



WWF

RELATÓRIO

BR

2018



Biodiversidade e Mudanças Climáticas no Brasil: Levantamento e Sistematização de Referências

WWF-BRASIL

Diretor executivo

Maurício Voivodic

Diretora de Comunicação e Engajamento

Gabriela Yamagushi

Coordenador do Programa de Mudanças Climáticas e Energia

André Costa Nahur

Analista Técnico

Eduardo Valente Canina

Coordenadora de Campanhas e Comunicação

Denise Oliveira

Analista de Comunicação

Bruna Mello de Cenço

FICHA TÉCNICA DA PUBLICAÇÃO

Autora

Priscila Lemes de Azevedo Silva (consultora)

Revisão técnica – WWF-Brasil

Carolina Siqueira

Eduardo Valente Canina

Ricardo Mello

Revisão de texto

Talitha Paratela

Diagramação e editoração eletrônica

Supernova Design

Foto de capa

Zig Kock / WWF-Brasil

Publicado pelo WWF-Brasil em maio de 2018.

FICHA CATALOGRÁFICA

S586b SILVA, Priscila Lemes de Azevedo. Biodiversidade e mudanças climáticas no Brasil: levantamento e sistematização de referências. WWF Brasil (Relatório). Brasília, 2018.

6op.;il; color 29,7 cm.

1. Áreas Protegidas
2. Biodiversidade Terrestre e Marinha
3. Conservação
4. Doenças Emergentes
5. Invasões Biológicas
6. Mudanças Climáticas

I. WWF Brasil II. Título

CDU 551.583

ISBN

Biodiversidade e Mudanças Climáticas no Brasil: Levantamento e Sistematização de Referências

1ª edição

Brasília (DF)

Mai de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradecemos as gerências e equipes técnicas das secretarias de Biodiversidade (SBIO) e de Mudança do Clima e Florestas (SMCF) do Ministério do Meio Ambiente (MMA), representadas, respectivamente, pelos diretores à época, Karen Silverwood Cope e Carlos Scaramuzza, e pelos analistas ambientais Mariana Egler, Adriana Brito, Jennifer Wiezzer e João Arthur Soccal Seyffarth. Este trabalho foi desenvolvido como parte das atividades da estratégia de biodiversidade e ecossistemas do Plano Nacional de Adaptação e representa a ampliação, revisão e atualização do estudo elaborado para o MMA “Cenários futuros da mudança no clima e seus impactos sobre a biodiversidade brasileira” (MMA, 2015)¹.

¹ Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80182/Produtos%20Priscila/Produto1.pdf>

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	6
1. INTRODUÇÃO	8
2. METODOLOGIA DE PESQUISA	12
3. MODELAGEM PREDITIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES	16
4. MUDANÇAS NA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA	18
5. PROBABILIDADE DE EXTINÇÃO	26
6. MUDANÇAS NA DIVERSIDADE	28
7. ECOSSISTEMAS E SERVIÇOS ECOLÓGICOS	30
8. DOENÇAS EMERGENTES	32
9. INVASÕES BIOLÓGICAS	36
10. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ÁREAS PROTEGIDAS E PLANEJAMENTO DINÂMICO PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	40
11. ACIDIFICAÇÃO DOS OCEANOS E BRANQUEAMENTO DOS CORAIS	42
12. CONCLUSÕES	44
13. REFERÊNCIAS	46

APRESENTAÇÃO

O clima é fator determinante para a distribuição dos seres vivos no planeta. Ao longo dos últimos milhares de anos, cada espécie

desenvolveu as características especiais para o seu desenvolvimento de acordo com as características do local onde vivem. Assim, as mudanças do clima e seus efeitos esperados também fazem parte das ameaças à conservação da biodiversidade e dos ecossistemas.

Estudos de vários países avaliam desde o início do século XX a influência das variações do clima e da variabilidade climática sobre as espécies. No Brasil, os primeiros trabalhos sobre os impactos de cenários futuros de mudança do clima sobre a biodiversidade só começaram a ganhar volume a partir de 2007 – e por meio de modelagens do clima e seus efeitos sobre a biodiversidade. Ainda é necessária a realização de estudos com abordagens que envolvam a observação direta.

Em 2015, o Ministério do Meio Ambiente coordenou a revisão da literatura sobre as abordagens e as respostas da biodiversidade brasileira diante das mudanças climáticas. Esse trabalho foi baseado em 59 estudos publicados entre 2003 e 2015. Uma das descobertas é que mais de 70% dos estudos haviam sido publicados nos últimos três anos.

Dando sequência ao levantamento gerado anteriormente, esta análise, realizada pelo WWF-Brasil, busca ampliar e sistematizar as referências sobre o impacto da mudança do clima na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos no país, bem como sobre estratégias de adaptação a esses impactos.

Identificar o conhecimento que já possuímos sobre a relação clima e biodiversidade, e dos impactos negativos à manutenção da vida nos ecossistemas, é um passo importante para reconhecer quais lacunas ainda precisam ser preenchidas. A partir daí, podemos ter mais clareza a respeito das medidas e caminhos que precisamos tomar.

A publicação *Biodiversidade e Mudanças Climáticas no Brasil - Levantamento e Sistematização de Referências* apresenta diversos estudos e autores para despertar o interesse de mais pessoas e incentivar a elaboração de novas pesquisas no tema.

Esperamos que esse trabalho seja fonte de inspiração para estudantes e pesquisadores, e que também possa apoiar a tomada de decisão de gestores e formuladores de políticas públicas.

Boa leitura.

Maurício Voivodic
Diretor-Executivo
WWF-Brasil



1. INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis, as queimadas e o desmatamento de florestas, têm alterado o clima em sua variação natural. Segundo o

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (no inglês *International Panel on Climate Change*, ou IPCC), as temperaturas médias globais vêm aumentando desde a década de 70, e esse aquecimento deve continuar até o final do século.

As projeções da mudança do clima incluem alterações nos padrões de vento, na precipitação e nas correntes oceânicas (Bernstein *et al.*, 2007; Stocker *et al.*, 2013). Por consequência, há também um aumento do nível dos oceanos e do crescimento e da formação de desertos. O aquecimento anormal das águas superficiais do oceano, combinado com as mudanças nos padrões de vento e nos regimes de chuva, provavelmente, tornarão os eventos climáticos extremos (ciclones, furacões e tufões) ainda mais destrutivos, como os observados na temporada de furacões no Oceano Atlântico, em 2017: foram sete; deles, pelo menos dois de categoria cinco – a mais elevada, cuja velocidade dos ventos é superior a 250 km/h. Outro exemplo notório desse fenômeno é o aumento da frequência



© Adriana Mattoso / WWF-Brasil

**É MUITO PROVÁVEL
QUE A MUDANÇA
DO CLIMA AFETARÁ
O PADRÃO DE
DISTRIBUIÇÃO DAS
ESPÉCIES
(GARCIA ET AL.,
2014)**

das ondas de calor em regiões com temperatura tradicionalmente amena, como as vistas na Europa em agosto de 2017, período no qual as temperaturas passaram dos 40°C.

Diante disso, a mudança do clima deve se tornar a maior ameaça, deste século, à biodiversidade (Brook *et al.*, 2008) e muitos de seus impactos já podem ser observados nos sistemas biológicos (*e.g.* Pounds *et al.*, 1999). É muito provável que a mudança do clima afetará o padrão de distribuição das espécies (Garcia *et al.*, 2014), além dos padrões mundiais de distribuição dos bolsões de fome e doenças (Pecl *et al.*, 2017). À medida que a fauna e a flora não conseguem acompanhar as novas temperaturas com adaptação ou aclimatação, ou se deslocar para locais com o clima adequado, a extinção poderá ser muito mais rápida, quando comparada à que ocorre durante os ciclos glaciais (Barnosky *et al.*, 2011). A mudança do clima tem implicações profundas nos sistemas naturais e vários estudos têm predito seus possíveis efeitos em diferentes espécies e habitat em todo o mundo (*e.g.* Pacifici *et al.*, 2015).

As consequências relacionam-se, principalmente, à diminuição da aptidão da espécie, expressa em diferentes níveis de organização biológica, cujos efeitos variam entre indivíduos, populações e comunidades (Bellard *et al.*, 2012). Tais ameaças são capazes de diminuir a diversidade genética das populações (*e.g.* Colevatti *et al.*, 2011) devido às seleções microevolutivas, que, somadas às alterações de diferentes populações e espécies, podem afetar o funcionamento e a resiliência dos ecossistemas (Botkin *et al.*, 2007). Além disso, há evidências de que alguns clados¹ sejam mais sensíveis ao impacto humano do que outros (Purvis, 2008; Loyola *et al.*, 2014), acenando para mudanças desproporcionais da história evolutiva da Terra (Thuiller *et al.*, 2011). Com a mudança do clima em curso, as espécies deverão ser impactadas de diferentes maneiras, como no caso da mudança na distribuição geográfica (*e.g.* Zhang *et al.*, 2017) e na abundância (*e.g.* Mair *et al.*, 2014), além das alterações do ciclo de vida (Parmesan & Yohe 2003).

O padrão geral prevê que muitas espécies serão ameaçadas de extinção e que seus habitat, possivelmente, vão encolher. Ademais, é esperado que as espécies se desloquem para latitudes e altitudes mais elevadas (Chen *et al.*, 2009) ou, ainda, as espécies marinhas migrem para oceanos mais profundos (Dulvy *et al.*, 2008). Contudo, sua resposta também dependerá de fatores como a

1 Clados: grupos de organismos originados de um único ancestral comum.

fisiologia, o comportamento, a ecologia e a evolução dos organismos que determinam a capacidade de dispersão e de adaptação às novas condições climáticas (Bellard *et al.*, 2012). Ou seja, as respostas são espécie-específicas. A perda e a fragmentação de habitat impõem obstáculos ao deslocamento das espécies para locais de clima mais adequado e a combinação de diferentes ameaças pode alterar a magnitude e o padrão espacial da perda da biodiversidade (Faleiro *et al.*, 2013; Gouveia *et al.*, 2016).

Não há dúvidas sobre a necessidade de identificar as espécies mais suscetíveis e as principais respostas da biodiversidade aos impactos das alterações em curso. Nesse sentido, a conservação dos ecossistemas naturais terrestres, sejam os de água doce ou os marinhos, e o restabelecimento daqueles que estão degradados são importantes, pois desempenham um papel fundamental no ciclo global do carbono, na resiliência de ecossistemas e na adaptação à mudança do clima. A vulnerabilidade das espécies de plantas, animais e ecossistemas terrestres vem sendo globalmente documentada (Pacifci *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2017), porém, os efeitos na biodiversidade de ambientes costeiros e marinhos ainda são negligenciados (Dulvy *et al.*, 2008). Embora haja um crescente interesse acerca dos impactos da mudança do clima na biodiversidade (Root *et al.*, 2003), os estudos a respeito da biodiversidade brasileira ainda são escassos (Vale *et al.*, 2009).

Ao considerar que o conhecimento dos efeitos da mudança do clima na biodiversidade e em serviços ecossistêmicos do Brasil pode fornecer subsídios à elaboração de estratégias de mitigação e adaptação, foi realizada a revisão da literatura sobre o assunto. Além de fornecer um panorama geral sobre o assunto, tal levantamento é importante na identificação de padrões e tendências, assim como no preenchimento de lacunas do conhecimento que necessitam de maior atenção da comunidade científica.

