

IMPACTOS E EXPOSIÇÃO ATUAL DA BIODIVERSIDADE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL

Por

RONALDO WEIGAND JR., Ph.D.

Consultor

Elaborado para

Projeto BRA/11/001

**Apoio para elaboração da componente biodiversidade do Plano
Nacional de Adaptação à Mudança do Clima.**

2015

SUMÁRIO

1. Impactos e Exposição Atual da Biodiversidade às Mudanças Climáticas no Brasil.....	3
1.1. Introdução.....	3
1.2. Estratégia de Desenvolvimento deste Trabalho	4
1.2.1. Os três níveis da definição de biodiversidade.....	4
1.2.2. Lidando com a falta de trabalhos sobre o tema no Brasil.....	4
1.3. Ecossistemas	4
1.3.1. Especificando o conceito de ecossistema	5
1.3.2. Exposição dos ecossistemas.....	5
1.3.3. Sensibilidade dos ecossistemas.....	6
1.3.4. Capacidade de adaptação dos ecossistemas	7
1.3.5. Impactos atuais sobre os ecossistemas	8
1.3.6. Adaptação com Base em Ecossistemas.....	8
1.4. Espécies.....	8
1.4.1. Exposição das espécies à mudança do clima	8
1.4.2. Sensibilidade das espécies às mudanças do clima.....	8
1.4.3. Capacidade de adaptação das espécies	9
1.4.4. Impactos atuais sobre as espécies	10
1.5. Diversidade genética.....	11
1.5.1. Exposição e sensibilidade da diversidade genética.....	11
1.5.2. Capacidade de adaptação na diversidade genética	11
1.5.3. Impactos sobre os genomas.....	12
2. Demandas de Ação para Fortalecimento da Capacidade Adaptativa da Biodiversidade Brasileira.....	12
3. Mudanças climáticas e a governança para conservação da biodiversidade.....	13
4. A conservação da biodiversidade e sua relação com os outros setores.....	13
4.1. Referências.....	13

1. IMPACTOS E EXPOSIÇÃO ATUAL DA BIODIVERSIDADE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL

1.1. INTRODUÇÃO

A Convenção da Diversidade Biológica (CDB) definiu a biodiversidade como “a variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas” (CDB, Art. 2o., Brasil/MMA, 1992, p. 9). Além de sua importância intrínseca, a biodiversidade é a base para uma série de benefícios disponibilizados para a sociedade, na forma de serviços ecossistêmicos de provisão de produtos, regulação dos ecossistemas e processos climáticos, suporte à produção e às espécies, e serviços relacionados à cultura e à saúde. Entretanto, a biodiversidade se perpetua em relação íntima com os demais fatores ambientais, entre eles, o clima.

Os impactos da mudança do clima sobre as espécies não são um assunto novo na biologia, e alcançam quase cem anos (Parmesan, 2006). Os impactos da mudança do clima sobre a biodiversidade estão sendo documentados em todos os continentes, todos os oceanos, na maioria dos grupos taxonômicos (Ibid.; Hughes 2000, McCarty 2001, Walther et al. 2002 e Walther et al. 2005 citados por Vale, Alves e Lorini, 2009). Entretanto, a documentação científica desses impactos tem se concentrado na América do Norte, Europa e Japão, com grandes lacunas na América do Sul, apesar do número crescente de trabalhos neste tema sendo publicados ano a ano (Parmesan, 2006; Vale, Alves e Lorini, 2009)¹. Até 2009, poucas tentativas de avaliar a sensibilidade dos trópicos às mudanças climáticas globais haviam sido realizadas (Vale, Alves e Lorini, 2009). Uma série de outros trabalhos realizados desde 2007 sobre os cenários futuros para a biodiversidade brasileira (por exemplo, Marengo, 2007; Marini, Barbet-Massin, Lopes e Jiguet, Frederic, 2009; Marini, Barbet-Massin, Lopes e Jiguet, Frédéric, 2009; Marini, Barbet-Massin, Lopes, *et al.*, 2010; Marini, Barbet-Massin, Martinez, *et al.*, 2010; Vieira, Mendes e Oprea, 2012).

Já os trabalhos sobre os impactos presentes da mudança do clima na biodiversidade brasileira são menos comuns. É difícil estabelecer ligações causais entre o declínio de uma espécie e a mudança do clima (PBMC, 2013), embora haja um consenso quase unânime de que a mudança do clima está acontecendo e que pode alcançar níveis críticos nas próximas décadas (IPCC, 2014).

Este trabalho, desenvolvido como subsídio para a elaboração da seção sobre biodiversidade do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), busca:

- Descrever como a biodiversidade está exposta à mudança do clima, o que caracteriza a sua sensibilidade e capacidade de adaptação, e os impactos atuais e prováveis.

¹ Parmesan (2006) revisou 866 trabalhos *peer reviewed*, e 40% deles foram produzidos nos últimos três anos antes da elaboração do seu artigo.

- Sistematizar os resultados de estudos sobre a exposição, a sensibilidade, a capacidade de adaptação e os impactos atuais da mudança do clima sobre a biodiversidade brasileira, apontando lacunas.
- Analisar estudos sobre a exposição, a sensibilidade, a capacidade de adaptação e os impactos futuros, apontando sugerindo caminhos metodológicos para o desenvolvimento dos estudos complementares a este trabalho.
- Identificar as demandas de ações para a adaptação à mudança do clima em relação à biodiversidade.

1.2. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO DESTE TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido com base em revisão bibliográfica, cuja análise e sistematização se deu a partir da definição de biodiversidade da CDB e do Marco Conceitual do IPCC AR4, adotado pelo MMA. A identificação dos trabalhos a serem revisados se deu a partir de buscas por palavras-chaves na internet e em trabalhos disponibilizados no site do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Não foi um levantamento exaustivo, mas procurou-se uma ampla cobertura de abordagens diferentes sobre o tema.

