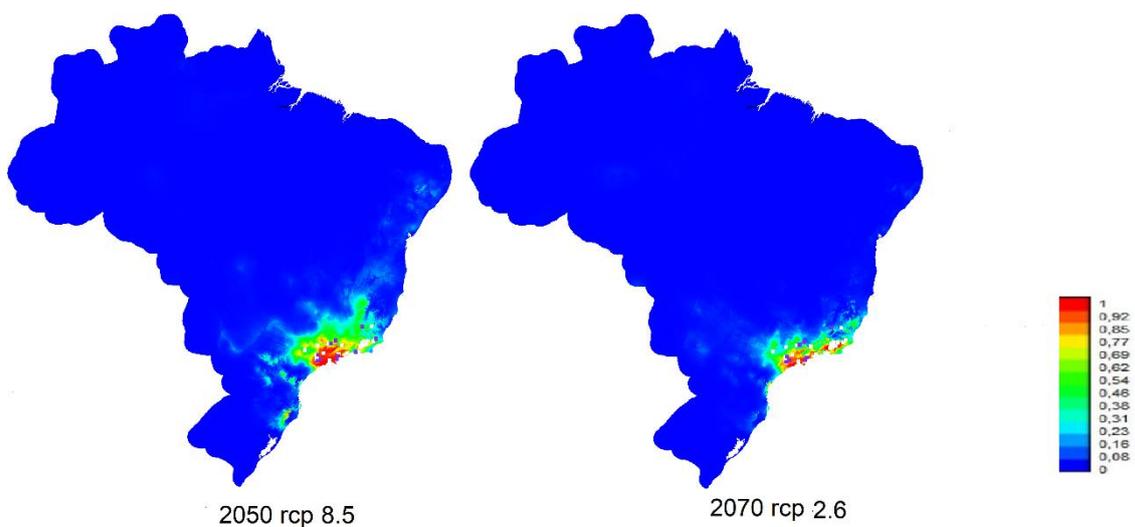
Callithrix aurita

Figura 3 - Áreas de adequação encontradas para *C. aurita* nos modelos no cenário 2050 Rcp 8.5 e no cenário 2070 Rcp 2.6. Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência

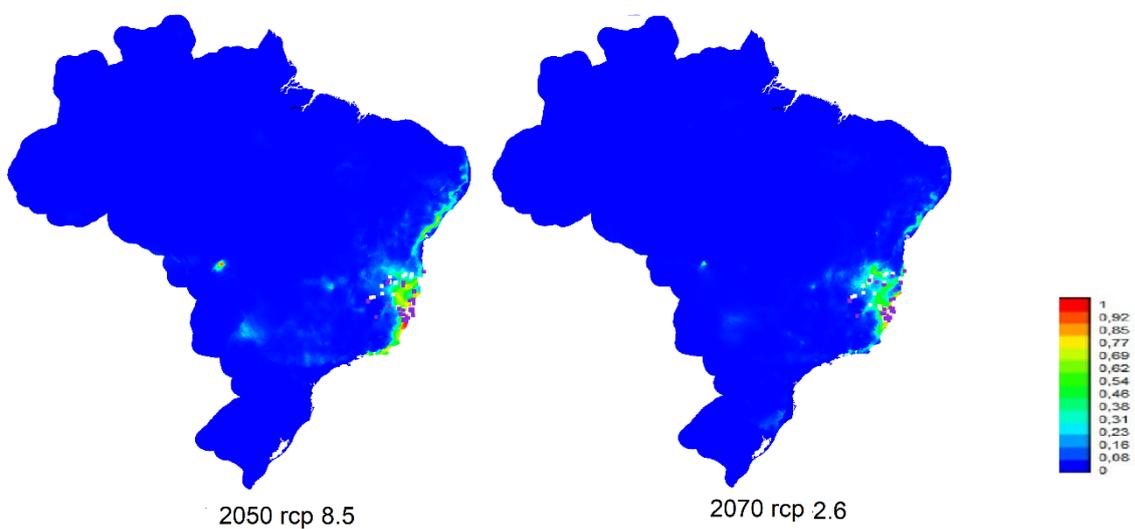
Callithrix geoffroyi

Figura 4 - Áreas de adequação encontradas para *C. geoffroyi* nos modelos no cenário 2050 Rcp 8.5 e no cenário 2070 Rcp 2.6. Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência

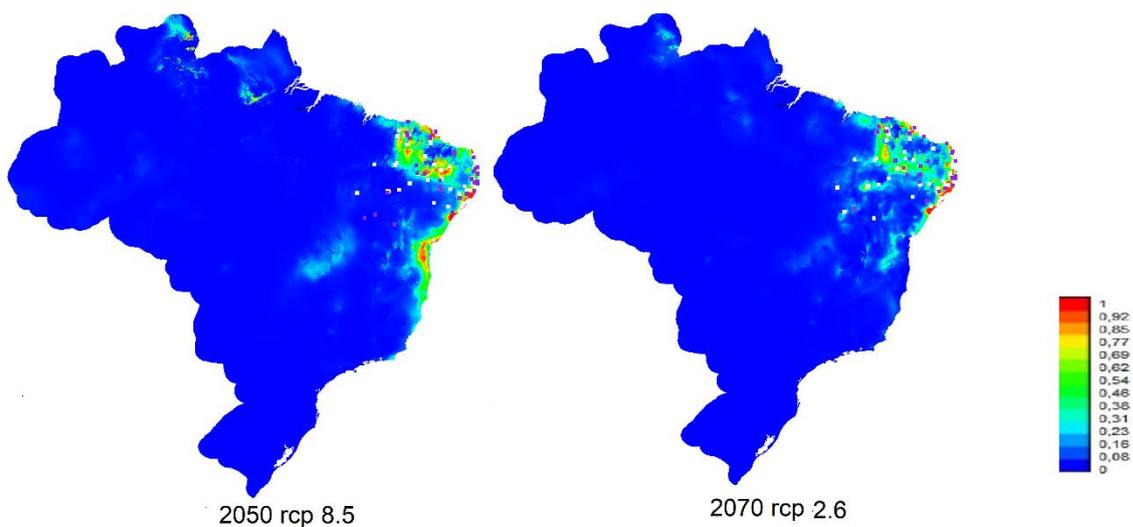
Callithrix jacchus

Figura 5 - Áreas de adequação encontradas para *C. jacchus* nos modelos no cenário 2050 Rcp 8.5 e no cenário 2070 Rcp 2.6. Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência

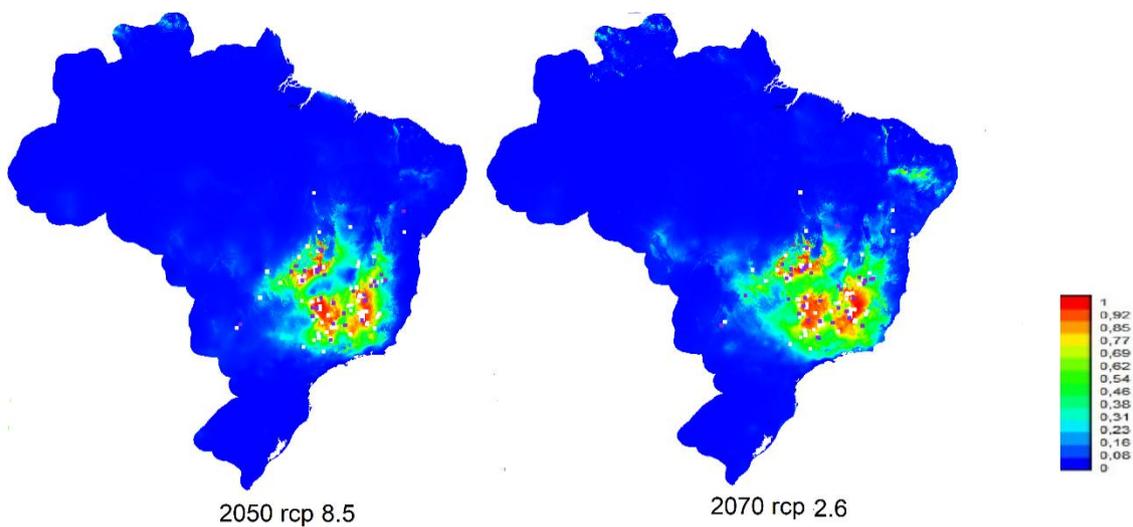
Callithrix penicillata

Figura 6 - Áreas de adequação encontradas para *C. penicillata* nos modelos no cenário 2050 Rcp 8.5 e no cenário 2070 Rcp 2.6. No cenário pessimista as setas sinalizam o deslocamento das áreas ao longo do tempo. Legenda o 0 (zero), indica baixa e o 1 (um) alta probabilidade de ocorrência

Capítulo 2- Epizootias em primatas não humanos durante o surto de febre amarela em Juiz de Fora -MG

Resumo

Entre 2016 e 2018 ocorreu um surto de febre amarela no Estado de Minas Gerais, o município de Juiz de Fora foi atingido entre 2017 e 2018, sendo esse o maior surto para febre amarela, já registrado na cidade. Primatas não humanos e pessoas foram contaminados pela doença, Juiz de Fora registrou o maior número de casos humanos em todo o estado de Minas Gerais. Esse trabalho teve como objetivo relatar as epizootias em Primatas não Humanos, notificadas ao Sistema de Vigilância de Epizootias de Juiz de Fora Minas Gerais, entre janeiro de 2017 e dezembro de 2018, e trazer dados informações sobre os primatas atingidos pelo surto de febre amarela, além de informações sobre os casos humanos da febre amarela, e cobertura vacinal do município. O sistema de vigilância em PNH registrou 216 notificações de epizootias. Ao todo 17 primatas diagnóstico positivo para febre amarela, e a maior parte das notificações de epizootias ocorreu em áreas urbanas e Periurbanas 52% (108). A vigilância em PNH permitiu uma rápida resposta do sistema de saúde em Juiz de Fora, diminuindo a expansão da doença. Não se sabe ainda as consequências para as populações de PNH atingidas por essa epidemia de febre amarela. Porém sabe-se que nos próximos anos se as mudanças climáticas previstas se concretizarem o risco de reurbanização da febre amarela pode ser ainda maior, por isso ações que visem a vacinação da população para febre amarela e o combate do vetor *Aedes aegypti* devem ser contínuas.

Palavras-chave: alterações climáticas, epizootias, epidemia, Primatas não Humanos.

Introdução

Na atualidade as arboviroses têm sido motivo de preocupação para a saúde pública, estima-se que haja mais de 545 espécies de arbovírus, dentre as quais, mais de 150 são relacionadas com doenças em seres humanos. A tendência é que essa preocupação aumente ainda mais nos próximos anos devido a vários fatores ligados principalmente as mudanças climáticas e ambientais que estão ocorrendo no mundo e, têm colocado em risco a saúde humana, o bem-estar e a segurança da população de diversas formas (Barcellos et al., 2009; IPCC, 2014).

Indiretamente os eventos climáticos podem alterar fatores relacionados ao meio ambiente, a qualidade da água e do ar e conseqüentemente a ecologia de vetores (por exemplo, mosquitos) de agentes infecciosos (PBMC, 2013, IPCC, 2014), alterando a distribuição espacial e a dinâmica populacional de

vetores de doenças infecciosas e parasitárias endêmicas, tais como as espécies de mosquitos que transmitem a dengue e a malária (Barcellos et al., 2009; PBMC, 2013). Espera-se que nos próximos anos o aquecimento global promova um aumento nos casos de doenças infecciosas veiculadas por insetos (IPCC, 2014; 2018).

No contexto epidemiológico brasileiro contemporâneo, as arboviroses de maior circulação são a dengue a chikungunya, e o zika, seguidos pelo o vírus da febre amarela. Outras arboviroses com circulação no país como Mayaro, Oropouche, encefalite de Saint Louis e o rocio apesar de menos comuns possuem potencial de disseminação (Donalisio & Glasser, 2002; Lopes et al., 2014; Neves & Machado, 2016)

Enquanto nas áreas urbanas e periurbanas os mosquitos do gênero *Aedes* são os principais transmissores da dengue, Chikungunya e Zika (Donalisio et al. 2017). Os mosquitos do gênero *Culex* são responsáveis pela transmissão de arboviroses como a Febre do Nilo ocidental e a encefalite de Saint Louis (Ministério da Saúde, 2017a). A transmissão da febre amarela, que no momento restringe-se as regiões silvestres, ocorre através da picada de mosquitos dos gêneros *Haemagogus* ou *Sabethes* (Lopes et al., 2014; Donalisio, 2017) e envolve principalmente primatas em ciclos enzoóticos.

Os primatas são suscetíveis a vários patógenos comuns aos humanos, por possuírem características genéticas e fisiológicas semelhantes a deles (Wolfe et al. 1998; Batista et al. 2013). E devido aos seus hábitos arbóreos e diurnos, os primatas não humanos são mais frequentemente infectados por arbovírus do que outros animais terrestres. Quando se alimentam nas copas das árvores, onde normalmente circulam os vetores, eles se contaminam (Batista et al. 2013).

Atualmente a febre amarela silvestre é uma doença endêmica no Brasil (i.e., região amazônica). Na região extra amazônica, períodos epidêmicos são registrados ocasionalmente, caracterizando a reemergência do vírus no País (Vasconcelos, 2003). O padrão temporal de ocorrência é sazonal (dezembro e maio) e com surtos que ocorrem com periodicidade irregular.

Entre 2016 e 2018 ocorreu um surto de febre amarela no Estado de Minas Gerias, com epizootias sendo registradas em vários municípios do estado, o município de Juiz de Fora foi atingido por esse surto em 2017 e 2018. Por isso

esse trabalho teve como objetivo relatar as epizootias, notificadas ao Sistema de Vigilância de Epizootias no estado de Minas Gerais, e ao Setor de zoonoses de Juiz de Fora, entre janeiro de 2017 e dezembro de 2018, e trazer dados informações sobre os primatas atingidos pelo surto de febre amarela, discutir a importância da vigilância em epizootias em primatas em situações de emergência de surtos de febre amarela. Além de informações sobre os casos humanos da febre amarela, e a cobertura vacinal do município

Material e métodos

Área de estudo

O município Juiz de Fora possui uma área de 1.435,749 km² e está localizado no estado de Minas Gerais, na região da Zona da Mata Mineira, a sudeste da capital do estado, a cerca de 283 km de distância desta. Com uma população atual de 568.873 habitantes (IBGE, 2020). A cidade está localizada no bioma de Floresta Atlântica e possui uma fauna de primatas compostas pelas espécies *C. penicillata*, *Alouatta guariba* (Humboldt,1812), *Callicebus nigrifrons* (Spix,1823) e *Sapajus nigrurus* (Goldfuss,1809), todas as quatro espécies de primatas tem ocorrência na zona urbana e periurbana da cidade (Figura 1).