**O PADRÃO GERAL
PREVÊ QUE MUITAS
ESPÉCIES SERÃO
AMEAÇADAS DE
EXTINÇÃO E QUE
SEUS HABITAT,
POSSIVELMENTE, VÃO
ENCOLHER.**





© Adriano Gambarini/WWF-Brasil

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

O levantamento da literatura publicada a respeito dos efeitos da mudança do clima na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos em território nacional foi realizado por meio das seguintes bases de dados: i. *Web of Science (WoS)*, do Thompson

Institute for Scientific Information (ISI); ii. *Scopus*, do grupo Elsevier; e iii. *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*. Em cada uma delas, fez-se uma busca para recuperar artigos ou revisões publicadas até setembro de 2017, utilizando a seguinte combinação de palavras-chave: “climat* chang*” or “global warming” or “climat* warming*” or “future climat*” or “environment* suitability” or “climat* suitable area*” or “increas* carbon dioxide” or “climate-driven” (**Título**); “biodiversity” or “bio-diversity” or “population reduction*” or “range change*” or “range shift*” or “turnover*” or “extinction risk*” or “extinction probability*” or “genetic* diversity” or “physiologic*” or “phenology” or “aquatic ecosystem” or “terrestrial ecosystem” or “species” or “conservation” or “vulnerability” or “impact” or “ecosystem services” or “protected areas” (**Tópico**); e “Brazil*” or “Pantanal” or “Cerrado” or “Caatinga” or “Pampa” or “*Atlantic Forest*” or “Amazon*” (**Tópico**).

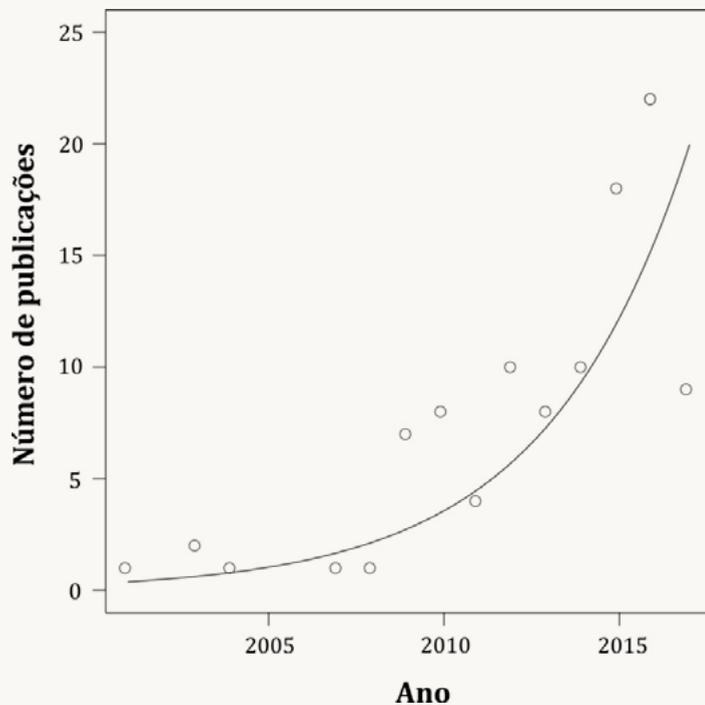
Em cada trabalho compilado foram obtidas as seguintes informações: a. ano de publicação do trabalho; b. área geográfica de enfoque no estudo; c. tipo de estudo (experimental, modelagem ou revisão); d. tipo de ambiente (dulcícola, marinho ou terrestre); e. grupo taxonômico estudado; e f. temática do estudo (**Quadro 1**).

Quadro 1. Temática utilizada na classificação dos efeitos da mudança do clima na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos brasileiros.

Distribuição geográfica das espécies e cobertura vegetal ou de biomas
Diversidade (e.g. riqueza ou composição de espécies e diversidade filogenética)
Ecossistemas e serviços ecológicos (produtividade, polinização e biomassa)
Doenças emergentes
Invasão biológica
Áreas protegidas (e.g. avaliação de eficiência e delimitação de áreas protegidas)

Quanto à categorização do tipo de estudo (item c.), é importante ressaltar que a classe “experimental” indica estudos com algum tipo de experimento, seja em laboratório, seja em campo. Por sua vez, os estudos de “modelagem” são os que propõem modelos preditivos para explicar ou prever a distribuição de espécies (Peterson *et al.*, 2011). Já os trabalhos de “revisão” se associam às publicações de opinião, mais abrangentes e generalistas acerca dos efeitos da mudança do clima na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos do Brasil, uma vez que não determinam espécies ou áreas de estudo. A busca foi realizada em setembro de 2017 e contemplou 110 trabalhos entre 2001 e 2017 (78% foram publicados nos últimos cinco anos) (**Figura 1**).

Figura 1. Número de trabalhos sobre os efeitos da mudança do clima na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos do Brasil, de 2001 até 2017.



Na maior parte, utilizou-se a modelagem (84 publicações), em seguida, os estudos de revisão (16) e os estudos experimentais (10), ou seja, 94 estudos aplicados (de modelagem e experimentais). Em relação aos estudos de modelagem, a grande maioria foi desenvolvida com organismos de ambiente terrestre (81 publicações), dulcícola (apenas um estudo) e marinho (dois estudos), conforme a **Tabela 1**.

Tabela 1. Abordagem dos estudos levantados.

Abordagem	Número de trabalhos
Estudos aplicados	94
Modelagem	84
Ambiente terrestre	81
Ambiente dulcícola	2
Ambiente marinho	1
Experimentais	10
Ambiente terrestre	4
Ambiente dulcícola	2
Ambiente marinho	4
Estudos de revisão	16
Total	110

Em relação aos 94 estudos aplicados (de modelagem e experimentais), dois não reportaram a área geográfica e outros 18 têm abrangência nacional, além de 15 continentais (América Latina) e 10 regionais ou locais (*i.e.* Hoffmann *et al.*, 2015). Quanto aos biomas brasileiros, um total de 18 publicações abordam a Mata Atlântica, enquanto 16 discutem sobre o Cerrado, mais 11 falam da Amazônia e 4 analisam a Caatinga, conforme a **Tabela 2**.

Tabela 2. Abrangência dos estudos aplicados.

Abrangência dos estudos aplicados	Número de trabalhos
América Latina	15
Nacional	18
Regional	3
Local	7
Bioma Mata Atlântica	18
Bioma Cerrado	16
Bioma Amazônia	11
Bioma Caatinga	4
Não indicaram	2
Total	94

No que tange ao foco taxonômico dos estudos (**Tabela 3**), as plantas foram os organismos mais estudados (34 publicações), seguidas dos

insetos (15), dos anfíbios (10), das aves (7), dos mamíferos (6), dos insetos transmissores de doenças (5), dos corais (4), dos répteis (3) e de outros (10). A interação entre o foco taxonômico e a abrangência é mostrada na **Figura 2**.

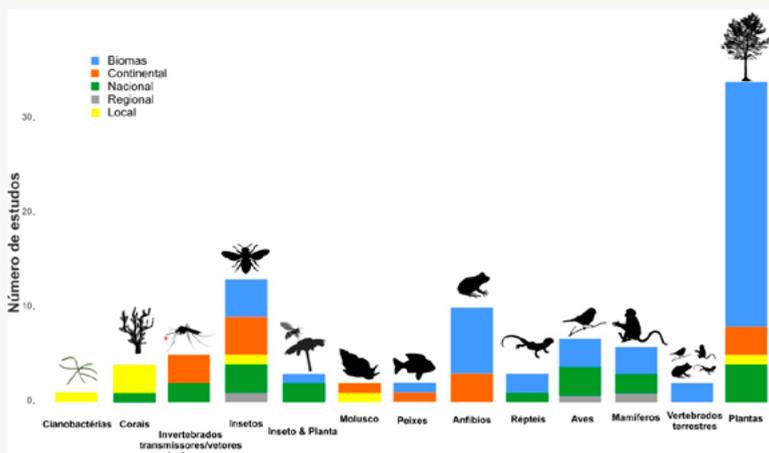
Tabela 3. Foco taxonômico dos estudos aplicados.

Foco taxonômico dos estudos aplicados	Número de trabalhos
Plantas	34
Insetos	15
Anfíbios	10
Aves	7
Mamíferos	6
Insetos transmissores de doenças	5
Corais	4
Répteis	3
Inseto-planta*	3
Peixes	2
Vertebrados	2
Moluscos	2
Cianobactérias	1
Total	94

*Relacionado à polinização das plantas por insetos.

Figura 2. Foco taxonômico e abrangência dos 92* estudos aplicados (de modelagem e experimentais) acerca dos efeitos da mudança do clima na biodiversidade do Brasil. As plantas são o grupo taxonômico mais analisado em diferentes níveis de abrangência – de continental a local.

*Nesse caso, foram 92 estudos, pois 2 deles não informaram a abrangência, cujos focos taxonômicos são insetos.



3. MODELAGEM PREDITIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES

As evidências dos impactos da mudança do clima na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos, em grande medida, são provenientes de estudos experimentais ou observacionais e da modelagem preditiva de distribuição de espécies (Peterson *et al.*, 2011). No caso desta última, há três métodos analíticos em voga: i. modelos mecanísticos; ii. modelos híbridos; e iii. modelos correlativos, sendo este o mais

empregado para determinar a distribuição potencial das espécies (Pacifi *et al.*, 2015). Em um modelo mecanístico, a distribuição potencial de dada espécie é predita por um conjunto de funções baseadas no conhecimento fisiológico (Kearney & Porter, 2009). Ademais, utilizam dados provenientes de experimentos, por exemplo, a tolerância termal (Casseiro *et al.*, 2012). No entanto, observa-se uma dificuldade em adequar os limites estabelecidos em âmbito experimental à realidade das espécies na natureza.

Os modelos correlativos fazem associação dos registros de determinada espécie às variáveis climáticas mensuradas nos locais de sua ocorrência, construindo, assim, uma representação das condições requeridas por essa espécie (Anderson *et al.*, 2003). Depois, os modelos são aplicados para estimar sua distribuição, de modo a considerar os cenários climáticos futuros. Dessa forma, é possível avaliar os efeitos da mudança do clima na distribuição das espécies (Thuiller, 2004). Atualmente, existem diferentes métodos (algoritmos) correlativos que podem ser usados para associar tais registros de ocorrência a um conjunto de variáveis climáticas (Peterson *et al.*, 2011), entretanto, eles diferem na formulação matemática e análise estatística, além de terem fundamentação ecológica distinta.

Em virtude disso, trabalhos têm comparado o desempenho de diferentes métodos correlativos, a fim de examinar quais deles são os mais robustos (Segurado & Araújo, 2004; Tsoar *et al.*, 2007), e discutido os resultados dos mapas de distribuição das espécies gerados por diferentes métodos de modelagem (Nabout *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2010). No entanto, é difícil escolher o melhor deles ou a melhor forma de avaliá-los. Assim, para reduzir as incertezas das previsões, a abordagem dos modelos consensuais (*ensemble*



AS EVIDÊNCIAS
DOS IMPACTOS DA
MUDANÇA DO CLIMA
NA BIODIVERSIDADE
E NOS SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS,
EM GRANDE MEDIDA,
SÃO PROVENIENTES
DE ESTUDOS
EXPERIMENTAIS OU
OBSERVACIONAIS
E DA MODELAGEM
PREDITIVA DE
DISTRIBUIÇÃO DE
ESPÉCIES (PETERSON
ET AL., 2011)

forecasting) é empregada com frequência, visando estabelecer a direção das mudanças no arranjo das espécies com base em mais de um método (Araújo & New, 2007). Essa abordagem que combina projeções obtidas a partir de diferentes métodos de modelagem tem o intuito de encontrar regiões consensuais, nas quais estimam-se a presença e ausência de espécies (Araújo & New, 2007).