1.2.1. OS TRÊS NÍVEIS DA DEFINIÇÃO DE BIODIVERSIDADE

De acordo com definição da CDB para a biodiversidade (apresentada na Introdução, Brasil/MMA, 1992), esta pode ser definida em três níveis:

- a) Ecossistemas
- b) Espécies/populações
- c) Diversidade genética dentro das espécies/populações

Assim, considerando esses três níveis, procuramos responder as seguintes perguntas: qual é a exposição desses níveis de biodiversidade à mudança do clima? Qual é a sua sensibilidade? Qual a sua capacidade de adaptação? Quais são os impactos? Quais os tipos de respostas adaptativas são demandados das políticas públicas?

1.2.2. LIDANDO COM A FALTA DE TRABALHOS SOBRE O TEMA NO BRASIL

Considerando a cobertura ainda muito incompleta dos estudos desenvolvidos no Brasil, uma revisão só dos trabalhos desenvolvidos no País poderia dar uma visão incompleta sobre as formas pelas quais a mudança do clima está impactando e vai impactar a biodiversidade nas próximas décadas, subestimando o impacto que já está ocorrendo e resultando em recomendações incompletas.

Por isso, este trabalho discute como a biodiversidade nos três níveis está *ou pode estar* sendo impactada, por meio de uma discussão sobre exposição, sensibilidade, capacidade adaptativa e impactos, com base em trabalhos realizados no Brasil e em outros países.

1.3. ECOSSISTEMAS

O nível mais alto da biodiversidade é o “ecossistema”. Nesta seção tratamos de como os ecossistemas estão sendo expostos à mudança do clima, da sua sensibilidade e capacidade de adaptação, dos impactos já observados e das sugestões metodológicas para os próximos

estudos. Entretanto, antes, é preciso especificar melhor o nível “ecossistêmico” da biodiversidade.

1.3.1. ESPECIFICANDO O CONCEITO DE ECOSSISTEMA

Conceitualmente, ecossistema é “um complexo dinâmico de comunidades vegetais, animais e microrganismos e o seu meio inorgânico que interagem como uma unidade funcional” (Brasil/MMA, 1992, p. 9). Para avaliação dos impactos do clima sobre a biodiversidade no nível ecossistêmico, o mais adequado é utilizar os conceitos de *fitofisionomia* e ou de *ecorregiões*, organizados por *biomas*.

Segundo a definição do IBGE (2004) bioma é “um conjunto de vida (vegetal e animal) constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças, resultando em uma diversidade biológica própria”. O IBGE classificou o território continental brasileiro em seis biomas (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal, Pampa). A definição de bioma para ambientes marinhos (por ex., Hayden, Ray e Dolan, 1984), não foi adotada pelo IBGE.

Biomas, na classificação do IBGE, envolvem formações dominantes com um conjunto típico de fitofisionomias (tipos de vegetação). O Mapa de Biomas Brasileiros apresenta também 10 tipos de vegetação (ou fitofisionomias) que podem ocorrer em mais de um bioma. As classificações de fitofisionomias podem ser bastante específicas. Uma floresta tropical pode ter muitos subtipos, resultantes das condições ecológicas locais. As características de cada tipo de vegetação e sua dependência de fatores climáticos é bem conhecida e pode ser utilizada nas modelagens, constituindo um bom indicador substituto para a biodiversidade. Entretanto, para projeções envolvendo o território nacional e um alto grau de incerteza quanto aos valores dos parâmetros climáticos no futuro, pode ser interessante um menor detalhamento.

Ecorregiões se aproximam do conceito de bioma e fitofisionomia com uma diferença fundamental: elas procuram representar biotas distintas (Olson *et al.*, 2001). Beaumont *et al.* (2011) avaliaram o potencial impacto da mudança do clima sobre o grupo de 238 ecorregiões mais importantes para a conservação da biodiversidade no mundo, conhecidas como Global 200, e concluíram que as próximas décadas poderão colocar pressão substancial sobre a sua integridade e sobrevivência. Quase todas as ecorregiões Global 200 vão experimentar temperaturas consideradas extremas comparadas com a linha de base de 1961-1990.

1.3.2. EXPOSIÇÃO DOS ECOSSISTEMAS

Fitofisionomias e ecorregiões estão sendo expostas à mudança do clima. A maior incidência de eventos extremos é um dos efeitos esperados da mudança do clima. Há a percepção de que a incidência de eventos extremos esteja aumentando em todos os biomas, com impactos na biodiversidade.

Na literatura sobre os impactos da mudança do clima sobre os ecossistemas, a Amazônia tem recebido mais atenção que os outros biomas. A maioria dos modelos sugerem que a Amazônia se tornará mais quente neste século, mas não há consenso sobre como a precipitação será afetada (Cochrane e Laurance, 2008).

Várias fitofisionomias da caatinga vêm sofrendo com secas extremas (Marengo, Alves, *et al.*, 2013). Entre os trabalhos incluídos na revisão, não há uma avaliação da exposição atual dos demais biomas (Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal) e de suas fitofisionomias.

Em relação ao futuro, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) sistematizou os estudos com as projeções de mudanças do clima para o Século XXI, mostrando aumentos de temperatura em todos os biomas, com diminuição da pluviosidade na Amazônia, Caatinga, Cerrado e Pantanal, e aumento de pluviosidade na Mata Atlântica e Pampa.

Tabela 1: Projeções de mudança na temperatura e precipitação nos biomas brasileiros.