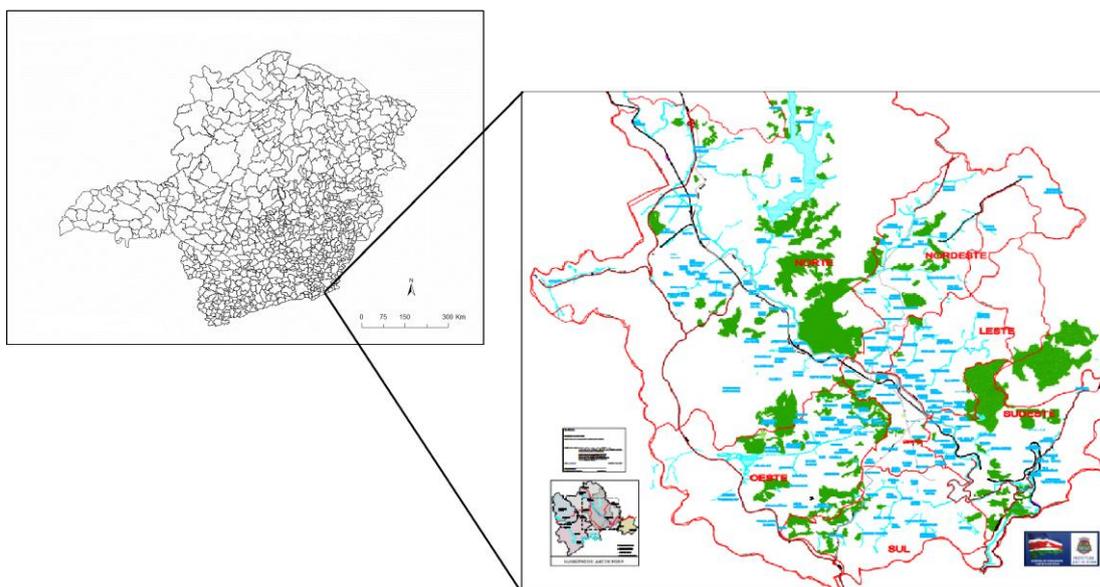


Figura 1: Mapa do município de Juiz de Fora, e sua localização dentro do município do estado de Minas Gerais. Fonte: Base Cartográfica do IBGE, Prefeitura de Juiz de Fora.

Dados do estudo

Os dados desse estudo foram as epizootias em Primatas não humanos (PNH), notificadas ao setor de zoonoses do município de Juiz de Fora do estado de Minas Gerais, durante o período de 10/01/2017 a 30/10/2018, o acesso a esses dados foi concedido e autorizado pela secretária de zoonoses em 21 de novembro de 2018. As notificações geralmente foram feitas espontaneamente pela população residente às autoridades municipais de vigilância epidemiológica. Sempre que uma epizootia era notificada/ comunicada à secretária de zoonoses ou a autoridades competentes, uma equipe ia até o local, confirmar a notificação, realizar o recolhimento do animal e a coleta de dados. Nessas notificações é necessário realizar o preenchimento compulsório da Ficha de notificação/ investigação de epizootia padrão do Ministério da Saúde para todo o território nacional (Anexo 2). Os dados coletados das epizootias notificadas foram informados ao Sinan (Sistema de Informação de Agravos de Notificação). Que tem como objetivo coletar, transmitir e disseminar dados gerados rotineiramente pelo Sistema de Vigilância Epidemiológica das três esferas de Governo, por meio de uma rede informatizada, para apoiar o processo de investigação e dar subsídios à análise das informações de vigilância epidemiológica das doenças de notificação compulsória (Sinan, 2016).

Quando ocorria a notificação e as condições do animal permitiam, era realizada coleta de material biológico, do fígado e outros órgãos como o baço, rim, cérebro, coração e pulmão. O material coletado era enviado para análise na Fundação Ezequiel Dias (Funed), laboratório referência, em Belo Horizonte, para a realização do exame diagnóstico de febre amarela, se necessário também era realizada uma necropsia do animal, ou animais encontrados.

Para complementar o trabalho foram realizadas pesquisas nos portais governamentais do Ministério da Saúde (MS), da Secretária de Estado de Saúde de Minas Gerais (SES MG) e da Prefeitura Municipal de Juiz de Fora (PMJF), foram consultados livros e manuais técnicos, boletins epidemiológicos e dados da cobertura vacinal, afim de se obter uma maior quantidade de informações sobre os últimos surtos da febre amarela.

Análise dos dados

O software Excel (2013), foi utilizado para plotagem, análise dos dados e na elaboração dos gráficos. Os locais de ocorrência foram georreferenciados através da ferramenta geoloc (splink.cria.org.br/geoloc) e do Google Earth. O programa DIVA- GIS (www.diva-gis.org/download) foi utilizado na construção dos mapas, os shapes do município de Juiz de Fora foram obtidos no site da SEPLAG JF (SEPLAG JF, 2019)

Resultados e discussão

Entre fevereiro de 2017 a novembro de 2018, 216 epizootias em primatas não humanos (PNH) foram notificadas ao setor de zoonoses da prefeitura municipal de Juiz de Fora - MG, sendo 70 em 2017 e 146 em 2018. Os PNH pertenciam, em sua grande maioria, ao gênero *Callitrix* (saguis), sendo registrados também primatas do gênero *Alouatta* (bugio) e do gênero *Callicebus* (sauás). Em relação ao ambiente, 48% dos óbitos de PNH se deram em áreas silvestres, o restante foi registrado em áreas urbanas ou periurbanas. Os animais foram encontrados em domicílios, parques, praças, zoológicos, áreas silvestres e em via pública (campo "outros" da ficha de notificação do SINAN) (Figura 2)



Figura 2: Primatas encontrados mortos em Juiz de Fora - MG durante a última reemergência de Febre Amarela na região Sudeste do Brasil. A) Sagui (*Callithrix penicillata*), encontrado morto na Praça Jarbas de Lery em Juiz de Fora-MG em 2017. B) Sagui (*Callithrix penicillata*), encontrado morto no bairro Granjas Triunfo em Juiz de Fora- MG em 2018. Fonte: Acessa, 2017; G1- Zona da Mata, 2018a

A coleta de material ocorreu em 91 casos (87 animais coletados mortos e 4 coletados doentes, vindo a óbito em sequência). A falta de coleta nos demais casos deu-se, ou pelo avançado estado de decomposição do animal em questão ou porque o mesmo já havia sido retirado do local antes da chegada da Vigilância Epidemiológica da Prefeitura Municipal de Juiz de Fora. Dos 91 PNH nos quais foi realizada a coleta de material, 14 tiveram resultados positivo para Febre amarela (Figura 3). Destes nove eram exemplares de *Callithrix*, quatro de *Alouatta* e um de *Callicebus*.

Muitos animais foram encontrados com sinais de atropelamento, agressões e envenenamento. Ataques intencionais a primatas foram motivados principalmente pelo medo aliado a falta de informação que levaram muitas pessoas a acreditarem que os macacos transmitiam febre amarela as pessoas. Casos similares ocorreram em vários locais do país (Vale & Prezoto, 2017; Vale et al., 2018).