Dos 94 estudos aplicados, dez foram experimentais, e 84, de modelagem. Entre as modelagens, duas pesquisas empregaram modelos mecânicos, e 82, correlativos. Dessas 82, um total de 36 utilizou métodos únicos, sobretudo o Maxent, e 46 basearam-se em modelos consensuais. Os modelos climáticos favoritos foram o CCCSMA, CSIRO e HadCM3, nos cenários A2 e B2 do *Quarto relatório de avaliação* do IPCC (2007), projetados, principalmente, para os anos de 2050 e 2080. Do último relatório, o quinto (IPCC 2013), empregaram-se, principalmente, o HadGEM-ES e GISS, nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.



© Adriano Gambarini/WWF-Brasil

4. MUDANÇAS NA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

Cobertura vegetal e biomas

Entre as respostas da biodiversidade à mudança do clima destacam-se as mudanças na distribuição geográfica das espécies. Com o auxílio dos modelos correlativos (Peterson *et al.*, 2011), é possível fazer previsões sobre sua expansão ou redução no arranjo e, no caso de algumas espécies, não há efeito aparente no tamanho da distribuição geográfica (Garcia *et al.*, 2014).

Infelizmente, há poucas informações sobre a história natural de muitas espécies, o que dificulta a previsão de respostas diante de cenários futuros. Desde 2003, diversas pesquisas se preocupam em demonstrar os efeitos da mudança do clima na biodiversidade brasileira (Miles *et al.*, 2004; Marini *et al.*, 2009; Colombo & Joly, 2010; Gianinni *et al.*, 2012; Ribeiro *et al.*, 2016, entre outros). De maneira geral, elas evidenciam a severa redução na abrangência da distribuição das espécies de diferentes grupos taxonômicos, estimando um futuro catastrófico.

O padrão geral prevê que muitos biomas poderão experimentar uma maior duração de estações secas com temperaturas excepcionalmente altas, além das alterações nos padrões de chuva (IPCC, 2013). Nas últimas décadas, a estação seca foi mais prolongada, sobretudo, no sul da Amazônia (Fearnside, 2009). Com temperaturas cada vez mais altas, os episódios pronunciados de seca podem ser regulares, mesmo em áreas nas quais não há escassez de água hoje (Malhi *et al.*, 2009). Profundas mudanças são projetadas para os biomas e espera-se que diversas espécies desapareçam em um futuro próximo (Feeley & Silman 2009) ou sejam reduzidas em sua distribuição geográfica (Miles *et al.*, 2004; Feeley & Silman, 2009). Sobre o debate na literatura acerca da savanização da Amazônia pode-se dizer que, devido à mudança do clima, haverá a diminuição das áreas de floresta e a expansão de um ambiente degradado sob diversos cenários. No entanto, Zanin & Albernaz (2016), lançando mão de uma modelagem de projeção dos tipos de uso de solo nativos, mostram que esse decréscimo é esperado apenas na porção central da Amazônia e se dará juntamente com a expansão da distribuição de florestas tropicais no oeste e no norte. Isso reforça a necessidade de mais evidências da provável savanização amazônica.

NO CERRADO, SIQUEIRA & PETERSON (2003) MOSTRARAM QUE AS PROJEÇÕES DO CLIMA FUTURO DEVEM SER ESPECIALMENTE SEVERAS NO TANGENTE ÀS PLANTAS, COM UM POSSÍVEL DESAPARECIMENTO DE CERTOS HABITAT.

A exemplo disso, o açaí (*Euterpe oleracea*), espécie tradicional e importante na economia da Região Norte brasileira, deverá ter sua distribuição natural ampliada (Vaz & Nabout, 2016), embora muitas das novas porções com clima adequado estejam no “arco do desmatamento”. Todas as populações naturais de jaborandi (*Pilocarpus microphyllus*), espécie de planta medicinal, serão perdidas com o decaimento da adequação climática; contudo, se habitat naturais forem protegidos e restaurados, é provável que a espécie persista em longo prazo (Zwiener *et al.*, 2017). Os modelos de vegetação dinâmica, que representam tanto as alterações na distribuição como os processos biogeoquímicos intrincados, apontam para a substituição da floresta tropical pela floresta decidual em cenários pessimistas (Lyra *et al.*, 2016).



© shutterstock/ Cassandra Cury

No Cerrado, Siqueira & Peterson (2003) mostraram que as projeções do clima futuro devem ser especialmente severas no tangente às plantas, com um possível desaparecimento de certos habitat. No final do século, espécies amplamente conhecidas como a mangaba (*Hancornia speciosa*) e a arnica (*Lychnophora ericoides*) poderão ter mais de 90% da distribuição atual reduzida (Simon *et al.*, 2013), enquanto a também esperada diminuição do pequi (*Caryocar brasiliensis*) trará implicações à economia local de vários municípios (Nabout *et al.*, 2011) e levará a um grande decréscimo da diversidade genética (Colevatti *et al.*, 2011). Porém, mesmo com as mudanças na distribuição geográfica,

outras espécies, como o baru (*Dipteryx alata*), não deverão ser impactadas (Diniz-Filho *et al.*, 2012).



© André Dib / WWF-Brasil

Os ecótonos² também devem sofrer impactos severos. Na atualidade, são conhecidas mais de 1.000 espécies de angiospermas

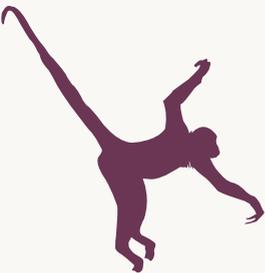
² Ecótono: área de transição ambiental resultante do contato entre dois ou mais biomas fronteiriços.

microendêmicas na Serra do Espinhaço³ (Rapini *et al.*, 2008), além das mais de 4.000 que compõem a flora da região. Modelos de distribuição do clima futuro revelam uma possível redução de 25% a 50% das espécies de angiospermas em campos rupestres. Das 851 incluídas no estudo, que compreende o período entre 2050 e 2080, apenas 12,5% estarão dentro de locais protegidos (Bittencourt *et al.*, 2016). As espécies arbóreas de floresta seca poderão expandir a distribuição geográfica em porções ocupadas por savanas e florestas úmidas (Rodrigues *et al.*, 2015).



© shuttertock / Rodrigo Bark

Atualmente, a Mata Atlântica tem menos de 12% da cobertura vegetal nativa (Ribeiro *et al.*, 2009) e essa enorme degradação é resultado do crescimento econômico e populacional que aconteceu durante os últimos cinco séculos (Tabarelli *et al.*, 2010). Os modelos de distribuição de 38 espécies lenhosas estimam a drástica redução da distribuição geográfica no futuro (de 25 a 50%), quando comparados à distribuição potencial no clima atual, além do deslocamento para climas adequados ao sul do bioma (Joly & Colombo 2010). Os impactos da mudança do clima também podem proporcionar diferentes padrões no que concerne às espécies de bambu do gênero *Merostachys* (Cupertino-Eisenlohr *et al.*, 2017), em concordância com a mudança prevista da distribuição para o sul e sudeste do bioma.



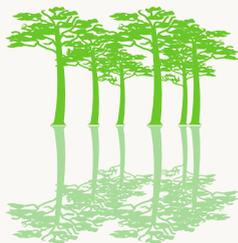
³ Serra do Espinhaço: cadeia de montanhas, no planalto Atlântico, que se estende de Minas Gerais à Bahia.

Vertebrados

No mundo, cerca de 20% de todas as espécies de vertebrados já avaliadas pela União Internacional para a Conservação da Natureza (do inglês, IUCN) estão sob algum nível de ameaça (IUCN, 2017). No Brasil, muitos vertebrados endêmicos poderão ter distribuição ainda mais restrita nos cenários futuros (Oliveira *et al.*, 2012), em lugares nos quais as áreas de vegetação nativa exercerão um importante papel de refúgio climático. Os pontos de maior ocupação humana possivelmente vão ser palco de maiores conflitos de conservação (Diniz-Filho *et al.*, 2009; Loyola *et al.*, 2012). Por exemplo, o tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) e o tatu-canastra (*Priodontes maximus*) talvez sofram redução na distribuição geográfica (Zimbres *et al.*, 2012). Ademais, é esperado que a combinação de mudança do clima e redução da cobertura florestal resulte no declínio demográfico de todas as espécies do gênero *Callicebus*, primata de médio porte conhecido como sauí ou guigó, no leste do Brasil (Gouveia *et al.*, 2016).



© Michel Gunther/WWF



Na Mata Atlântica, prevê-se uma diminuição de até 45% da distribuição geográfica de aves endêmicas e ameaçadas (Souza *et al.*, 2011), de forma muito semelhante aos padrões da *Amazona preteri* (papagaio-charão) que ocorrem principalmente nas florestas de araucárias (Marini *et al.*, 2010). Estudos recentes indicam que algumas espécies terão reduções de até 80% na distribuição geográfica no clima atual (Marini *et al.*, 2009a), como é o caso do

NO BRASIL, MUITOS VERTEBRADOS ENDÊMICOS PODERÃO TER DISTRIBUIÇÃO AINDA MAIS RESTRITA NOS CENÁRIOS FUTUROS (OLIVEIRA ET AL., 2012), EM LUGARES NOS QUAIS AS ÁREAS DE VEGETAÇÃO NATIVA EXERCERÃO UM IMPORTANTE PAPEL DE REFÚGIO CLIMÁTICO.

jacu-de-barriga-castanha (*Penelope ochrogasteri*), grupo vulnerável que habita principalmente as áreas florestadas -(Marini *et al.*, 2009b). A situação é bastante parecida para o papa-mosca-de-costas-cinzentas (*Polystictus superciliaris*), cujo decréscimo de 22% a 75% se sucederá em tempos vindouros (Hoffmann *et al.*, 2015). O desmatamento pode ter repercussão imediata na riqueza de espécies, como no caso das aves (Loiselle *et al.*, 2010), tornando-se mais grave quando combinada com as condições climáticas em curso.

Investigações recentes mostram uma redução da distribuição geográfica dos anfíbios na Mata Atlântica; alguns, inclusive, não terão um habitat climaticamente adequado até o final do século (Lemes & Loyola, 2013; Loyola *et al.*, 2014). Os anfíbios têm características que os tornam mais sensíveis às alterações no ambiente, já que sua fisiologia e seu comportamento alteram diante da temperatura (Navas *et al.*, 2013). Eles também precisam de água para a reprodução ou, pelo menos, de microambientes mais úmidos (Haddad *et al.*, 2013). Isso significa que as alterações na precipitação e na disponibilidade de água devem reduzir sua biodiversidade. Mesmo as espécies arborícolas, com ampla distribuição, deverão ter um clima adequado reduzido no futuro próximo (Vasconcelos & Nascimento, 2016), acima de tudo nas áreas de planície.