Bioma	Precipitação (%)			Temperatura (°C)		
	Até 2040	2041-2070	2071-2100	Até 2040	2041-2070	2071-2100
Amazônia	-10	-25 a -30	-40 a -45	+1 a +1,5	+3 a +3,5	+5 a +6
Caatinga	-10 a -20	-25 a -35	-40 a -50	+0,5 a +1	+1,5 a +2,5	+3,5 a +4,5
Cerrado	-10 a -20	-20 a -35	-35 a -45	+1	+3 a +3,5	+5 a +5,5
Mata Atlântica (nordeste)	-10	-20 a -25	-30 a -35	+0,5 a +1	+2 a +3	+3 a +4
Mata Atlântica (sudeste)	+5 a +10	+15 a +20	+25 a +30	+0,5 a +1	+1,5 a +2	+2,5 a +3
Pampa	+5 a +10	+15 a +20	+35 a +40	+1	+1 a +1,5	+2,5 a +3
Pantanal	-5 a -15	-10 a -25	-35 a -45	+1	+2,5 a +3,5	+3,5 a +4,5

Enquanto na maioria dos ecossistemas terrestres a influência da mudança do clima se dá por meio de variações de temperatura do ar e precipitação, na zona costeira e marinha a mudança do clima causa impactos pela elevação do nível dos oceanos, elevação da temperatura das águas, acidificação das águas e mudanças na salinidade. No século XX, a elevação do nível dos oceanos alcançou entre 12 e 22 cm.

As previsões são de que os oceanos vão continuar a elevar seu nível (Silva Bezerra, Amaral e Kampel, 2014). O aumento do nível dos oceanos pode impactar os ecossistemas costeiros. Nos manguezais, essa influência é complexa. No caso da simples elevação do nível do mar, o manguezal tende a penetrar terra adentro, mas a ocupação humana pode ser um obstáculo (Silva Bezerra, Amaral e Kampel, 2014). Além dos manguezais, estão sendo impactados outros ecossistemas costeiros, como os apicuns, salgados e restingas. As áreas de deposição e erosão de sedimentos também pode mudar, tanto devido à elevação do nível do mar, quanto devido a mudanças nas correntes marinhas. Assim, pode-se esperar paisagens costeiras mais dinâmicas, forçando os limites de adaptação das comunidades bióticas.

Um impacto bastante notável tem sido o aumento do “branqueamento” (bleaching) dos recifes de coral devido à perda da alga simbiote (Parmesan, 2006).

1.3.3. SENSIBILIDADE DOS ECOSSISTEMAS

Cada ecossistema tem uma sensibilidade diferente à mudança do clima. Segundo Beaumont *et al.* (2011) o maior impacto da mudança do clima sobre as ecorregiões está na produtividade primária dos ecossistemas. A produtividade poderá aumentar ou diminuir, dependendo do novo

padrão de chuvas. Entretanto, com o aumento da temperatura, a taxa de respiração pode aumentar, assim como o estresse hídrico. Assim, temperatura mais alta pode aumentar o impacto da redução na precipitação (Ibid.).

Na Amazônia, períodos prolongados de seca aumentam a vulnerabilidade a incêndios florestais (Silvestrini *et al.*, 2010), especialmente nas áreas de contato entre a floresta e as atividades agropecuárias e nas áreas que foram alvo de extração seletiva de madeira. Entretanto, o principal fator que aumenta a incidência de incêndios na Amazônia é a fragmentação da paisagem (que dobra a incidência de incêndios), ainda que a mudança climática aumente a probabilidade em até 30% (Soares-Filho *et al.*, 2012). Uma área queimada na Amazônia aumenta muito suas probabilidades de sofrer uma nova queima (Cochrane, 2009; Pereira, 2006).

Na escala da paisagem (10 a 1000 km) os efeitos da fragmentação na Amazônia são complexos, com consequências na circulação atmosférica, ciclagem da água e precipitação (Laurance, 2004). Num contexto de mudança do clima, com o aumento de eventos extremos, inclusive de seca e vento, a fragmentação exacerbará os impactos (Cochrane, 2009).

No Cerrado e na Caatinga, nas condições atuais e históricas, incêndios de origem antrópica ou natural são comuns na época seca, e a vegetação geralmente apresenta capacidade de recuperação mantendo as fitofisionomias.

1.3.4. CAPACIDADE DE ADAPTAÇÃO DOS ECOSISTEMAS

Enquanto alguns ecossistemas possuem resiliência (fitofisionomias de cerrado e da caatinga), outros (Amazônia) parecem controlar o seu próprio clima (Machado e Pacheco, 2010; Nobre, 2014). Entretanto, o desmatamento e as queimadas reduzem a capacidade da floresta de gerar chuvas locais (Keller *et al.*, 2004). Para essa capacidade de adaptação se efetivar, é preciso evitar as queimadas, além de manter e recuperar a floresta, não só na Amazônia, mas também no centro sul do País. A consolidação de uma rede de áreas protegidas, incluindo unidades de conservação e terras indígenas, integradas na paisagem e planejadas tendo em vista seu papel na formação de chuvas na região, ajudará a manter a capacidade de adaptação da floresta. A conservação e recuperação da floresta nas propriedades entre as áreas protegidas também é fundamental para manter a capacidade de adaptação da floresta. Além disso, grande parte das chuvas do Cerrado e do sul da Mata Atlântica vêm da Amazônia, e dependem dos mecanismos geradores e recicladores de chuva de lá para se manter (Nobre, 2014).

No caso dos manguezais, o principal fator para a adaptação dos manguezais à elevação do nível do mar é a possibilidade de colonização de áreas mais altas, o que é determinado pela presença humana e alteração do uso do solo dela derivado (Silva Bezerra, Amaral e Kampel, 2014). Assim, manter protegida a área de preservação permanente ao redor dos manguezais é uma medida importante. Além disso, é importante a manutenção da vazão dos rios e a redução da sua carga de sedimentos mais pesados (areia), o que implica a recuperação das matas ciliares dos rios que formam estuários e de seus tributários.

Em relação aos corais e algumas espécies marinhas de peixes, tem sido documentado um movimento na área de ocorrência em direção a maiores latitudes (Parmesan, 2006).