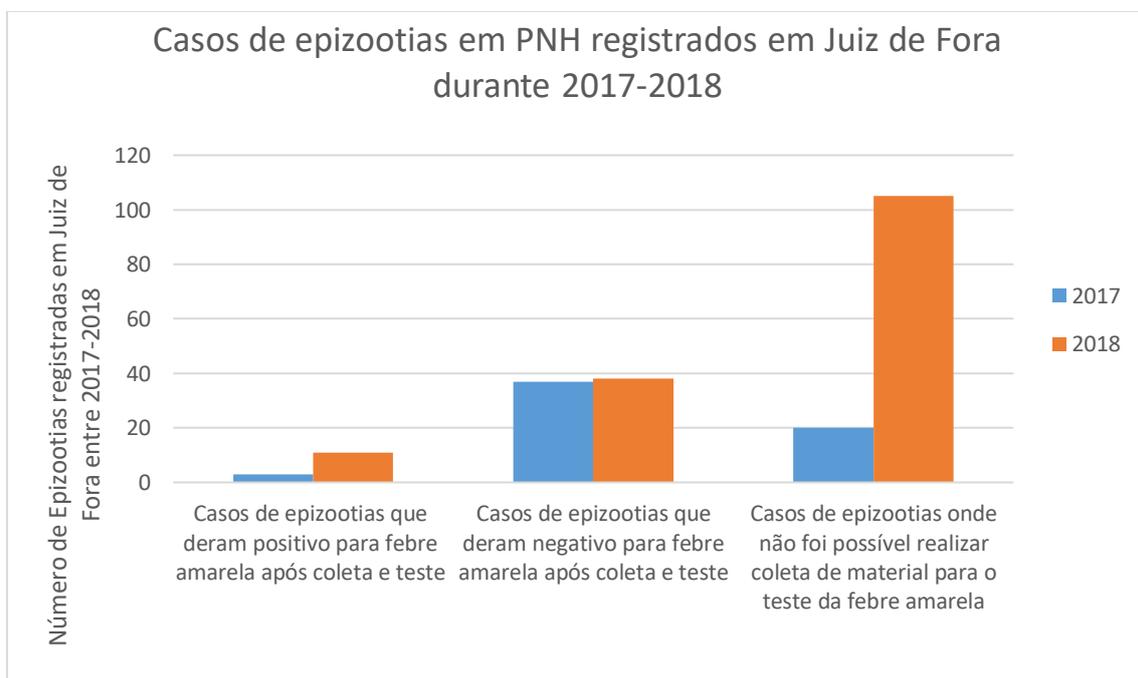


Figura 3: Casos de epizootias em PNH registrados em Juiz de Fora durante os anos de 2017 e 2018

O sistema de vigilância de epizootias em Primatas não humanos (PNH), foi criado Ministério da Saúde em 1999, com o intuito de registrar os eventos epidemiológicos nas populações de macacos e auxiliar na identificação de vírus

em ambientes onde os seres humanos possam ser expostos e contaminados (Romano et al., 2014; Ministério da Saúde, 2017a).

Desde então ele vem registrando as epizootias de febre amarela no Brasil, segundo os dados do Ministério da Saúde, durante os últimos surtos da doença no país, os primatas mais afetados foram os dos gêneros *Callithrix* e *Alouatta* seguido pelos gêneros *Sapajus* e *Cebus* (Ministério da Saúde, 2014; 2015; 2017b). Em Juiz de Fora foram notificados casos de febre amarela em *Callithrix*, *Alouatta* e *Callicebus*. Além das espécies, *C. penicillata* (mico-estrela), *A. guariba* (bugio), *C. nigrifrons* (sauá) no município de Juiz de Fora também há ocorrência de *S. nigritus* (macaco-prego) (Figura 4), para qual não ocorreram registros de epizootias. Isso pode ter ocorrido primeiramente, porque apesar das espécies do gênero *Sapajus spp.* serem facilmente infectados pelo vírus da febre amarela, essas apresentam baixos índices de letalidade, pois, em geral adquirem imunidade (Moreno et al., 2011; 2013). E também ao fato de que epizootias são subnotificadas uma vez que muitos primatas acabam morrendo no interior de matas onde a circulação de pessoas é pequena, fazendo com que muitas mortes passem despercebidas pelos setores de vigilância epidemiológica.



Figura 4: Espécies de primatas que ocorrem no município de Juiz de Fora- MG. A) *Alouatta guariba* B) *Callithrix penicillata*, registrado no parque da Lajinha em Juiz de Fora C) *Sapajus nigrurus* registrado em Monte Verde, Juiz de Fora D) *Callicebus nigrifrons*. Fonte: A) ICMBIO, 2019a; B) Arquivo pessoal do autor, 2018; C) Barbosa, 2015; D) ICMBIO, 2019b

No ciclo silvestre do vírus amarílico, os mosquitos gênero *Haemagogus* e *Sabethes* atuam como vetores e principais reservatórios, os macacos entram no ciclo da doença como hospedeiros amplificadores da doenças e os seres humanos como hospedeiros acidentais uma vez que se contaminam quando adentram em áreas florestadas ou residem próximo a elas (Vasconcelos, 2003; Monath & Vasconcelos, 2015). No país a febre amarela urbana foi eliminada em 1942, com a última epidemia urbana sendo registrada no município de Sena Madureira no estado do Acre (Vasconcelos, 2003). Até o ano 2000 a ocorrência da febre amarela silvestre era restrita as regiões Norte e Centro-Oeste do país,

quando a notificação de casos à OMS para toda a América do Sul era de cerca de 300 casos anuais (Jentes et al., 2011). No entanto houve uma expansão geográfica do vírus a partir do ano 2000 para áreas do sudeste e sul do país com surtos ocorrendo em locais que ficaram insetos da circulação do vírus durante décadas (Moreno et al., 2013) (Tabela 1).

Tabela 1: Epizootias para primatas não humanos (PNH) notificadas entre 2001-2018, número de animais acometidos por ano/ período e os Estados que tiveram notificações. Fonte: Boletins Epidemiológicos do Ministério da Saúde 2014, 2015, 2017b e 2018; Araújo et al. (2011); Sallis et al. (2003)

Ano/Período	Nº de epizootias em PNH notificadas	Nº de animais mortos	Estados afetados
2001	82	80	RS, MG, AP, RO, RR, TO
Outubro de 2007 a Maio de 2008	596	987	BA, MA, PI, DF, GO, MT, MS, ES, MG, SP, PR, RS
Junho de 2008 a Junho de 2009	1.898	2.615	RO, RR, MA, DF, MT, MS, MG, SP, PR, SC, RS
Julho de 2012 a Junho de 2013	125	181	TO, CE, RN, BA, DF, MS, GO, MT, MG, SP, PR, SC, RS
Julho de 2014 a Junho de 2015	205	234	PA, TO, GO, MS
Dezembro de 2016 a Junho de 2017	5.364	7.000	TO, AP, PA, BA, GO, DF, MS, MT, ES, RJ, MG, SP, RS, SC, PR
Julho de 2017 a junho de 2018	9.154	< 9.154	AP, RO, RR, TO, PA, AL, BA, CE, MA, PB, PE, RN, SE, DF, GO, MT, MS, ES, MG, RJ, SP, PR, RS, SC

No surto de 2001, doze municípios Mineiros da região centro-oeste tiveram notificações de epizootias e casos confirmadas para a doença, em 2002 foram seis municípios localizados na região do alto Jequitinhonha. Durante o surto de 2008-2009 dois casos foram confirmados no noroeste de Minas e na

zona da mata (município de Ubá) (SES MG, 2018a). Entre 2010 e 2016 não foram registrados casos da doença no estado, em humanos ou PNH (SES MG, 2018a). Durante o período de Janeiro de 2017 a junho de 2018, Minas Gerais foi o segundo estado no país que mais notificou epizootias. Entre o período de monitoramento foram registrados entre 2016/2017 475 casos humanos confirmados de febre amarela silvestre no estado destes, 162 evoluíram para óbito em 2017/ 2018 528 foram confirmados e 177 evoluíram para óbito. E Juiz de Fora, que nos últimos surtos não havia tido notificações da doença, ficou entre as cinco cidades do estado que tiveram maior número de notificações de epizootias. Juiz de Fora foi também a cidade do estado que teve o maior número de mortes de pessoas confirmadas para Febre Amarela, no total 81 casos foram notificados, 47 confirmados foram confirmados para febre amarela e desses 14 vieram a óbito (PMJF, 2017a, 2018; SES MG, 2017, 2018b, 2019a).