© Michel Gunther / WWF

Pouco é conhecido acerca das mudanças na distribuição dos répteis brasileiros. Nesse sentido, Mesquita e colaboradores

(2013) afirmam que as populações costeiras da serpente jabutibóia (*Liophis reginae*), apesar de serem distribuídas com vastidão, possivelmente diminuam ou até mesmo desapareçam. Enquanto isso, as populações do limite sul devem ter sua distribuição expandida, concordando com o padrão geral esperado dos impactos da mudança do clima na biodiversidade.



© Adriano Gambarini / WWF-Brasil

Espécies que requerem habitat mais especializados ou têm menor capacidade de dispersão serão mais vulneráveis à mudança do clima. Diferentes trabalhos atestam os mesmos padrões para as serpentes do Cerrado. Espera-se um recuo de até 70%, até 2050, da extensão de ocorrência original da *Phalotris lativittatus*, serpente fossorial e endêmica do bioma, além de um deslocamento para o oeste (Vasconcelos, 2014). Quanto à cobra-coral (*Micrurus brasiliensis*), mais que as restrições impostas pela fragmentação dos habitat, estimam-se a contração da distribuição e o deslocamento de alta adequabilidade para áreas de transição Cerrado-Catinga, efeitos do aquecimento da temperatura (Caten *et al.*, 2017).

Invertebrados

O plano de ação para a conservação dos lepidópteros ameaçados (Freitas & Marini-Filho, 2011), proposto pelo ICMBio, indicou que *Actinote quadra* (borboleta-palha) está vulnerável à extinção devido à perda de habitat. Hoje, a espécie é vista apenas em

localidades cujas temperaturas não ultrapassam 19°C. No entanto, os modelos de clima no futuro indicam a manutenção de apenas 15% do clima adequado para ela (Sobral-Souza *et al.*, 2015).

Há pouco tempo, Santos e colaboradores (2015) verificaram, por meio de um experimento, que é possível que parte da população da abelha *Plebeia droryana* (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) sofra uma ruptura na diapausa⁴ reprodutiva e fique ativa nos meses de inverno menos rigorosos. Nesse cenário, vê-se uma grande demanda por pólen e néctar, cujas implicações são relevantes aos serviços ecossistêmicos prestados pelas abelhas no que concerne às plantas selvagens e de cultura, evidenciando-se a necessidade de esforços para sua conservação. Por outro lado, outra abelha, a *Xylocopa hirsutissima*, poderá ter uma severa perda de área adequada (93,7%) e se deslocar para a região norte do Cerrado (Gianinni *et al.*, 2013). Embora seja prevista uma redução de áreas climaticamente adequadas, é importante considerar planos de ação a fim de preservar abelhas polinizadoras e plantas forrageiras.



© National Geographic Stock / Scott Warren/ WWF

4 Diapausa: em resposta a estímulos ambientais, insetos podem ter pausa ou retardo no desenvolvimento.

5. PROBABILIDADE DE EXTINÇÃO

A mudança do clima vai afetar os riscos de extinção de muitas espécies (e.g. Souza *et al.*, 2011; Ferro *et al.*, 2014). A probabilidade de extinção é calculada com base na relação entre característica de vida e indisponibilidade de clima adequado.

Por exemplo, mamíferos com grande tamanho de corpo e área de vida, baixas densidades populacionais e taxas de crescimento lentas já são vulneráveis às atuais alterações ambientais, como a perda e a fragmentação de habitat (Cardillo *et al.*, 2005). Relatórios publicados recentemente concluem que a mudança do clima deve aumentar os riscos de extinção (Loyola *et al.*, 2012; Faleiro *et al.*, 2013), com o decaimento das áreas de clima adequado. Com esse fenômeno em curso, a porção climaticamente adequada para *Calicebus coimbrai* deverá ficar muito reduzida (4%) e ser deslocada para o sul, onde nenhuma população é conhecida (Gouveia *et al.*, 2016). O guigó-de-coimbra-filho, ou apenas guigó (*C. coimbrai*), é um primata endêmico de florestas úmidas de Sergipe e do litoral norte da Bahia e está global e nacionalmente avaliado como “em perigo de extinção” (Veiga *et al.*, 2008; Brasil, 2014). Além disso, pequenas populações estão mais sujeitas à extinção local como resultado de processos estocásticos⁵ demográficos e ambientais.



⁵ De acordo com a teoria das probabilidades, um processo estocástico é uma coleção de variáveis aleatórias que representam a evolução de um sistema com o tempo. Pensando nisso, os fenômenos demográficos são essencialmente eventos probabilísticos, desde a determinação do sexo (50% chance de fêmeas e 50% chance de machos), mortalidade e dispersão. A estocasticidade ambiental seria a variação natural das condições climáticas, por exemplo, ciclones, furacões, tempestades e inundações. Quanto menor a população, maior a chance de desaparecer devido a efeitos estocásticos.



6. MUDANÇAS NA DIVERSIDADE

Nossa compreensão acerca dos efeitos da mudança do clima no tangente à biodiversidade ainda é incipiente. Assume-se que os diferentes componentes desse fenômeno afetem todos os níveis de organização biológica – desde indivíduos até biomas

(Bellard *et al.*, 2012). Em nível populacional, a variação genética é um importante determinante das respostas evolutivas diante das alterações ambientais. No entanto, a maioria dos estudos da biodiversidade brasileira está mais concentrada em discutir os impactos na distribuição geográfica do que os impactos em nível genético (e.g. Colevatti *et al.*, 2011; Lima *et al.*, 2017).



© shutterstock/ Vinicius Tupinambá

Projeções do clima futuro, combinadas com simulações genéticas, indicam que haverá uma forte diminuição da diversidade genética do pequi (*Caryocar brasiliense*) e, possivelmente, espécies serão

extintas em áreas de baixa adequabilidade climática (Colevatti *et al.*, 2011). O ipê-amarelo, *Tabebuia aurea*, é uma espécie arbórea polinizada por abelhas como mamangavas com dispersão anemocórica⁶ e alta diversidade genética. Sua distribuição estende-se em manchas de habitat bem delimitadas no Brasil, na Bolívia e no Paraguai. Contudo, muitos alelos têm potencial perdido como efeito do aquecimento global, com a perda de variação entre populações (Lima *et al.*, 2017), aumentando-se os riscos de extinção local.



© foto: Michel Gunther / WWF

No estudo das comunidades, a perda da diversidade de espécies também será acentuada. Várias delas não deverão dispor de clima adequado, o que resultará na diminuição da diversidade local (Loyola *et al.*, 2014), ou regional (Oliveira *et al.*, 2012; Ferro *et al.*, 2014). A diversidade amazônica, por exemplo, dependerá da capacidade das espécies em tolerar, ou se adaptar, ao aumento da temperatura (Feeley *et al.*, 2012). Apesar de as espécies tropicais serem capazes de tolerar altas temperaturas, é provável que o aumento do estresse hídrico sazonal seja semelhante ao da fragmentação. É possível, também, a redução da diversidade em áreas já protegidas. Lemes e colaboradores (2014) esperam o decaimento de áreas climaticamente adequadas, comprometendo a riqueza das espécies de anfíbios até o ano de 2050. Porém, os efeitos serão espécie-específicos (*e.g.* Souza *et al.*, 2011) ou, até mesmo, clado-específicos (*e.g.* Loyola *et al.*, 2014).



6 Anemocoria: dispersão através do vento.

7. ECOSSISTEMAS E SERVIÇOS ECOLÓGICOS

Os polinizadores são fundamentais na biodiversidade global uma vez que provêm serviços ecossistêmicos essenciais aos sistemas naturais e, também, à agricultura. No entanto, a distribuição geográfica, a abundância local e a sincronia no florescimento das plantas e na atividade dos polinizadores podem ser afetadas pela mudança do clima (Hegland *et al.*, 2009).

Assim, entender como esse fator influencia na distribuição das espécies ajuda a prever os danos por vir em serviços ecossistêmicos, como a polinização.

Nesse sentido, alguns trabalhos verificam o efeito da mudança do clima na distribuição geográfica de polinizadores no sul da América do Sul (Martins *et al.*, 2015), no Brasil (Giannini *et al.*, 2012) e na Mata Atlântica (Nemesio *et al.*, 2016). Mesmo as espécies de regiões áridas ou semiáridas, adaptadas às altas temperaturas e à baixa pluviosidade, podem apresentar alterações na distribuição geográfica diante desse fenômeno (Giannini *et al.*, 2012). Para a abelha *Euglossa marianae* e a mamangaba *Bombus bellicosus*, os modelos preditivos sugerem que as regiões nas quais ambas as espécies ocorrem serão inadequadas e, a fim de se manter, elas deverão se deslocar para o sul da Mata Atlântica e da América do Sul, respectivamente, considerando as condições de clima do período (Martins *et al.*, 2015; Nemesio *et al.*, 2016). Em adição, modelos correlativos são empregados para avaliar os efeitos da mudança do clima na distribuição geográfica de polinizadores de culturas brasileiras e, em seguida, estimar seus impactos na produção de culturas (Giannini *et al.*, 2013; Giannini *et al.*, 2015ab; Elias *et al.*, 2017; Giannini *et al.*, 2017). Recentemente, Giannini e colaboradores (2017) analisaram a distribuição potencial de 95 espécies de polinizadores relevantes a 13 tipos de lavouras, cujas projeções apontam para a redução de áreas climaticamente adequadas a espécies de polinizadores e sua influência na produção de culturas. Considerando-se esse cenário, é prevista a desaceleração da produtividade nas plantações, independentemente do déficit de polinização. Assim, fica evidente que os efeitos da mudança do clima podem trazer prejuízos à renda agrícola em municípios pobres, reforçando a vulnerabilidade socioeconômica em face das alterações em curso (Giannini *et al.*, 2017). Portanto, tais resultados são imprescindíveis para orientar decisões políticas relacionadas à adaptação à mudança do clima e prevenir as referidas perdas.

A DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA, A ABUNDÂNCIA LOCAL E A SINCRONIA NO FLORESCIMENTO DAS PLANTAS E NA ATIVIDADE DOS POLINIZADORES PODEM SER AFETADAS PELA MUDANÇA DO CLIMA (HEGLAND ET AL., 2009).



© Alexandre Augusto / WWF-Brasil

8. DOENÇAS EMERGENTES

A rápida mudança do clima vai afetar a saúde humana no que diz respeito ao agravamento de problemas de saúde já existentes (Woodward *et al.*, 2014). O aumento da temperatura e a incidência de secas, resultantes desse processo, podem alterar a distribuição, a densidade

e a prevalência de doenças transmitidas por vetores (dengue, leishmanioses, malária, febre amarela etc.), e levar à adaptação de vetores e hospedeiros a novos ciclos de transmissão em vista do impacto das condições climáticas no desenvolvimento, no comportamento e na vida-útil de muitos insetos (Mills *et al.*, 2010; Campbell-Lendrum *et al.*, 2015). Nessas circunstâncias, modelos correlativos de distribuição geográfica são utilizados para conhecer a distribuição potencial de vetores de doenças (Carvalho *et al.*, 2017).

O AUMENTO DA TEMPERATURA E A INCIDÊNCIA DE SECAS, RESULTANTES DESSE PROCESSO, PODEM ALTERAR A DISTRIBUIÇÃO, A DENSIDADE E A PREVALÊNCIA DE DOENÇAS TRANSMITIDAS POR VETORES (DENGUE, LEISHMANIOSES, MALÁRIA, FEBRE AMARELA ETC.)