1.3.5. IMPACTOS ATUAIS SOBRE OS ECOSISTEMAS

Conforme foi apontado antes, é difícil saber se um determinado evento climático é resultado da mudança do clima e se causou impacto sobre a biodiversidade. Pode-se inferir essa relação causal quando o que é esperado da mudança do clima é observado na prática. Na Amazônia, o principal impacto atual esperado sobre a floresta era o aumento do número e da extensão de incêndios florestais. De fato, a incidência de incêndios florestais na Amazônia tem aumentado e se espalhado (Cochrane, 2009). Mas esses focos de calor podem ser somente resultado da ação humana.

Processos de desertificação, associados ao uso da terra e provavelmente mudança do clima, têm sido observados no nordeste. A região da Mata Atlântica vem experimentando uma seca grave.

1.3.6. ADAPTAÇÃO COM BASE EM ECOSISTEMAS

Nas medidas de Adaptação com Base em Ecossistemas (ABE), a conservação e recuperação de ecossistemas para aumento da capacidade de adaptação deve ganhar destaque. Os prejuízos causados pela seca de 2014 no sudeste do País podem ser utilizados na valoração desse tipo de ABE.

1.4. ESPÉCIES

Espécies é o segundo nível de biodiversidade de acordo com a definição da CDB. É o componente da biodiversidade mais individualizável. Uma das definições de espécie é a de um conjunto de organismos que podem se reproduzir entre si deixando descendentes férteis. O surgimento e a extinção de espécies são parte da dinâmica natural da evolução. Entretanto, a mudança do clima vem acelerando a taxa de extinção, reduzindo a diversidade de espécies.

1.4.1. EXPOSIÇÃO DAS ESPÉCIES À MUDANÇA DO CLIMA

A mudança do clima pode influenciar as espécies diretamente ou de forma indireta. De forma direta, mudanças na temperatura (valores médios, amplitude, valores extremos, etc.) e na precipitação podem prejudicar o desenvolvimento, reduzir a mobilidade, prejudicar taxas reprodutivas, aumentar a mortalidade, etc. Indiretamente, essas mudanças podem impactar os ecossistemas (como discutido acima) ou prejudicar ou beneficiar outras espécies, favorecendo patógenos, predadores e competidores, e prejudicando organismos mutualísticos. Os resultados desses impactos podem ser mais rápidos ou mais lentos.

Embora os trabalhos modelando a exposição das espécies à mudança do clima sejam cada vez mais comuns, a exposição atual no Brasil não foi identificada nos estudos consultados. Isso pode ser resultado da falta de uma síntese sobre as mudanças no clima já ocorridas.

1.4.2. SENSIBILIDADE DAS ESPÉCIES ÀS MUDANÇAS DO CLIMA

As espécies expostas à mudança do clima podem ser afetadas direta ou indiretamente. Segundo Parmesan (2006), que revisou 866 trabalhos *peer reviewed* realizados em diversas partes do mundo, a maioria dos impactos observados da mudança do clima sobre a biodiversidade tem se dado sobre a fenologia das espécies. A fenologia é o conjunto dos eventos biológicos cíclicos de uma espécie, como os relacionados a reprodução, crescimento, queda e brotação de folhas, floração, entre outros. A sincronia desses eventos entre as espécies é muito importante na organização dos ecossistemas e para o sucesso das espécies.

Além dos parâmetros climáticos médios que influenciam as espécies, os eventos extremos podem ter impacto importante. Os eventos extremos que mais impactam as espécies são as enchentes, as secas prolongadas e os incêndios em ambientes onde a biota não está adaptada. Esses eventos têm ocorrido na Amazônia e no Nordeste, apesar desses padrões na Amazônia e no Nordeste não poderem ser, de forma conclusiva, ligados ao aquecimento global (Marengo, Borma, *et al.*, 2013). Também tem sido notável a ocorrência de eventos extremos de precipitação no Sudeste e Sul do Brasil (Silva, 2011).

Além dos parâmetros médios e dos eventos extremos, o impacto da mudança do clima sobre uma espécie depende do micro-habitat, ou seja, de onde o organismo vive no ecossistema, se embaixo da terra (Closel e Kohlsdorf, 2012) ou alto da copa das árvores ou dentro d'água. Organismos que podem mudar sua localização dentro de um ambiente podem se proteger de certos extremos.

Para muitas espécies, os impactos principais da mudança do clima não estão relacionados com os fatores abióticos (temperatura, pluviosidade) mas com disponibilidade de alimentos, competição ou presença de pragas e doenças determinadas por esses fatores. Particularmente importante pode ser a sincronia entre as espécies e suas fontes de alimentos, que com a mudança do clima, pode ser prejudicada (Harrington *et al.* 1999, Visser & Both 2005, citados por Parmesan, 2006).

As espécies ocorrem em comunidades. A mudança do clima vai massivamente influenciar as distribuições de espécies e reorganizar as comunidades, e as interações bióticas vão influenciar esses resultados de forma inesperada e importante (Harley, 2011; HilleRisLambers *et al.*, 2013). Isso será mais intenso em comunidades tropicais e, considerando o maior grau de especialização das espécies tropicais, o rearranjo das comunidades pode ter consequências mais graves para elas (Sheldon, Yang e Tewksbury, 2011).

Não só distribuição das espécies será influenciada, mas a interação entre elas também. Espécies, quando mudam sua área de ocorrência, podem ser retardadas ou aceleradas por outras espécies (Harley, 2011; HilleRisLambers *et al.*, 2013). Também pode ocorrer que uma espécie que não é sensível à mudança do clima ocorrida ser impactada por meio de uma espécie que é.

1.4.3. CAPACIDADE DE ADAPTAÇÃO DAS ESPÉCIES

As espécies podem se adaptar às mudanças por meio das seguintes adaptações:

- Mudança da área de ocorrência (expansão, retração ou deslocamento)
- Persistência na área de ocorrência atual com mudança de micro-habitat.
- Mudança no fenótipo, fenologia ou comportamento (mudar a fonte de alimento, mudar a época de floração ou de perda de folhas, explorar microambientes mais amenos, mudar o horário de atividade durante o dia, mudar a época de migração, etc.).