O monitoramento das epizootias em PNH na cidade, através do sistema de vigilância (Figura 5) permitiu uma rápida ação das autoridades de saúde, o surto de febre amarela conseguiu ser controlado e não atingiu maiores proporções. Em 2016 antes do início do surto a cobertura vacinal acumulada da cidade era de 82%. Em 2017 quando foram confirmados os primeiros casos de morte PNH por febre amarela, campanhas de vacinação ocorreram no município, naquele ano a cobertura vacinal chegou a 89%. No final de 2017 e início de 2018 quando novos casos de mortes PNH foram confirmados, as ações de bloqueio por vacinação se intensificaram, ocorrendo inclusive de porta em porta nos locais onde ocorreu confirmação de mortes em PNH e humanos, a cobertura vacinal atingiu os 100% em 2018 (Ministério da Saúde, 2019). Atualmente Juiz de fora possui uma cobertura vacinal acumulada para Febre Amarela de 105%, valor superior à média do estado de Minas Gerais que atualmente é em torno de 92,71%.

As ações também envolveram o fechamento de parques urbanos onde viviam populações de primatas, as medidas tiveram como intenção não só a proteção dos moradores da cidade, uma vez que houve confirmação de animais contaminadas nos locais, mas também dos próprios primatas, que foram encontrados mortos com sinais de agressão e envenenamento por ação humana, nesses locais após a confirmação da doença nos parques (Alberto, 2017; G1 Zona da Mata, 2018b).

Segundo o último Boletim Epidemiológico Secretária de Estado de Saúde de Minas Gerais, não foram registrados casos humanos de Febre Amarela no Estado durante o ano de 2019, e apenas um caso em PNH no município de Varginha (SES MG, 2019b).

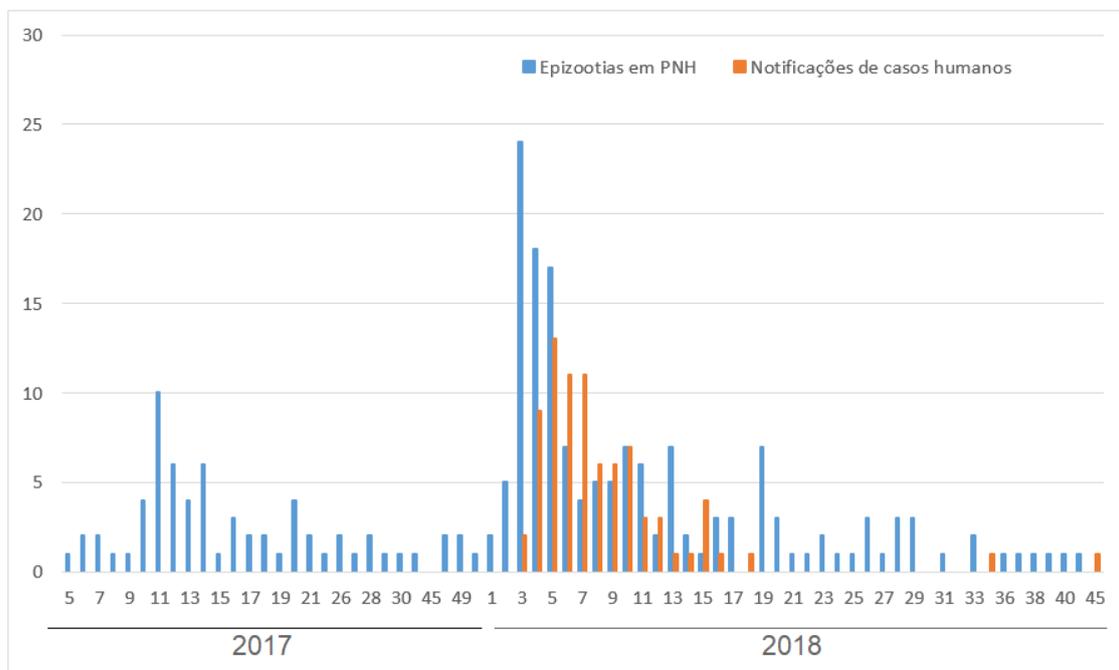


Figura 5: Notificações de epizootias em Juiz de Fora para PNH (azul), e notificações de casos suspeitos de febre amarela em Humanos (Laranja) por semana epidemiológica nos anos de 2017 e 2018 no município de Juiz de Fora Minas, Gerais.

Essa recente reemergência, a partir de 2000 do vírus da febre amarela fora região extra amazônica, com a expansão das áreas de circulação viral documentadas durante a década anterior, reacendeu a preocupação dos órgãos de saúde do país com a doença (Cavalcante & Tauil, 2017). As áreas atingidas nos últimos surtos (em PNH e humanos), principalmente nas regiões Sudeste e Sul do país, foram áreas silvestres, próximas a grandes centros urbanos, densamente povoados, com uma alta densidade de infestação pelo *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) e cuja população em grande parte, não estava imunizada contra a Febre Amarela (Romano et al., 2014; Cavalcante & Tauil; 2017).

As novas epidemias também aumentaram o receio da reurbanização da Febre Amarela no Brasil, pois grande número dos casos ocorreu em locais que reúnem fatores que favorecem esse risco (Cavalcante & Tauil; 2017).

Mais da metade das epizootias notificadas (52%) registradas em Juiz de Fora, foram na zona urbana ou periurbana, com casos confirmados de febre amarela nos Bairros: São Pedro, Aeroporto, Previdenciários e no Museu Mariano Procópio. Na cidade a população de primatas ocorre em diversas áreas urbanas e periurbanas, desde pequenos fragmentos localizados em bairros, a parques municipais e praças (Figura 6).