Leishmanioses são um complexo de doenças causadas por parasitas do gênero *Leishmania* e transmitidas por insetos vetores do gênero *Lutzomyia*, que merecem destaque em países em desenvolvimento, como é o Brasil (Alvar *et al.*, 2012). Há evidências da existência de uma relação entre as condições climáticas atuais e futuras e o aumento da incidência de leishmanioses (Mendes *et al.*, 2016; Piggot *et al.*, 2014), assim como da influência da mudança do clima nos vetores da doença (González *et al.*, 2010; Moo-Llanes *et al.*, 2013). McIntyre e colaboradores (2017) analisaram a distribuição de *Lutzomyia intermedia* e *Lutzomyia neivai* na América do Sul nas condições climáticas de 2050, e os resultados indicaram que a mudança do clima nem sempre levará à expansão da distribuição geográfica desses vetores; o *L. neivai*, por exemplo, terá sua distribuição deslocada para o sul do Brasil e a Argentina, e o *L. intermedia* sofrerá diminuições. Isso contradiz o resultado encontrado por Peterson & Shaw (2003), que prevê uma expansão na distribuição geográfica desta última espécie.

Bem como *L. intermedia* e *L. neivai*, *L. flaviscutellata* também é de grande importância epidemiológica, pois é descrito como o vetor da *Leishmania amazonensis* (Shaw & Lainson, 1968). Projeções indicam um aumento do habitat climaticamente adequado dessa espécie, sobretudo nas latitudes e elevações mais altas da América do Sul (Carvalho *et al.*, 2015). Por outro lado, Moo-Llanes (2016) investiga

os efeitos da mudança do clima na distribuição de leishmanioses na Região Neotropical com base em dados sobre a ocorrência de leishmaniose cutânea e leishmaniose visceral, os dois principais sintomas de infecção (Marzochi & Marzochi, 1994). Os resultados chegaram à expansão da primeira, quando comparada à segunda.

Outra doença tropical de extrema importância é a dengue, transmitida pela picada do mosquito *Aedes aegypti* (WHO, 2002). Khormi & Kumar (2014) modelam a distribuição global de *Aedes aegypti* nas condições climáticas de 2030 e 2070 e veem que a maioria das áreas ocupadas pelo mosquito na atualidade deve permanecer climaticamente favorável. Além disso, indicam o surgimento de novas áreas adequadas ao mosquito, como o interior da Austrália e partes da América do Norte. No Brasil, estima-se a redução da distribuição de *Aedes aegypti* no Norte e no Nordeste, acompanhada de uma provável expansão para o sul até 2050 (Cardoso-Leite *et al.*, 2014).



© shutterstock / Mycberia



A doença de Chagas, também conhecida como tripanossomíase americana, é causada pelo protozoário *Trypanosoma cruzi* e transmitida aos seres humanos, principalmente, por meio de insetos da subfamília Triatominae (WHO, 1991). Devido ao ciclo

de vida curto, a maioria das espécies de triatomíneos é capaz de responder de modo rápido às alterações ambientais, além disso, temperaturas elevadas podem acelerar o desenvolvimento embrionário desses insetos (Rabinovich, 1972). No Brasil, *Triatoma brasiliensis*, complexo de espécies, é considerado o vetor principal da doença de Chagas na região Nordeste (Monteiro *et al.*, 2004). As projeções identificam que a distribuição do complexo de *Triatoma brasiliensis* pode permanecer estável pelo menos até 2050; trata-se do elemento com maior potencial de ocupar novas áreas (Costa *et al.*, 2014).

No Brasil, a malária é uma doença causada por duas espécies de protozoários, *Plasmodium vivax* e *Plasmodium falciparum*, e transmitida principalmente por meio do mosquito *Anopheles darlingi* (Batista *et al.*, 2014). Porém, outras espécies também estão envolvidas na transmissão de *Plasmodium* (Rios-Velásquez *et al.*, 2013), inclusive os membros do complexo *Albitarsis* (Brochero *et al.*, 2007). A perigosa combinação de altas temperaturas, baixa disponibilidade de água e perda e fragmentação de habitat na Amazônia elevaria a importância de vetores secundários do complexo *Albitarsis* na transmissão da malária na América do Sul (Laporta *et al.*, 2015). Adicionalmente, dois vetores de malária no norte da América do Sul, *Anopheles darlingi* e *Anopheles nuneztovari* s.l., podem expandir suas distribuições geográficas em locais onde houver, também, a fragmentação do habitat (Alimi *et al.*, 2015).





© shutterstock/ Fernando Branco - Aerocam

9. INVASÕES BIOLÓGICAS

Assim como a mudança do clima e a fragmentação de habitat, as invasões biológicas são, nos dias de hoje, grandes ameaças globais para a biodiversidade (Clavero & García-Berthou, 2005), além de causar prejuízos à economia e riscos à saúde humana (Pimentel *et al.*, 2001). Por

definição, espécies não nativas com o potencial de causar danos ao meio ambiente, à economia ou à saúde são conhecidas como *invasoras* (NISC, 2001). As espécies invasoras são importadas intencionalmente com diferentes finalidades, como medicinal, comércio de animais de estimação e agricultura, mas também inadvertidamente, importadas por “caronas”, como em água de lastro. Também, as espécies exóticas têm um elevado potencial de dispersão, de colonização e de dominação dos ambientes invadidos (CDB). Não há dúvidas de que as invasões biológicas podem gerar perdas na biodiversidade, levando, muitas vezes, a um declínio e/ou à extinção de espécies nativas (via competição ou predação), assim como a alterações do habitat, do ambiente físico e de processos ecossistêmicos, tais como regimes de queima e ciclo de água ou nutrientes (Mack *et al.*, 2000).

O potencial invasor e a severidade dos efeitos negativos causados pelas invasões biológicas podem se intensificar diante da mudança do clima (Hellmann *et al.*, 2008). Nesse contexto, a temática da invasão biológica em relação à mudança do clima tornou-se uma forte e urgente demanda da sociedade e, por conseguinte, o desenvolvimento e uso de medidas preventivas para lidar com espécies invasoras são, portanto, prioridades na conservação da biodiversidade (Hulme, 2006), uma vez que medidas preventivas são mais rentáveis do que medidas de controle e/ou erradicação (Leung *et al.*, 2002).



Para enfrentar esse problema, é importante que as diferentes esferas – municipal, estadual e federal – conduzam pesquisas e monitoramento de espécies invasoras. É crescente a preocupação com os efeitos das invasões biológicas nos ecossistemas, assim, são necessários estudos taxonômicos básicos da biodiversidade que considerem aspectos da história, da origem, das rotas e dos períodos de invasão, e também as características biológicas e os impactos nos ecossistemas em diferentes níveis de hierarquia biológica (genético, individual, populacional e comunitário). Em face da mudança do clima, a distribuição potencial de espécies invasoras preditas pelos modelos correlativos pode embasar medidas pró-ativas (Jiménez-Valverde *et al.*, 2011).

Um exemplo disso é a *Lithobates catesbeianus* (rã-touro), espécie originária da América do Norte que, quando age como invasora, é altamente competitiva e potencialmente competidora com espécies da fauna nativa. Outro problema das rãs-touro são os reservatórios de fungos, pois causam o declínio de espécies de anfíbios nativos no Brasil. Nesse panorama, Giovanelli e colaboradores (2008) usam modelos preditivos a fim de prever a distribuição potencial de *Lithobates catesbeianus* no Brasil. Os resultados mostram que as regiões Sul e Sudeste são favoráveis ao estabelecimento dessa espécie. Além disso, os autores ressaltaram a importância da literatura acerca da invasão de *Lithobates catesbeianus* na Mata



© Marcos Armend / WWF-Brasil

Atlântica devido à grande diversidade de anfíbios no local. De fato, diante da mudança do clima, áreas protegidas, sobretudo na Mata Atlântica, podem se tornar climaticamente adequadas para *Lithobates catesbeianus* (Nori *et al.*, 2011; Loyola *et al.*, 2012).

No caso das plantas, a família das gramíneas (Poaceae) apresenta uma grande quantidade de espécies invasoras no Brasil, especialmente as de origem africana (pela alta produtividade em sistemas agrícolas), tais como *Eragrostis plana* Nees (capim-annoni), *Panicum maximum* Jacq. (capim-colonião) e *Melinis minutiflora* Beauv. (capim-gordura) (Pivello *et al.*, 1999). Barbosa (2016) analisa a distribuição geográfica de 13 espécies de gramíneas africanas invasoras na América do Sul considerando o ano de 2050, e as projeções não apontam para mudanças nas áreas com maior riqueza de espécies invasoras na atualidade; porém, é provável o aumento de seu número na região nordeste da Amazônia e nas regiões temperadas da América do Sul.

No ambiente aquático, Lopes e colaboradores (2017) avaliam os efeitos da mudança do clima na distribuição do peixe amazônico *Colossoma macropomum* (tambaqui)⁷ nas bacias hidrográficas da América do Sul. Embora o potencial invasivo seja projetado para diminuir perante esse fenômeno global, os refúgios climáticos vão se concentrar nas bacias do rio Paraná, do Atlântico Sudeste e do Atlântico Leste, impondo pressões negativas intensas à fauna de peixes nativa dos locais.

Estudos experimentais são fundamentais na definição de estratégias eficazes para lidar com espécies invasoras no cenário da mudança do clima (Bradley *et al.*, 2010). Em relação às plantas invasoras do Cerrado, experimentos com três gramíneas africanas, *Urochloa brizantha*, *Urochloa decumbens* e *Megathyrsus maximus*, concluem que a elevação do dióxido de carbono (CO₂) e da temperatura resulta em taxas de germinação mais altas e no aumento das chances de estabelecimento no campo (Faria *et al.*, 2015a). Nas condições climáticas de hoje, as espécies têm potencial invasor muito agressivo (Pivello *et al.*, 1999) e é provável que assim permaneçam no futuro. Além disso, no âmbito das espécies do gênero *Urochloa*, a elevação da temperatura e do CO₂ atmosférico melhora a resposta ao déficit hídrico da espécie, o estabelecimento de plântulas, colaborando para a capacidade de germinação das sementes. Ou seja, é provável que as espécies invasoras possam se adaptar aos cenários previstos (Faria *et al.*, 2015a; 2015b).

O POTENCIAL INVASOR E A SEVERIDADE DOS EFEITOS NEGATIVOS CAUSADOS PELAS INVASÕES BIOLÓGICAS PODEM SE INTENSIFICAR DIANTE DA MUDANÇA DO CLIMA (HELLMANN ET AL., 2008).



⁷ Espécie amazônica que, pelo valor comercial, tem sido cultivada em outras bacias que não são a sua de origem.



10. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ÁREAS PROTEGIDAS E PLANEJAMENTO DINÂMICO PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Áreas protegidas são essenciais para a manutenção da biodiversidade e a mitigação dos efeitos da mudança do clima (Araújo *et al.*, 2011; Faleiro *et al.*, 2013). As que já estão estabelecidas foram planejadas, em sua maioria, de acordo com critérios econômicos e políticos, não dando conta, muitas vezes, de

componentes biológicos relevantes (Ladle & Whittaker *et al.*, 2011). Como resultado, hoje existem áreas protegidas que, provavelmente, serão ineficientes para munir a biodiversidade em face da mudança do clima (Ferro *et al.*, 2014; Lemes *et al.*, 2014). Nesse sentido, é importante incluir os impactos desse processo no estabelecimento de estratégias de conservação (Faleiro *et al.*, 2013; Lemes & Loyola, 2013; Zwiener *et al.*, 2017), e trabalhos recentes vêm indicando alternativas no planejamento para a conservação (Lemes & Loyola *et al.*, 2013; Faleiro *et al.*, 2013).

Um dos importantes critérios para a avaliação da eficiência da rede de áreas protegidas em vigência é a representação da distribuição da espécie com vistas a identificar as lacunas da conservação (Hannah *et al.*, 2007). Tal análise, com frequência, é unida à técnica de modelagem de nicho ecológico, que possibilita a estimativa da área de distribuição das espécies, de modo a proporcionar a determinação dos graus de adequabilidade ambiental das ocorrências, uma informação útil para análises com foco conservacionista (Warren & Seifert, 2011). Quanto ao Cerrado, Marini e colaboradores (2009a) defendem que existem lacunas na conservação de aves raras e endêmicas realizada na parte sul do bioma. Embora seja inegável a expansão das áreas protegidas nas últimas décadas, somente 7,7% do Cerrado está protegido (Oliveira *et al.*, 2017). Zimbres e colaboradores (2012) destacam áreas potencialmente importantes para a conservação do tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) e do tatu-canastra (*Priodontes maximus*). Os autores também mostram que a abrangente rede de áreas protegidas da Amazônia deve beneficiar as espécies bastante distribuídas no bioma (Zimbres *et al.*, 2012) e, mesmo com atividades humanas, se bem geridas, áreas protegidas de uso sustentável têm alto valor de conservação.

A INCLUSÃO DA CONECTIVIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DAS ESPÉCIES NO PRESENTE E NO FUTURO PODE CONSOLIDAR O PLANEJAMENTO DINÂMICO COMO RELEVANTE ESTRATÉGIA DE CONSERVAÇÃO EM RESPOSTA À MUDANÇA DO CLIMA



© Zig Kock /WWF-Brasil



© Alexandre Augusto /WWF-Brasil

Para Oliveira e colaboradores (2015), ao utilizar regiões de estabilidade climática na priorização espacial para o planejamento da conservação, assegura-se a obtenção de mais diversidade e endemismo. É evidente que aspectos socioeconômicos e culturais não devem ser negligenciados para a negociação com os tomadores de decisão (Faleiro *et al.*, 2013), mas a inclusão da conectividade da distribuição das espécies no presente e no futuro pode consolidar o planejamento dinâmico como relevante estratégia de conservação em resposta à mudança do clima (Faleiro *et al.*, 2013; Lemes & Loyola, 2013), alocando melhor os recursos disponíveis.

11. ACIDIFICAÇÃO DOS OCEANOS E BRANQUEAMENTO DOS CORAIS

Grande parte do CO₂ emitido na atmosfera é capturado pelos oceanos, tornando-os ambientes ácidos (Hendricks *et al.*, 2010), fator que, junto com o aumento da temperatura dos oceanos, representa uma grande ameaça aos organismos marinhos. Os ecossistemas recifais são extremamente sensíveis a variações de temperatura das águas oceânicas, ou seja, uma pequena variação da temperatura das águas superficiais pode provocar perdas na biodiversidade local (Hughes *et al.*,

2017). O processo de branqueamento está relacionado às perdas das algas fotossintetizantes – as zooxantelas, presentes no tecido dos corais e responsáveis pela coloração e pela produção de componentes orgânicos os quais servem de alimento aos corais. Em contrapartida, o coral provê abrigo às algas e fornece elementos químicos necessários a sua sobrevivência (para uma revisão sobre o tema, ver Muller-Parker & D’Elia, 1997).



© shutterstock : / João Carraro

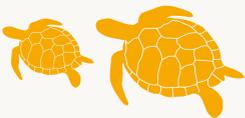
Um sistema simbiótico tão frágil é passível de ser interrompido por alterações ambientais, de modo a causar a dissociação de algas e corais. O resultado é a exibição de um esqueleto calcário branco – resultante de um processo denominado branqueamento. Além

disso, são esperadas transformações substanciais na estrutura das comunidades do ecossistema recifal com o aumento da frequência e intensidade dos fenômenos de branqueamento (Leão *et al.*, 2008). No Brasil, os recifes estão distribuídos ao longo da costa brasileira, desde as regiões Norte, Nordeste e Leste até as ilhas oceânicas, apesar de espécies isoladas de coral também serem encontradas nas águas quentes das enseadas do Sul (Leão *et al.*, 2016).



© shutterstock / João Carraro

Os efeitos do aquecimento das águas oceânicas afetam diversas áreas de recife, com a alta intensidade de branqueamento dos corais; porém, não eram associados à mortalidade até meados de 2010 (Leão *et al.*, 2016). Scherner e colaboradores (2016), em sua pesquisa acerca da influência da mudança do clima em três espécies de macroalgas (*Tricleocarpa cylindrica*, *Halimeda cuneata* e *Padina gymnospora*) e em um grupo de espécies de corais incrustantes (*Lithophyllum stictaeforme*, *Pneophyllum conicum* e *Porolithon pachydermum*), mostram os poucos efeitos da acidificação e do aumento da temperatura nesse sistema. Os resultados sugerem a possibilidade de adaptação fotossintética ou mesmo uma aclimação das macroalgas estudadas. Magris e colaboradores (2015) preveem um aquecimento crônico em todas as regiões brasileiras dotadas de recifes de coral, com alta frequência e intensidade de eventos pontuais. Eles observam as falhas das áreas de proteção marinhas ao proteger os corais da mudança do clima.



12. CONCLUSÕES

A mudança do clima terá grande repercussão nos sistemas ecológicos. Com ela, a distribuição das espécies poderá expandir ou diminuir, dependendo da região, além de haver declínios acentuados nas populações consideradas

comuns nos dias de hoje. Diferentes técnicas de modelagem estão disponíveis para ajudar nas previsões sobre mudanças futuras e basear os planos de conservação. No entanto, os modelos são cercados de incertezas, produzindo cenários que podem variar amplamente conforme forem as premissas e os métodos utilizados.

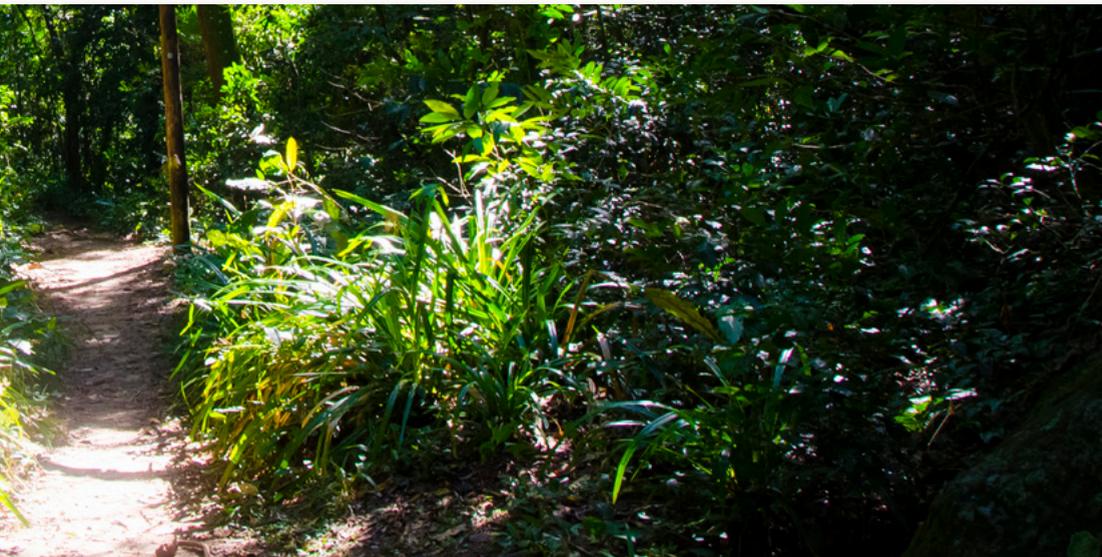
Ainda permanece a questão crucial no debate sobre os efeitos ecológicos da mudança do clima: será que as espécies se adaptarão rápido o suficiente para acompanhar as alterações em curso? Seja qual for o tipo de resposta – as mudanças na distribuição geográfica, as alterações na diversidade genética ou as interações interespecíficas, por exemplo –, fica evidente a necessidade de incluir os potenciais impactos desse fenômeno nas estratégias de conservação a fim de garantir a conservação da biodiversidade. Nesse contexto, é importante compreender os fatores de mudanças, bem como as ameaças e oportunidades que essas alterações constituem ao futuro da biodiversidade (Heller & Zavaleta, 2009). O destino das florestas tropicais, em particular, é preocupante,

FORTALECIMENTO DE AÇÕES DE CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO PARA AUMENTAR A CONECTIVIDADE DOS REMANESCENTES DE ECOSISTEMAS E A CONSOLIDAÇÃO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, REFLETINDO A GESTÃO FLORESTAL INTEGRADA DA PAISAGEM



pois, além da mudança do clima, o ecossistema está ameaçado pela expansão das fronteiras agrícolas (Defries & Eshleman, 2004).

Não há dúvidas de que a mudança do clima interfere nos sistemas naturais e, desse modo, de que é necessário pôr em prática estratégias e ações de conservação que incorporem o planejamento dinâmico para a eficiente proteção da biodiversidade. Nesse sentido, são necessárias medidas da redução de sua vulnerabilidade, como o fortalecimento de ações de conservação e recuperação para aumentar a conectividade dos remanescentes de ecossistemas e a consolidação de unidades de conservação, refletindo a gestão florestal integrada da paisagem (Brasil, 2016). Investigações recentes avaliam se as áreas protegidas já estabelecidas serão suficientes para salvaguardar a fauna e flora brasileiras (e.g. Zimbres *et al.*, 2012; Lemes & Loyola, 2013) por meio dos biomas. Em geral, tal abordagem inclui os modelos de distribuição das espécies no presente e no futuro como recursos de conservação importantes para o estabelecimento e a ampliação da rede de regiões já protegidas (e.g. Ferro *et al.*, 2014). Com vista à eficiência, os planejamentos também devem incorporar a conectividade da paisagem (Zwiener *et al.*, 2017), além da capacidade de deslocamento das espécies abrangidas pelo plano de conservação (Lemes *et al.*, 2014).