A fragmentação da paisagem geralmente representa um desafio para a movimentação das espécies induzida pela mudança do clima. Num contexto de mudanças climáticas em paisagens naturais fragmentadas, a capacidade de dispersão de plantas e animais é muito importante para a adaptação das espécies. Por outro lado, somente capacidade de dispersão não é suficiente: é

preciso haver habitats adequados dentro do raio de dispersão das espécies (Vale, Alves e Lorini, 2009).

Apesar disso, a conservação de áreas de conectividade ou de fragmentos que funcionem como *stepping stones* (pontos de ligação ou trampolins ecológicos) é considerada uma medida de adaptação importante.

Apesar das medidas de conservação das espécies, pode ser que a extinção na natureza não possa ser evitada. Neste caso, programas de conservação ex-situ são importantes para a conservação da biodiversidade, incluindo a manutenção de coleções, criação em cativeiro e bancos genéticos.

1.4.4. IMPACTOS ATUAIS SOBRE AS ESPÉCIES

O aumento das taxas de extinção de anfíbios tropicais na América do Sul e Central, chegando a 67% nos últimos 20-30 anos, é um dos mais notáveis impactos sobre as espécies, provavelmente devido a um fungo que é favorecido por noites mais quentes e menor nebulosidade (Pounds et al. 2006, citado por Parmesan 2006). Também foram observados efeitos de variações climáticas sobre o roedor *Necromys lasiurus* numa savana da Amazônia (Magnusson, Layme e LIMA, 2010).

A ocorrência/distribuição de espécies vem sendo documentada e modelagens climáticas podem ser realizadas para a definição de nichos climáticos para cada espécie (Ver, por exemplo, Alexandre, Lorini e Grelle, 2014; Pie *et al.*, 2013; Anacleto e Oliveira, 2014; Giannini *et al.*, 2012; Ihlow *et al.*, 2012; Marini, Barbet-Massin, Martinez, *et al.*, 2010; Marini *et al.*, 2013; Meyer, 2013; Simon *et al.*, 2013; Siqueira e Peterson, 2003; Soares-Filho *et al.*, 2003, 2006; Souza *et al.*, 2011; Vieira, Mendes e Oprea, 2012; Zimbres *et al.*, 2012; Meyer, Pie e Passos, 2014; Loyola *et al.*, 2012; Marco Júnior, De e Siqueira, 2009; Oliveira e Cassemiro, 2013).

No Brasil, são cada vez mais comuns os estudos que modelam os impactos da mudança do clima sobre as espécies, especialmente para grupos cuja distribuição é mais conhecida, como as aves (Ver, por exemplo, Marini, Barbet-Massin, Lopes e Jiguet, Frederic, 2009; Marini, Barbet-Massin, Lopes e Jiguet, Frédéric, 2009; Marini, Barbet-Massin, Lopes, *et al.*, 2010) e morcegos (Vieira, Mendes e Oprea, 2012). Os estudos sobre modelagem de nichos climáticos para as espécies têm se concentrado no Cerrado e na Mata Atlântica. Para grupos menos conhecidos e em regiões como a Amazônia, em que as dificuldades logísticas concentram a identificação de espécies nas áreas de acesso mais fácil, os mapas de distribuição das espécies “refletem, em parte, artefatos do esforço geograficamente variável de coleta” (Nelson, Albernaz e Soares-Filho, 2006, p. 7). Assim, o uso de modelagem de nichos climáticos depende de um bom mapa de distribuição de espécies, o que, por sua vez, depende de um esforço de coleta uniforme e de uma cobertura mínima.

Um número razoável de trabalhos argumenta que a modelagem de nichos climáticos precisa ser complementada com uma modelagem de fatores bióticos, uma vez que o impacto sobre as espécies e mudança na sua distribuição pode depender de como outras espécies reagem à mudança do clima (Blois *et al.*, 2013; HilleRisLambers *et al.*, 2013; Zarnetske, Skelly e Urban, 2012).

Em áreas tropicais, a sincronia entre as espécies pode ser mais importante que a alteração climática em si. Além disso, os ecossistemas tropicais são estruturalmente mais complexos,

particularmente as florestas, o que permite adaptações mesmo sem mudança na área de ocorrência. Assim, é bastante difícil uma modelagem de nicho climático prever o que vai acontecer com as espécies em áreas tropicais. Segundo Dawson *et al.* (2011), os estudos que procuram prever os impactos da mudança do clima sobre a biodiversidade estão sendo desenvolvidos sobre uma base metodológica estreita, que precisa ser complementada por outras abordagens.

1.5. DIVERSIDADE GENÉTICA

Finalmente, o nível da diversidade genética que é talvez o mais difícil de ser avaliado no nosso grau de conhecimento atual, mas há trabalhos que estudam o impacto da mudança do clima sobre o genoma (Parmesan, 2006 faz uma revisão interessante). A diversidade genética é o terceiro nível da biodiversidade segundo a CDB. É importante tanto pelos benefícios que gera (por exemplo, para o desenvolvimento de produtos, melhoramento genético e para a biotecnologia) como pelo aumento da capacidade adaptativa das espécies.

1.5.1. EXPOSIÇÃO E SENSIBILIDADE DA DIVERSIDADE GENÉTICA

A diversidade genética vem sendo exposta à mudança do clima. A sensibilidade depende de como a espécie em si é afetada, uma vez que a redução drástica da abundância da espécie pode trazer problemas de diversidade. Entretanto, certas características genéticas podem se tornar menos viáveis com a mudança do clima, enquanto outras podem ser favorecidas.