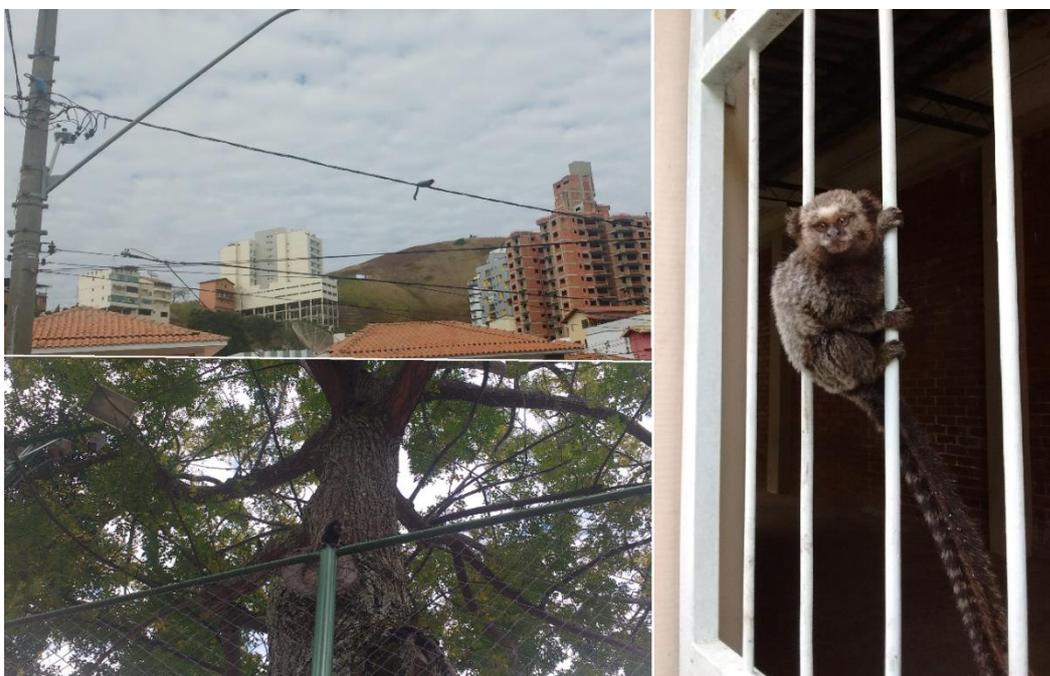


Figura 6: PNH, da espécie *Callithrix penicillata*, registrados em área urbana no município de Juiz de Fora, Minas Gerais. Fonte: Arquivo Pessoal, 2017, 2018

Em Juiz de Fora ocorre a circulação do *A. aegypti* na área urbana, os LiRAa (Levantamento Rápido do Índice de Infestação do *A. aegypti*) realizados pela prefeitura nos primeiros trimestres de 2017 e 2018, durante o período do surto da febre amarela, tiveram índice de 4,8% e 3,9% respectivamente (Figura 7) (PMJF, 2017b). Para o Ministério da Saúde valores acima de 4% já representam risco de epidemia.

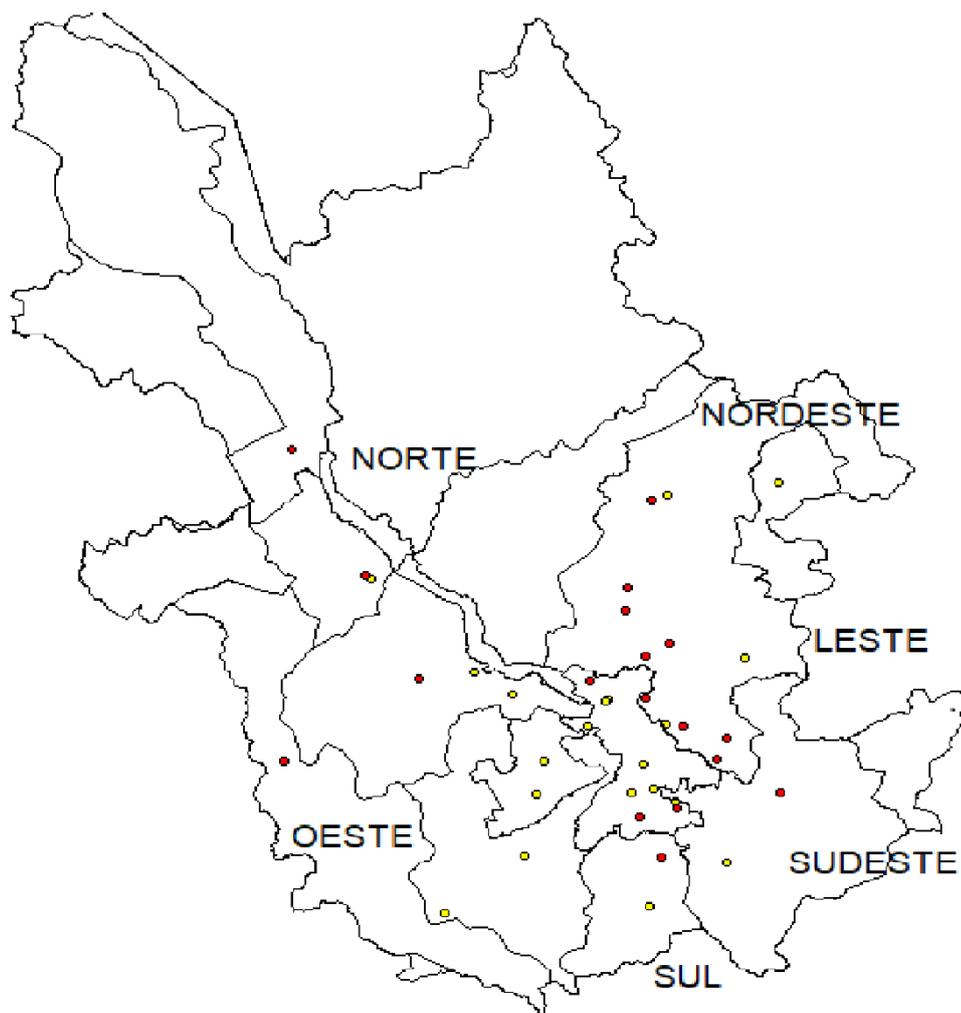


Figura 7: Mapa do município de Juiz Fora, dividido por regiões. Onde pontos em amarelo representam epizootias em PNH notificadas em área urbana e os pontos em vermelho os bairros onde os LIRAA realizados em 2017 e 2018 apresentaram o maior número de focos do *Aedes aegypti*.

Estudos epidemiológicos vêm demonstrando relações entre a evolução das doenças e os parâmetros climáticos, esses últimos vêm causando mudanças na distribuição geográfica e na sazonalidade das doenças, particularmente nos patógenos transmitidos por mosquitos vetores (Tseng et al., 2009; Li et al., 2018). A variação no número de casos de doenças veiculadas por vetores está intimamente relacionada a eventos meteorológicos e mudanças climáticas (IPCC, 2014, 2019; Li et al.; 2018).

O mosquito *A. aegypti* a exemplo considerado o principal vetor do vírus da Dengue, Febre amarela urbana e da Febre Chikungunya e zika vírus, é suscetível à variação de fatores ambientais como, quantidade de chuva e temperatura. Esses fatores são responsáveis por regular o tamanho

populacional e aspectos da biologia do mosquito, como o crescimento larval, tempo de desenvolvimento, tamanho corporal, longevidade, fecundidade e alimentação sanguínea (Tseng et al., 2009; Li et al., 2018). Para o vírus febre amarela um conjunto de fatores socioambientais, permitem que ele encontre condições favoráveis para a transmissão como alta pluviosidade e elevadas temperaturas, além da alta densidade de vetores e hospedeiros primários; indivíduos suscetíveis e baixas coberturas vacinais (Monath & Vasconcelos, 2015; SES MG, 2017)

Os possíveis impactos na saúde das populações humanas, decorrentes de processos consequentes à mudança climática global, têm sido objeto de atenção não apenas por instituições acadêmicas e governos nacionais, mas também por órgãos e programas intergovernamentais, específicos do setor saúde.