© Alexandre Augusto / WWF-Brasil

13. REFERÊNCIAS

- ALIMI T.O. *et al.* Predicting potential ranges of primary malaria vectors and malaria in northern South America based on projected changes in climate, land cover and human population. **Parasites & Vectors** 8: 431, 2015.
- Alvar J. *et al.* Leishmaniasis worldwide and global estimates of its incidence. **PLoS ONE** 7: e35671, 2012.
- Anderson R.P. *et al.* Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. **Ecological Modelling** 162: 211-232, 2003.
- ARAÚJO M.B. & NEW M. Ensemble forecasting of species distributions. **Trends in Ecology and Evolution** 22: 42-47, 2007.
- Barbosa F.G. The future of invasive African grasses in South America under climate change. **Ecological Informatics** 36: 114-117, 2016.
- BARNOSKY A.D. *et al.* Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? **Nature** 471: 51-57, 2011.
- Batista E.P.A. *et al.* *Anopheles darlingi* (Diptera: Culicidae) displays increased attractiveness to infected individuals with *Plasmodium vivax* gametocytes. **Parasites & Vectors** 7: 251, 2014.
- BELLARD C. *et al.* Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology Letters** 15: 365-377, 2012.
- BERNSTEIN L. *et al.* Climate change 2007: synthesis report. Summary for policymakers. In: **Climate change 2007: synthesis report**. IPCC, 2007.
- BITENCOURT C. *et al.* The worrying future of the endemic flora of a tropical mountain range under climate change. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants** 218: 1-10, 2016.
- BOTKIN D.B. *et al.* Forecasting the effects of global warming on biodiversity. **BioScience** 57: 227-236, 2007.
- Bradley B. *et al.* Predicting plant invasions in an era of global change. **Trends in Ecology & Evolution** 25: 310-318, 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Cenários futuros da mudança no clima e seus impactos sobre a biodiversidade brasileira (2015). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80182/Produtos%20Priscila/Produto1.pdf>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: estratégias setoriais e temáticas (vol. 2) – portaria MMA nº 150, de 10 de maio de 2016. Brasília: MMA, 2016. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80182/LIVRO_PNA_Plano%20Nacional_V2_copy_copy.pdf.

BRASIL. MMA. Portaria MMA nº 444, de 17 de dezembro de 2014. Diário Oficial da União (n. 245). Brasília: República Federativa do Brasil, 2014. Seção I, pp. 121-126, 2014⁸.

Brochero H.H. *et al.* A newly recognized species in the *Anopheles (Nyssorhynchus) albitarsis* complex (Diptera: Culicidae) from Puerto Carreno, Colombia. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene** 76: 1113-1117, 2007.

BROOK B. *et al.* Synergies among extinction drivers under global change. **Trends in Ecology & Evolution** 23: 453-460, 2008.

Campbell-Lendrum D. *et al.* Climate change and vector-borne diseases: what are the implications for public health research and policy? **Philosophical Transactions of the Royal Society of London – Series B** 370:20130552, 2015.

CARDILLO M. *et al.* Multiple causes of high extinction risk in large mammal species. **Science** 309: 1239-1241, 2005.

Carvalho B.M. *et al.* Ecological niche modelling predicts southward expansion of *Lutzomya (Nyssomyia) flaviscutellata* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), vector of *Leishmania (Leishmania) amazonenses* in South America, under climate change. **PLoS ONE** 30, 2015.

Carvalho B.M. *et al.* Evaluation of the impacts of climate change on disease vectors through ecological niche modelling. **Bulletin of Entomological Research** 107: 419-430, 2017.

CASSEMIRO F.A. *et al.* Distribuição da *Rhinella granulosa*: integrando envelopes bioclimáticos e respostas ecofisiológicas. **Revista da Biologia** 8: 38-44, 2012.

CATEN C.T. *et al.* Evaluating the Effectiveness of Brazilian Protected Areas under Climate Change: A Case Study of *Micrurus brasiliensis* (Serpentes: Elapidae). **Tropical Conservation Science** 10: 1940082917722027, 2017.

8 Reconhece como espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção aquelas constantes da “Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção”.

- CHEN I.C. *et al.* Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. **Science** 333: 1024-1026, 2011.
- Clavero M. & García-Berthou E. Invasive species are leading cause of animal extinctions. **Trends in Ecology & Evolution** 20: 110, 2005.
- COLLEVATTI R.G. *et al.* Range shift and loss of genetic diversity under climate change in *Caryocar brasiliense*, a Neotropical tree species. **Tree Genetics & Genomes** 7: 1237-1247, 2011.
- COLOMBO A.F. & JOLY C.A. 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: 697-708, 2010.
- Costa J. *et al.* Distributional potential of the *Triatoma brasiliensis* species complex at present and under scenarios of future climate conditions. **Parasites & Vectors** 7: 238, 2014.
- CUPERTINO-EISENLOHR M.A. *et al.* Stability or breakdown under climate change? A key group of woody bamboos will find suitable areas in its richness center. **Biodiversity and Conservation** 26: 1845-1861, 2017.
- DEFRIES R. & ESHLEMAN K.N. Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. **Hydrological Processes** 18: 2183-2186, 2004.
- DINIZ-FILHO J.A.F. *et al.* Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species turnover under climate change. **Ecography** 32: 897-906, 2009.
- DINIZ FILHO J.A.F. *et al.* Geographic shifts in climatically suitable areas and loss of genetic variability in *Dipteryx alata* ("Baru" Tree; Fabaceae). **Genetics and Molecular Research** 11: 1618-1626, 2012
- DULVY N.K. *et al.* You can swim but you can't hide: the global status and conservation of oceanic pelagic sharks and rays. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems** 18: 459-482, 2008.
- Elias M.A.S. *et al.* Climate change threatens pollination services in tomato crops in Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment** 239: 257-264, 2017.
- FALEIRO F.V. *et al.* Defining spatial conservation priorities in the face of land-use and climate change. **Biological Conservation** 158: 248-257, 2013.

FARIA A.P. *et al.* Predicting the impact of increasing carbon dioxide concentration and temperature on seed germination and seedling establishment of African grasses in Brazilian Cerrado. **Austral Ecology**, 2015a.

FARIA A.P. *et al.* Physiological approaches to determine the impact of climate changes on invasive African grasses in the savanna ecoregion of Brazil. **Environmental Earth Sciences** 1-12, 2015b.

FEARNSIDE P.M. Global warming in Amazonia: impacts and mitigation. **Acta Amazonica** 39: 1003-1011, 2009.

FEELEY K.J. & SILMAN M.R. Extinction risks of Amazonian plant species. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 106: 12382-12387, 2009.

FEELEY K.J. *et al.* The relative importance of deforestation, precipitation change, and temperature sensitivity in determining the future distributions and diversity of Amazonian plant species. **Global Change Biology** 18: 2636-2647, 2012.

FERRO V.G. *et al.* The reduced effectiveness of protected areas under climate change threatens Atlantic Forest tiger moths. **PLoS ONE** 9: e107792, 2014.

FREITAS A.V.L. & MARINI-FILHO, O.J. Plano de ação nacional para conservação dos lepidópteros ameaçados de extinção. Brasília: ICMBio, 2011.

GARCIA R.A. *et al.* Multiple dimensions of climate change and their implications for biodiversity. **Science** 344: 1247579, 2014.

GIANINNI T.C. *et al.* Pollination services at risk: bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. **Ecological Modelling** 244: 127-131, 2012.

Giannini T.C. *et al.* Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. **PloS ONE** 12: e0182274, 2017.

Giannini T.C. *et al.* Safeguarding ecosystem services: a methodological framework to buffer the joint effect of habitat configuration and climate change. **PloS ONE** 10: e0129225, 2015a.

GIANNINI, T.C. *et al.* The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. **Journal of Economic Entomology** 108: 849-857, 2015b.

GIOVANELLI J.G.R. Predicting the potential distribution of the alien invasive American bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in Brazil. **Biological Invasions** 10: 585-590, 2008.

- González C. *et al.* Climate change and risk of leishmaniasis in North America: Predictions from ecological niche models of vector and reservoirs species. **PLoS Neglected Tropical Diseases** 4: e585, 2010.
- GOUVEIA S.F. *et al.* Climate and land use changes will degrade the configuration of the landscape for titi monkeys in eastern Brazil. **Global Change Biology** 22: 2003-2012, 2016.
- HADDAD C.F.B. **Guia dos Anfíbios da Mata Atlântica: diversidade e biologia**. Anolis Books, 2013.
- Hegland S. *et al.* How does climate warming affect plant pollinator interactions? **Ecology Letters** 12: 184-195, 2009.
- HELLER N.E. & ZAVALETA E.S. Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations. **Biological Conservation** 142: 14-32, 2009.
- Hellmann J.J. *et al.* Five potential consequences of climate change for invasive species. **Conservation Biology** 22: 534-543, 2008.
- HOFFMANN D. *et al.* How climate change can affect the distribution range and conservation status of an endemic bird from the highlands of eastern Brazil: the case of the Gray-backed Tachuri, *Polystictus superciliaris* (Aves, Tyrannidae). **Biota Neotropica** 15: 2, 2015.
- HUGHES T.P. *et al.* Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. **Science** 301: 929-933, 2003.
- HULME PE. Beyond control: wider implications for the management of biological invasions. **Journal of Applied Ecology** 43: 835-847, 2006.
- IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-2. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org>.
- JIMÉNEZ-VALVERDE A. *et al.* Use of niche models in invasive species risk assessments. **Biological Invasions** 13: 2785-2797, 2011.
- Kearney M.R & Porter W.P. Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species ranges. **Ecology Letters** 12:334-350, 2009.
- Khormi H.M. & Kumar L. Climate change and the potential global distribution of *Aedes aegypti*: spatial modelling using geographical information system and CLIMEX. **Geospatial Health** 8: 405-415, 2014.

King R.J. *et al.* Predicting geographic variation in cutaneous leishmaniasis, Colombia. **Emerging Infectious Diseases** 10: 598-607, 2004.

LADLE R. & WHITTAKER R.J. (eds.). **Conservation Biogeography**. John Wiley & Sons, 2011.

LAPORTA G.Z. *et al.* Malaria vectors in South America: current and future scenarios. **Parasites & Vectors** 8: 1-13, 2015.

LEÃO Z.M.A.N. *et al.* Branqueamento de corais nos recifes da Bahia e sua relação com eventos de anomalias térmicas nas águas superficiais do oceano. **Biota Neotropica** 8: 69-82, 2008.

LEÃO Z.M.A.N. *et al.* Brazilian coral reefs in a period of global change: A synthesis. **Brazilian Journal of Oceanography** 64: 97-116, 2016.

LEMES P. & LOYOLA R.D. Accommodating species climate-forced dispersal and uncertainties in spatial conservation planning. **PLoS ONE** 8: e54323, 2013.

LEMES P. Climate change threatens protected areas of the Atlantic Forest. **Biodiversity and Conservation** 23: 357-368, 2014.

LEUNG B. *et al.* An ounce of prevention or a pound of cure: bioeconomic risk analysis of invasive species. **Proceedings of the Royal Society of London Series B - Biological Sciences** 269: 2407-2413, 2002.

LIMA J.S. *et al.* Climatic changes can drive the loss of genetic diversity in a Neotropical savanna tree species. **Global Change Biology**, 2017.

LOISELLE B.A. *et al.* Assessing the impact of deforestation and climate change on the range size and environmental niche of bird species in the Atlantic forests, Brazil. **Journal of Biogeography** 37: 7, 1288-1301, 2010.

Lopes T.M. *et al.* Two sides of a coin: effects of climate change on the native and non-native distribution of *Colossoma macropomum* in South America. **PLoS ONE** 12: e0179684, 2017.

Loyola R.D. *et al.* Climate change might drive species into reserves: a case study of the American bullfrog in the Atlantic Forest Biodiversity Hotspot. **Alytes** 29: 61-74, 2012.

LOYOLA R.D. *et al.* Severe loss of suitable climatic conditions for marsupial species in Brazil: challenges and opportunities for conservation. **PLoS ONE** 7: e46257, 2012.