Uma das formas de se entender como a mudança do clima afetará o genótipo das espécies é olhar para o passado evolutivo, quando mudanças no clima propiciaram os processos de especiação e diversificação que resultaram na enorme biodiversidade atual no Brasil (Aleixo *et al.*, 2010). Em outros casos, esses episódios passados de mudanças climáticas explicam a baixa diversidade genética de algumas espécies.

Um importante aspecto da biodiversidade genética é a diversidade nas espécies domesticadas e em seus parentes silvestres, que representa uma fonte de capacidade adaptativa na agropecuária, mas cujo o uso pode ser fortemente impactado. Da mesma forma, o conhecimento tradicional associado está sendo e será confrontado com novas condições ecológicas, o que pode ameaçar sua habilidade de produzir resultados locais, afetando sua própria sobrevivência.

1.5.2. CAPACIDADE DE ADAPTAÇÃO NA DIVERSIDADE GENÉTICA

Parmesan (2006) discute a possível adaptação evolutiva das espécies. O clima não somente impacta as espécies como um todo, mas também impacta diferentemente indivíduos com diferentes genomas, favorecendo uns e prejudicando outros. Assim, a mudança do clima pode desencadear processos evolutivos. Porém, os trabalhos focando no registro fóssil não mostram, processos evolutivos originando das alterações no clima em épocas passadas (Parmesan, 2006).

A diversidade genética é, em si, uma forma de adaptação a mudanças ambientais. Entretanto, diante das mudanças projetadas para os ecossistemas, resultado da mudança do clima e das mudanças de uso da terra, a diversidade genética estará em cheque. Onde possível, deve-se estabelecer paisagens permeáveis ao movimento da biodiversidade, corredores ecológicos e *stepping stones*. Áreas protegidas e mosaicos de áreas protegidas devem ter tamanho viável

para conter populações geneticamente viáveis das espécies, mantendo sua diversidade genética.

Complementarmente, a diversidade genética de espécies ameaçadas, domesticadas e parentes silvestres das espécies domesticadas deve ser coletada e armazenada em coleções ex-situ, vivas ou em bancos genéticos. O aumento da diversidade genética de populações isoladas pode ser promovido pela introdução de indivíduos com características genéticas distintas.

1.5.3. IMPACTOS SOBRE OS GENOMAS

O processo de perda da diversidade genética como resultado da mudança do clima não parece estar bem documentado no Brasil, onde os estudos ainda se concentram nos níveis de ecossistemas e de espécies.

2. DEMANDAS DE AÇÃO PARA FORTALECIMENTO DA CAPACIDADE ADAPTATIVA DA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA

A biodiversidade está sendo exposta à mudança do clima em seus três níveis, que se caracterizam de forma diferente em termos de sensibilidade, capacidade adaptativa e impactos.

Os estudos sobre o nível ecossistêmico se concentram na Amazônia, onde a floresta é bastante sensível à mudança climática, mas onde o ecossistema, quando íntegro, tem grande capacidade de adaptação, inclusive para mudar o próprio clima e influenciar outras regiões. A modelagem no nível de ecorregião é mais adequada que por espécie, considerando as lacunas de amostragem e grande interdependência entre espécies, entre outros fatores, que podem distorcer os resultados. É preciso desenvolver mais os modelos considerando a capacidade adaptativa dos ecossistemas, inclusive de geração de chuvas. O foco das políticas de adaptação deve ser a manutenção e recuperação da cobertura florestal, a consolidação e complementação da rede de áreas protegidas e o controle de queimadas.

No Cerrado e na Mata Atlântica, grande ênfase tem sido dada à modelagem de nichos climáticos para as espécies. O maior conhecimento das distribuições das espécies nessas regiões justifica essas abordagens, embora as relações entre espécies (os fatores bióticos) precisem ser considerados ou enfatizados. Na amostra de trabalhos revisados, não encontramos modelagens para o Pantanal ou para o Pampa, e somente um estudo para a Caatinga. Nesses biomas, deve-se aprofundar o entendimento sobre como os ecossistemas serão afetados e monitorar as espécies ameaçadas. A rede de áreas protegidas precisa ser expandida, com grande integração com a conservação nas áreas privadas. Atenção especial deve ser dada às populações isoladas em pequenos fragmentos, à biodiversidade domesticada e seus parentes silvestres. Programas de conservação ex-situ devem complementar as ações.

3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A GOVERNANÇA PARA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

- Os Instrumentos de políticas públicas para conservação da biodiversidade e os impactos da mudança do clima.
- Avaliação das políticas e das instituições existentes
- Lacunas em governança – diretrizes para revisão de políticas e instituições, e criação de novos marcos legais e institucionais.
- Perguntas orientadoras? Os instrumentos de governança e gestão do setor estão preparados para operar sob um novo regime de clima? Qual a situação dos vários componentes de governança e gestão (governança, instrumentos de gestão) face aos novos desafios impostos pela mudança do clima?

4. A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E SUA RELAÇÃO COM OS OUTROS SETORES.

- Biodiversidade e serviços climáticos.
- A conservação da biodiversidade e seus efeitos sobre a vulnerabilidade à mudança do clima
- Quais os setores cuja vulnerabilidade é prioritariamente afetada pela perda de biodiversidade.
- Lacunas em conhecimento e governança – Diretrizes para gestão do conhecimento e para revisão de marcos legais.