Considerações Finais

Entre janeiro de 2017 e dezembro de 2018, foram notificadas epizootias em 379 municípios Mineiros, com a confirmação ocorrendo em mais de 150. Juiz de Fora viveu seu pior surto da doença, a febre amarela foi diagnosticada em 14 dos 91 PNH testados (ocorrência de 15%) e 47 casos humanos foram confirmados para a doença, a cidade teve o maior número de casos em todo o estado.

Os PNHs são sentinelas eficazes da febre amarela, o monitoramento das epizootias nas populações de PNHs permitem uma rápida resposta do órgãos de saúde, para a intensificação de campanhas de vacinação, a condução e o diagnóstico adequados de casos suspeitos e outras ações que visem a contenção do surto. A rápida resposta do sistema de saúde em Juiz de Fora pode ter evitado mais mortes humanas e diminuído da expansão da doença.

Não se sabe ainda as consequências curto e longo prazo, para as populações de PNH da Floresta Atlântica que foram atingidas por essa epidemia de febre amarela. Porém sabe-se que nos próximos anos se as mudanças climáticas previstas se concretizarem o risco de reurbanização da febre amarela pode ser ainda maior, por isso ações que visem o combate do vetor *A. aegypti* devem ser contínuas assim como vacinação preventiva e a intensificação da vigilância no período sazonal.

Referências

Acessa.com. **Mais um macaco é encontrado morto no bairro São Matheus**, 2017. Disponível em: <https://www.acesa.com/saude/arquivo/noticias/2017/04/17-mais-macaco-encontrado-morto-bairro-sao-mateus/>. Acesso em 20 ago. 2019.

Alberto, F. **Prefeitura de Juiz de Fora encontra mais macacos mortos e fecha parque**. 2017, G1- Zona da Mata. Disponível em: <http://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2017/04/prefeitura-de-juiz-de-fora-encontra-mais-macacos-mortos-e-fecha-parque.html>. Acesso em 20 ago. 2019.

Araújo, F. A. A. et al. 2011. Epizootias em primatas não humanos durante reemergência do vírus da febre amarela no Brasil, 2007 a 2009. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, 20 (4), 527-536.

Barcellos, C.; Monteiro, A. M. V., Corvalán, C., Gurgel, H. C., Carvalho, M. S., Artaxo, P.; Ragoni, V. 2009. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, 18 (3), 285-304.

Batista, P. M., Andreotti R., Almeida P. S., Marques A. C., Rodrigues S. G., Chiang J. O. et al. 2013. Detection of arboviruses of public health interest in free-living New World primates (*Sapajus* spp.; *Alouatta caraya*) captured in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, 46(6), 684-90.

Cavalcante, K. R. L. J.; Tauil, P. L. 2017. Risco de reintrodução da febre amarela urbana no Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, 26, 617-620.

Donalísio, M. R; Glasser, C.M. 2002. Vigilância entomológica e controle de vetores da dengue. **Revista Brasileira de Epidemiologia**. São Paulo, 5 (3), 259-272.

Donalísio, M. R.; Freitas, A. R. R.; Von Zuben, A. P. B. 2017. Arboviroses emergentes no Brasil: desafios para a clínica e implicações para a saúde pública. **Revista de Saúde Pública**, 51, 1-6.

G1- Zona da Mata. 2018a. **Macaco é encontrado morto no bairro Granjas Triunfo em Juiz de Fora**. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/macaco-e-encontrado-morto-no-bairro-granjas-triunfo-em-juiz-de-fora.ghtml>. Acesso em: 28 ago. 2019.

G1- Zona da Mata. 2018b. **Prefeitura de Juiz de Fora mantém Museu Mariano Procópio fechado até maio**. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/prefeitura-de-juiz-de-fora-mantem-museu-mariano-procopio-fechado-ate-maio.ghtml>. Acesso em: 28 ago. 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2020. **Cidades e Estados: Juiz de Fora-MG**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/juiz-de-fora.html>. Acesso em: 28 ago. 2019.

IPCC. 2014. **Climate Change 2014: Synthesis report**. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf. Acesso out de 2019.

IPCC. 2018. **Special Report on Global Warming of 1.5°C**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/download/>. Acesso out de 2019

Jentes, E. S.; Gilles Pomerol, M.D.; Gershman, M. D.; Hill, D. R.; Lemarchand, J.; Rosamund, F. L.; Staples, J. E.; Tomori, O.; Wilder-Smith, A.; Monath, T. 2011. The revised global yellow fever risk map and recommendations for vaccination, 2010: consensus of the Informal WHO Working Group on Geographic Risk for Yellow Fever. **The Lancet Infectious Diseases**, 11 (8), p. 622 - 632.

LI, Chenlu et al. Climate change and dengue fever transmission in China: evidences and challenges. **Science of the Total Environment**, v. 622, p. 493-501, 2018.

Lopes, N.; Nozawa, C. & Linhares, R.E.C. 2014. Características gerais e epidemiologia dos arbovírus emergentes no Brasil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, 5 (3), 55-64.

Ministério da Saúde. **Boletim epidemiológico: aspectos epidemiológicos da febre amarela silvestre e a vigilância intensificada durante período de monitoramento, 2012/2013**. Brasília, 2014. Disponível em: [http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2014/maio/27/BE-V45-n---07-Febre Amarela.pdf](http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2014/maio/27/BE-V45-n---07-Febre%20Amarela.pdf). Acesso em: 14 jul. 2018.

_____. **Boletim epidemiológico: reemergência da febre amarela silvestre no Brasil, 2014/2015, situação epidemiológica e a importância da vacinação preventiva e da vigilância intensificada no período sazonal**. Brasília, 2015. Disponível em: <http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2015/outubro/19/2015-032---FA-ok.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2018.

_____. **Guia de vigilância de epizootias em primatas não humanos e entomologia aplicada à vigilância da febre amarela**. 2. ed. Brasília: MS/CGDI, 2017a. 100 p.

_____. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Boletim epidemiológico: emergência epidemiológica de febre amarela no Brasil, no período de dezembro de 2016 a julho de 2017**. Brasília, 2017b. Disponível em: http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2017/setembro/06/2017_027.pdf. Acesso em: 25 jul. 2018

_____. **Monitoramento do Período Sazonal da Febre Amarela Brasil – 2017/2018**. Informe nº 27 | 2017/2018. Brasília, 2018. Disponível em: <http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/outubro/08/Informe-FA.pdf>. Acesso nov. 2019.

_____. **Programa Nacional de Imunizações**, 2019. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?pni/cnv/cpniuf.def>. Acesso em nov 2019.

Monath, T. P.; Vasconcelos, P. F. C. 2015. Yellow fever. **Journal of Clinical Virology**, 64, 160-173.

Moreno, E. S.; Rocco, I. M.; Bergo, E. S.; Brasil, R. A.; Siciliano, M. M.; Suzuki, A.; Silveira, V. R.; Bisordi, I.; Souza, R. P. Reemergence of Yellow fever: detection of transmission in São Paulo State, 2008. 2011. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, 44 (3), 290-296.

Moreno, E. S. Spinola, R., Tengan, C. H., Brasil, R. A., Siciliano, M. M., Coimbra, T. L. M., ...; Petrella, S. 2013. Yellow fever epizootics in non-human primates, São Paulo state, Brazil, 2008-2009. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, 55 (1),45-50.

Neves, A.S.; Machado, C. J. 2016. A reemergência do vírus Rocio no Brasil **Revista da Faculdade de Ciências Médica de Sorocaba**, 18(1), 61-2.