- LYRA A.A. *et al.* Sensitivity of the Amazon biome to high resolution climate change projections. **Acta Amazonica** 46: 175-188, 2016.
- MACK R.N. *et al.* Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. **Ecological Applications** 10: 689-710, 2000.
- MAIR L. *et al.* Abundance changes and habitat availability drive species/responses to climate change. **Nature Climate Change** 4: 127-131, 2014.
- MAGRIS R.A. *et al.* Conservation planning for coral reefs accounting for climate warming disturbances. **PLoS ONE** 10: e0140828, 2015.
- MALHI Y. *et al.* Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 106: 20610-20615, 2009.
- MARINI M.A. *et al.* Predicted Climate-Driven Bird Distribution Changes and Forecasted Conservation Conflicts in a Neotropical Savanna. **Conservation Biology** 23: 1558-1567, 2009a.
- MARINI M.A. *et al.* Major current and future gaps of Brazilian reserves to protect Neotropical savanna birds. **Biological Conservation** 142: 3039-3050, 2009b.
- MARINI M.A. *et al.* Applying ecological niche modelling to plan conservation actions for the Red-spectacled Amazon (*Amazona pretrei*). **Biological Conservation** 143: 102-112, 2010.
- Martins A.C. *et al.* Species conservation under future climate change: the case of *Bombus bellicosus*, a potentially threatened South American bumblebee species. **Journal of Insect Conservation** 19: 33-43, 2015.
- Marzochi M.C.A. & Marzochi, K.B.F. Tegumentary and visceral leishmaniasis in Brazil – emerging anthroozoonosis and possibilities for their control. **Cadernos de Saúde Pública** 10: 359-375, 1994.
- Mendes C.S. *et al.* Impacto das mudanças climáticas sobre a leishmaniose no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva** 21: 263-272, 2016.
- MESQUITA P.C.M.D. *et al.* Are common species endangered by climate change? Habitat suitability projections for the royal ground snake, *Liophis reginae* (Serpentes, Dipsadidae). **North-Western Journal of Zoology** 9: 2013.

MILES L. *et al.* The impact of global climate change on tropical forest biodiversity in Amazonia. **Global Ecology and Biogeography** 13: 553-565, 2004.

Mills J.N. *et al.* Potential influence of climate change on vector-borne and zoonotic diseases: a review and proposed research plan. **Environmental Health Perspectives** 118: 1507-1514, 2010.

Monteiro F.A. *et al.* Nested clade and phylogeographic analyses of the Chagas disease vector *Triatoma brasiliensis* in northeast Brazil. **Molecular Phylogenetics and Evolution** 32: 46-56, 2004.

Moo-Llanes D. *et al.* Current and future niche of North and Central American sand flies (Diptera: Psychodidae) in climate change scenarios. **PLoS Neglected Tropical Diseases** 7: e2421, 2013.

MULLER-PARKER G. & D'ELIA C.F. Interactions between corals and their symbiotic algae. In: BIRKELAND C. (ed.). Life and death of coral reefs. Chapman and Hall, New York: 1997. pp. 96-112.

MYERS N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature** 403: 853, 2000.

NABOUT J.C. *et al.* Global climate change and the production of “Pequi” fruits (*Caryocar brasiliense*) in the Brazilian Cerrado. **Natureza & Conservação** 9:55-60, 2011.

Nabout J.C. *et al.* Distribuição geográfica potencial de espécies americanas do caranguejo “violonista” (*Uca* spp) (Crustacea, Decapoda) com base em modelagem de nicho ecológico. **Iheringia – Série Zoologia** 99: 92-98, 2009.

NAVAS C.A. *et al.* The body temperature of active amphibians along a tropical elevation gradient: patterns of mean and variance and inference from environmental data. **Functional Ecology** 27: 1145-1154, 2013.

Nemesio A. *et al.* Effects of climate change and habitat loss on a forest-dependent bee species in a tropical fragmented landscape. **Insect Conservation and Diversity** 9: 149-160, 2016.

NORI J. *et al.* Climate change and American Bullfrog invasion: what could we expect in South America. **PLoS ONE** 6: e25718, 2011.

OLIVEIRA G. *et al.* Conservation biogeography of the Cerrado's wild edible plants under climate change: Linking biotic stability with agricultural expansion. **American Journal of Botany** 102: 870-877, 2015.

- OLIVEIRA U. *et al.* Biodiversity conservation gaps in the Brazilian protected areas. **Scientific Reports** 7, 2017.
- PACIFICI M. *et al.* Assessing species vulnerability to climate change. **Nature Climate Change** 5: 215-224, 2015.
- PARMESAN C. & YOHE G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **Nature** 421: 37, 2003.
- PECL G.T. *et al.* Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. **Science** 355: eaai9214, 2017.
- PETERSON A. Townsend. **Ecological niches and geographic distributions** (MPB-49). Princeton University Press, 2011.
- Piggot D.M. *et al.* Global distributions maps of the leishmaniasis. **eLife** 3: e02851, 2014.
- PIMENTEL D. *et al.* Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 84: 1-20, 2001.
- Pivello V.R. *et al.* Alien grasses in Brazilian savannas: a threat to the biodiversity. **Biodiversity Conservation** 8: 1281-1294, 1999.
- POUNDS J.A. *et al.* Biological response to climate change on a tropical mountain. **Nature** 398: 611, 1999.
- PURVIS A. Phylogenetic approaches to the study of extinction. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics** 39, 2008.
- RABINOVICH J.E. Vital statistics of Triatominae (Hemiptera: Reduviidae) under laboratory conditions in *Triatoma infestans* Klug. **Journal of Medical Entomology** 9: 351-70, 1972.
- RAPINI A. *et al.* A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. **Megadiversidade** 4: 16-24, 2008.
- RIBEIRO B.R. *et al.* Assessing mammal exposure to climate change in the Brazilian Amazon. **PloS ONE** 11: e0165073, 2016
- Rios-Velásquez C.M. *et al.* Experimental *Plasmodium vivax* infection of key *Anopheles* species from the Brazilian Amazon. **Malaria Journal** 2:460,
- RODRIGUES P.M.S. *et al.* Climate change effects on the geographic distribution of specialist tree species of the Brazilian tropical dry forests. **Brazilian Journal of Biology** 75: 679-684, 2015.

ROOT T.L. *et al.* Fingerprints of global warming on wild animals and plants. **Nature** 421:57, 2003.

SANTOS C.F. *et al.* Temperature rise and its influence on the cessation of diapause in *Plebeia droryana*, a eusocial bee (Hymenoptera: Apidae). **Annals of the Entomological Society of America** 109: 29-34, 2015.

SCHERNER F. *et al.* Effects of ocean acidification and temperature increases on the photosynthesis of tropical reef calcified macroalgae. **PLoS ONE** 11(5): e0154844. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154844>.

Segurado P. & Araújo M.B. An evaluation of methods for modelling species distributions. **Journal of Biogeography** 31: 1555-1568, 2004.

Shaw J.J. & Lainson R. Leishmaniasis in Brazil: II Observations on enzootic rodent leishmaniasis in the lower amazon region – The feeding habitats of the vector, *Lutzomyia flaviscutellata* in reference to man, rodents and other animals. **Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene** 62: 396-405, 1968.

SIMON L.M. *et al.* Effects of global climate changes on geographical distribution patterns of economically important plant species in Cerrado. **Revista Árvore** 37: 267-274, 2013.

SIQUEIRA M.F. & PETERSON A.T. Consequences of global climate change for geographic distributions of Cerrado tree species. **Biota Neotropica** 3: 1-14, 2003.

SOBRAL-SOUZA T. *et al.* Species extinction risk might increase out of reserves: allowances for conservation of threatened butterfly *Actinote quadra* (Lepidoptera: Nymphalidae) under global warming. **Natureza & Conservação** 13: 159-165, 2015.

SOUZA T.V. *et al.* Redistribution of threatened and endemic Atlantic Forest birds under climate change. **Natureza & Conservação** 9: 214-218, 2011.

STOCKER T.F. *et al.* IPCC, 2013: summary for policymakers. **Climate Change** 3-29, 2013.

TABARELLI M. *et al.* Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation** 143: 2328-2340, 2010.

Thuiller W. Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. **Global Change Biology** 10: 2020-2027, 2004.

- THUILLER W. *et al.* Consequences of climate change on the tree of life in Europe. **Nature** 470: 531, 2011.
- Tsoar A. *et al.* A comparative evaluation of presence only methods for modelling species distribution. **Diversity and Distributions** 13: 397-405, 2007.
- VALE M.M. *et al.* Mudanças climáticas: desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade brasileira. **Oecologia Australis** 13: 518-534, 2009.
- VASCONCELOS T.S. Tracking climatically suitable areas for an endemic Cerrado snake under climate change. **Natureza & Conservação** 12: 47-52, 2014.
- VASCONCELOS T.S. & DO NASCIMENTO B.T.M. Potential climate-driven impacts on the distribution of generalist treefrogs in South America. **Herpetologica** 72: 23-31, 2016.
- VAZ U.L. & NABOUT J.C. Using ecological niche models to predict the impact of global climate change on the geographical distribution and productivity of *Euterpe oleracea* Mart. (Arecaceae) in the Amazon. **Acta Botanica Brasilica** 30: 290-295, 2016.
- VEIGA L.M. *et al.* 2008. *Callicebus coimbrai*. **The IUCN Red List of Threatened Species** e.T39954A10297332, 2008.
- Wang X.Y. *et al.* Predicting potential distribution of *chestnut phylloxerid* (Hemiptera: Phylloxeridae) based on GARP and Maxent ecological niche models. **Journal of Applied Entomology** 134: 45-54, 2010.
- WARREN D.L. & SEIFERT S.N. Environmental niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. **Ecological Applications** 21:335-342, 2011.
- World Health Organization (WHO). Control of Chagas disease. Technical Report Series 811. Geneva: World Health Organization, 1991.
- WHO. Dengue prevention and control. Geneva: World Health Organization, 2002.
- Woodward A. *et al.* Climate change and health: on the latest IPCC report. **Lancet**. 383: 1185-1189, 2014.
- ZANIN M. & ALBERNAZ A.L.M. Impacts of climate change on native landcover: seeking future climatic refuges. **PLoS ONE** 11: e0162500, 2016.

ZHANG J. *et al.* Extinction risk of North American seed plants elevated by climate and land-use change. **Journal of Applied Ecology** 54: 303-312, 2017.

ZIMBRES B.Q.C. *et al.* Range shifts under climate change and the role of protected areas for armadillos and anteaters. **Biological Conservation** 152: 53-61, 2012.

ZWIENER V.P. *et al.* Planning for conservation and restoration under climate and land use change in the Brazilian Atlantic Forest. **Diversity and Distributions** 23: 955-966, 2017.



© shutterstock / Casandra Cury

BIODIVERSIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL: LEVANTAMENTO E SISTEMATIZAÇÃO DE REFERÊNCIAS

110

estudos sobre os efeitos das mudanças climáticas na biodiversidade brasileira entre 2001 e 2017

85

estudos publicados nos últimos 5 anos



18

estudos referentes à Mata Atlântica

34

estudos sobre plantas



Por que estamos aqui?

Para frear a degradação do meio ambiente e construir um futuro no qual os seres humanos vivam em harmonia com a natureza.

wwf.org.br