4.1. REFERÊNCIAS

- ALEIXO, A. *et al.* Mudanças climáticas e a biodiversidade dos biomas brasileiros: passado, presente e futuro. **Natureza & Conservação**, v. 8, n. 2, p. 194–196, 2010.
- ALEXANDRE, B. DA R.; LORINI, M. L.; GRELLE, C. E. DE V. Modelagem Preditiva de Distribuição de Espécies Ameaçadas de Extinção: Um Panorama das Pesquisas. **Oecologia Australis**, v. 17, n. 4, p. 483–508, 2014.
- ANACLETO, T. C.; OLIVEIRA, G. MÉTODOS PARA INDICAÇÃO DE ÁREAS PARA CONSERVAÇÃO: UMA ANÁLISE A PARTIR DA MODELAGEM DE NICHO DE TATUS, NO ESTADO DE MATO GROSSO. **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 51, 2014.
- BEAUMONT, L. J. *et al.* Impacts of climate change on the world's most exceptional ecoregions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 6, p. 2306–2311, 2011.
- BLOIS, J. L. *et al.* Climate change and the past, present, and future of biotic interactions. **Science**, v. 341, n. 6145, p. 499–504, 2013.
- BRANDT, R. Mudanças climáticas e os lagartos brasileiros sob a perspectiva da história de vida. **Revista da Biologia**, v. 8, p. 15–18, 2012.
- BRASIL/MMA. **Convenção sobre Diversidade Biológica - CDB/Cópia do Decreto Legislativo no. 2, de 5 de junho de 1992**. Brasília (DF): Ministério do Meio Ambiente, 1992.
- CLOSEL, M. B.; KOHLSDORF, T. Mudanças climáticas e fossorialidade: implicações para a herpetofauna subterrânea. **Revista da Biologia**, v. 8, p. 19–24, 2012.
- COCHRANE, M. A. Fire, land use, land cover dynamics, and climate change in the Brazilian Amazon. *In: Tropical Fire Ecology*. [s.l.] Springer, 2009. p. 389–426.
- COCHRANE, M. A.; LAURANCE, W. F. Synergisms among fire, land use, and climate change in the Amazon. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 37, n. 7, p. 522–527, 2008.
- DAWSON, T. P. *et al.* Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. **science**, v. 332, n. 6025, p. 53–58, 2011.

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**, v. 11, n. 2, p. 1618–1626, 2012.

DOMINGUES, L. A. L. Variações climáticas que afetam os parâmetros reprodutivos de *Neothraupis fasciata* (Thraupidae) e previsões para o contexto das mudanças climáticas. 2012.

GARCIA, R. A.; ARAÚJO, M. B. Planejamento para a Conservação em um Clima em Mudança. **Natureza & Conservação**, v. 8, n. 1, p. 78–80, 2010.

GIANNINI, T. C. *et al.* Pollination services at risk: Bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. **Ecological Modelling**, v. 244, p. 127–131, 2012.

HARLEY, C. D. Climate change, keystone predation, and biodiversity loss. **Science**, v. 334, n. 6059, p. 1124–1127, 2011.

HAYDEN, B. P.; RAY, G. C.; DOLAN, R. Classification of Coastal and Marine Environments. **Environmental Conservation**, v. 11, n. 03, p. 199–207, set. 1984.

HILLERISLAMBERS, J. *et al.* How will biotic interactions influence climate change–induced range shifts? **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1297, n. 1, p. 112–125, 2013.

IHLOW, F. *et al.* On the brink of extinction? How climate change may affect global chelonian species richness and distribution. **Global Change Biology**, v. 18, n. 5, p. 1520–1530, 2012.

IPCC. Summary for Policymakers. In: FIELD, C. B. *et al.* (Eds.). . **Climate change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A : Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK e New York, NY: Cambridge University Press, 2014. p. 1–32.

KELLER, M. *et al.* The Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia: Analyzing Regional Land Use Change Effects. **Ecosystems and Land Use Change**, p. 321–334, 2004.

KRISHNASWAMY, J.; JOHN, R.; JOSEPH, S. Consistent response of vegetation dynamics to recent climate change in tropical mountain regions. **Global Change Biology**, v. 20, n. 1, p. 203–215, 2014.

LAURANCE, W. F. Forest-climate interactions in fragmented tropical landscapes. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 359, n. 1443, p. 345–352, 2004.

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**. [s.l.] Alytes, 2011.

_____. Severe loss of suitable climatic conditions for marsupial species in Brazil: challenges and opportunities for conservation. **PloS one**, v. 7, n. 9, p. e46257, 2012.

MACHADO, A. L. S.; PACHECO, J. B. Serviços Ecosistêmicos e o Ciclo Hidrológico da Bacia Hidrográfica Amazônica -The Biotic Pump. **Revista Geonorte**, v. 1, n. 1, p. 71–89, 2010.

MAGNUSSON, W. E.; LAYME, V. M.; LIMA, A. P. Complex effects of climate change: population fluctuations in a tropical rodent are associated with the southern oscillation index and regional fire extent, but not directly with local rainfall. **Global Change Biology**, v. 16, n. 9, p. 2401–2406, 2010.

MARCO JÚNIOR, P. DE; SIQUEIRA, M. F. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista. **Megadiversidade**, v. 5, p. 65–76, 2009.

MARENGO, J. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília (DF): Ministério do Meio Ambiente, 2007.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; *et al.* Two Contrasting Severe Seasonal Extremes in Tropical South America in 2012: Flood in Amazonia and Drought in Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 26, n. 22, p. 9137–9154, 2013.

MARENGO, J. A.; BORMA, L. S.; *et al.* Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptation. **American Journal of Climate Change**, v. 02, n. 02, p. 87–96, 2013.