PBMC, Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**: Impactos, vulnerabilidades e adaptação. PBMC: Rio de Janeiro, 2013, 28 p.

Romano, A. P. M. et al. 2014. Yellow fever outbreaks in unvaccinated populations, Brazil, 2008– 2009. **Plos Neglected Tropical Diseases**, 8 (3), 1-8.

Sallis, E. S. V. et al. 2003. A case of yellow fever in a brown howler (*Alouatta fusca*) in Southern Brazil. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 15 (6), 574-576.

SES MG, Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais. **Boletim epidemiológico – 21/08/2017**. Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <file:///Z:/Arquivos/artigo%20mesa%20redonda/Atualizacao%20FA%20%2022%20de%20agosto%202017.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2018.

_____. **Histórico da doença no Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2018a. Disponível em: <http://www.saude.mg.gov.br/historicofebreamarela>. Acesso em: 18 nov. 2019.

_____. **Boletim epidemiológico – 21/06/2018**, Belo Horizonte, 2018b. Disponível:http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/Boletim%20_Febre%20Amar%20ela_21.06.2018_atualizada.pdf. Acesso em: 25 ago. 2019.

_____. **Boletim epidemiológico – 19/02/2019**, Belo Horizonte, 2019a. Disponível em: http://www.saude.mg.gov.br/images/noticias_e_eventos/000_2019/jane_fev_mar_Febre_Amarela/Boletim_atualiza%C3%A7%C3%A3o_FA_12-02-2019.pdf. Acesso em: 20 nov. 2019.

_____. **Informe Epidemiológico da Febre Amarela- 19/02/2019**, Belo Horizonte, 2019b. Disponível em: <http://www.saude.mg.gov.br/component/gmg/story/10908-informe-epidemiologico-da-febre-amarela-19-02>. Acesso em: 20 nov. 2019.

PMJF, Prefeitura Municipal de Juiz de Fora. 2017a. **Arboviroses: Perfil epidemiológico de 2017**. Boletim Epidemiológico nº 2 12/2017. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/ss/servicos/boletim/arquivos/1712.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2019

PMJF, Prefeitura Municipal de Juiz de Fora. 2017b. **Juiz de Fora tem LIRAA de 4,8% e menor número de notificações de dengue desde 2013**. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br/noticias/view.php?modo=link2&idnoticia2=56429>. Acesso em 11 nov 2019.

PMJF, Prefeitura Municipal de Juiz de Fora. 2018. **A febre amarela em Juiz de Fora. Boletim Epidemiológico nº 3 12/2018**. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/ss/servicos/boletim/arquivos/1812.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2019

Seplag JF, Secretaria de Planejamento e Gestão de Juiz de Fora. 2019. **Sistema de informações geográficas de Juiz de Fora**. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/seplag/geoprocessamento/projeto.php>. Acesso em: 17 nov. 2019.

Sinan, Sistema de Informação de Agravos de Notificação. 2016. Sinan Net. Disponível em: <http://portalsinan.saude.gov.br/sinan-net>. Acesso em: 20 nov. 2019

Tseng, W. C., Chen, C. C., Chang, C. C., & Chu, Y. H. 2009. Estimating the economic impacts of climate change on infectious diseases: a case study on dengue fever in Taiwan. **Climatic Change**, 92 (1-2), 123-140.

Vasconcelos, P. F. C. 2003. Febre amarela. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, 36 (2), 275-293.

Vale, C. A.; Prezoto, F. 2017. A culpa não é do macaco: os primatas e a febre amarela. **Multiverso**, 2 (1),1-12.

Vale, C. A; Junior, V. S.; Prezoto, F. 2018. Febre amarela: o mosquito, o macaco e o ser humano. **CES Revista**, 32 (2), 7-27.

Wolfe, N. D.; Escalante, A. A.; Karesh, W.B.; Kilbourn A.; Spielman A. 1998. Populações de primatas selvagens em pesquisas sobre doenças infecciosas emergentes: o elo perdido? **Emerging Infectious Diseases journal**, 4, 149-158.

Anexo II

República Federativa do Brasil
Ministério da Saúde

SINAN

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE AGRAVOS DE NOTIFICAÇÃO

Nº

FICHA DE NOTIFICAÇÃO/ INVESTIGAÇÃO EPIZOOTIA

Definição do caso: Animal ou grupo de animais encontrados doentes e/ou mortos, incluindo ossadas, sem causa definida, que podem preceder a ocorrência de doenças em humanos

Dados Gerais	1	Tipo de Notificação		2- Individual		
	2	Agravado/doença			3	
	EPIZOOTIA				Data da Notificação	
	4	UF	5	Município de Notificação		Código (IBGE)
	6	Unidade de Saúde (ou outra fonte notificadora)			Código	7
					Data do início da epizootia	
Dados de Ocorrência	8	Fonte da informação				9
					(DDD) Telefone da fonte da informação	
	10	UF	11	Município de Ocorrência		Código (IBGE)
					12	
					Distrito	
	13	Baixo		14	Logradouro (rua, avenida, ...)	
					Código	
	15	Número		16	Complemento (apto., casa, ...)	
					17	
					Geocampo 1	
	18	Geocampo 2		19	Ponto de Referência	
					20	
					CEP	
	21	(DDD) Telefone		22	Zona	
				1 - Urbana 2 - Rural 3 - Periurbana 9 - Ignorado		
23	Ambiente		1-Domicílio 2-Parque, praça ou zoológico 3-Área silvestre 4-Reserva ecológica 5-Outro			
24	Houve coleta de material para exame laboratorial				1-Sim 2-Não 9-Ignorado	
25	Se houve coleta, informar a data					
26	Se houve coleta, qual material					
1-Sim 2-Não 9-Ignorado						
<input type="checkbox"/> fígado <input type="checkbox"/> rim <input type="checkbox"/> baço <input type="checkbox"/> cérebro <input type="checkbox"/> coração <input type="checkbox"/> fezes <input type="checkbox"/> soro <input type="checkbox"/> sangue total <input type="checkbox"/> outro material Qual _____						
27	Animais acometidos				<input type="checkbox"/> Doentes _____ <input type="checkbox"/> Mortos _____	
1-Ave 3-Canino 5-Felino 7-Primata não humano 9-Outros. 2-Bovídeo 4-Equídeo 6-Morcego 8-Canídeo selvagem Especificar _____						
28	Suspeita diagnóstica				<input type="checkbox"/> 1ª suspeita diagnóstica <input type="checkbox"/> 2ª suspeita diagnóstica <input type="checkbox"/> 3ª suspeita diagnóstica	
1-Raiva 4-Encefalite Espongiforme Bovina 2-Encefalite Equina 5-Febre Amarela 3-Febre do Vírus do Nilo Ocidental 6-Influenza Aviária 7-Outro, Especificar: _____						
29	Resultado laboratorial					
1-Positivo 2-Negativo 3-Inconclusivo 9-Ignorado						
<input type="checkbox"/> Raiva <input type="checkbox"/> Encefalite espongiforme bovina <input type="checkbox"/> Outro Especificar _____ <input type="checkbox"/> Encefalite equina <input type="checkbox"/> Febre amarela <input type="checkbox"/> Febre do Nilo <input type="checkbox"/> Influenza aviária						
Observações:						
Investigador	Município/Unidade de Saúde				Código da Unid. de Saúde	
Nome			Função		Assinatura	

Sinan NET

SVS 21/08/2008