- MARINI, M. Â.; BARBET-MASSIN, M.; LOPES, L. E.; JIGUET, F. Predicted Climate-Driven Bird Distribution Changes and Forecasted Conservation Conflicts in a Neotropical Savanna. **Conservation Biology**, v. 23, n. 6, p. 1558–1567, 2009.
- MARINI, M. Â.; BARBET-MASSIN, M.; LOPES, L. E.; JIGUET, F. Major current and future gaps of Brazilian reserves to protect Neotropical savanna birds. **Biological Conservation**, v. 142, n. 12, p. 3039–3050, 2009.
- MARINI, M. Â.; BARBET-MASSIN, M.; MARTINEZ, J.; *et al.* Applying ecological niche modelling to plan conservation actions for the Red-spectacled Amazon (Amazona pretrei). **Biological Conservation**, v. 143, n. 1, p. 102–112, 2010.
- MARINI, M. Â. Bird movement in a fragmented Atlantic Forest landscape. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 45, n. 1, p. 1–10, 2010.
- MARINI, M. Â.; BARBET-MASSIN, M.; LOPES, L. E.; *et al.* Predicting the occurrence of rare Brazilian birds with species distribution models. **Journal of Ornithology**, v. 151, n. 4, p. 857–866, 3 abr. 2010.
- MARINI, M. Â. *et al.* Geographic and seasonal distribution of the Cock-tailed Tyrant (*Alectrurus tricolor*) inferred from niche modeling. **Journal of Ornithology**, v. 154, n. 2, p. 393–402, 2013.
- MEYER, A. L.; PIE, M. R.; PASSOS, F. C. Assessing the exposure of lion tamarins (*Leontopithecus* spp.) to future climate change. **American journal of primatology**, v. 76, n. 6, p. 551–562, 2014.
- MEYER, A. L. S. Integrando modelagem de nicho ecológico e de dados em sig na avaliação da exposição de *Leontopithecus* (primates: callitrichinae) as mudanças climáticas. 2013.
- NELSON, B.; ALBERNAZ, A.; SOARES-FILHO, B. **Estratégias de Conservação para o Programa ARPA: Representatividade Ecológica e Ameaças**. Brasília (DF): Programa Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA)/ Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- NOBRE, A. D. **O Futuro Climático da Amazônia: Relatório de Avaliação Científica**. São José dos Campos: Articulação Regional Amazônica, 2014. Disponível em: <http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/o_futuro_climatico_da_amazonia_versao_final_para_lima.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2015.
- OLIVEIRA, H. R.; CASSEMIRO, F. A. Potential effects of climate change on the distribution of a Caatinga's frog *Rhinella granulosa* (Anura, Bufonidae). **Iheringia. Série Zoologia**, v. 103, n. 3, p. 272–279, 2013.
- OLSON, D. M. *et al.* Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. **BioScience**, v. 51, n. 11, p. 933–938, 2001.
- PARMESAN, C. Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 37, n. 1, p. 637–669, 2006.
- PBMC. **Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1**. Rio de Janeiro (RJ): COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- PEREIRA, G. M. **Modeling flammability in disturbed tropical forests using an IKONOS tasseled cap transform**American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) 2006 Annual Conference Proc., Reno, Nevada, May. **Anais...2006**Disponível em: <<ftp://jetty.ecn.purdue.edu/jshan/proceedings/asprs2006/files/O115.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2015
- PIE, M. R. *et al.* Understanding the mechanisms underlying the distribution of microendemic montane frogs (*Brachycephalus* spp., Terrarana: Brachycephalidae) in the Brazilian Atlantic Rainforest. **Ecological Modelling**, v. 250, p. 165–176, 2013.
- SHELDON, K. S.; YANG, S.; TEWKSBURY, J. J. Climate change and community disassembly: impacts of warming on tropical and temperate montane community structure. **Ecology Letters**, v. 14, n. 12, p. 1191–1200, 2011.

- SILVA BEZERRA, D. DA; AMARAL, S.; KAMPEL, M. Impactos da elevação do nível médio do mar sobre o ecossistema manguezal: a contribuição do sensoriamento remoto e modelos computacionais. **Ciência e Natura**, v. 35, n. 2, p. 152–162, 2014.
- SILVA, G. C. DA. Análise quantitativa de eventos extremos de precipitação da região Leste e Norte de Santa Catarina. 2011.
- SILVESTRINI, R. A. *et al.* Simulating fire regimes in the Amazon in response to climate change and deforestation. **Ecological Applications**, v. 21, n. 5, p. 1573–1590, 20 dez. 2010.
- SIMON, L. M. *et al.* Effects of global climate changes on geographical distribution patterns of economically important plant species in cerrado. **Revista Árvore**, v. 37, n. 2, p. 267–274, 2013.
- SIQUEIRA, M. F. DE; PETERSON, A. T. Consequências das mudanças climáticas globais na distribuição geográfica de espécies arbóreas de Cerrado. **Biota Neotropica**, v. 3, n. 2, 2003.
- SOARES-FILHO, B. *et al.* Forest fragmentation, climate change and understory fire regimes on the Amazonian landscapes of the Xingu headwaters. **Landscape Ecology**, v. 27, n. 4, p. 585–598, 1 abr. 2012.
- SOARES-FILHO, B. S. *et al.* Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. **Ferramentas para modelagem da distribuição de espécies em ambientes tropicais**. S/I: Editora Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 1–16, 2003.
- SOARES-FILHO, B. S. *et al.* Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, n. 7083, p. 520–523, 2006.
- SOUZA, T. V. DE *et al.* Redistribution of threatened and endemic Atlantic forest birds under climate change. **Natureza & Conservação** 9, 214–218. doi: 10.4322/natcon, 2011.
- VALE, M. M.; ALVES, M. A. S.; LORINI, M. L. Mudanças Climáticas: desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade brasileira. **Oecologia Australis**, v. 13, n. 3, p. 518–534, 2009.
- VIEIRA, T. B.; MENDES, P.; OPREA, M. Priority areas for bat conservation in the state of Espírito Santo, southeastern Brazil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 7, n. 2, p. 88–96, 2012.
- YABE, R. D. S.; MARQUES, E. J.; MARINI, M. Â. Movements of birds among natural vegetation patches in the Pantanal, Brazil. **Bird Conservation International**, v. 20, n. 04, p. 400–409, 2010.
- ZARNETSKY, P. L.; SKELLY, D. K.; URBAN, M. C. Biotic multipliers of climate change. **Science**, v. 336, n. 6088, p. 1516–1518, 2012.
- ZIMBRES, B. Q. *et al.* Range shifts under climate change and the role of protected areas for armadillos and anteaters. **Biological Conservation**, v. 152, p. 53–61, 2012.