

Análise da vulnerabilidade da biodiversidade brasileira frente às mudanças climáticas globais

*Vanderlei Perez Canhos
Marinez Ferreira de Siqueira
Alexandre Marino
Dora Ann Lange Canhos*

1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E O IMPACTO NOS ECOSISTEMAS NATURAIS DA AMÉRICA DO SUL

O quarto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (R4 IPCC, 2007) descreve os avanços na avaliação do impacto dos fatores humanos e naturais nas mudanças climáticas. O termo mudança do clima usado no quarto relatório do IPCC é referente às mudanças climáticas ao longo do tempo, devidas à variabilidade natural e decorrentes da atividade humana. Essas análises são baseadas nos processos climáticos e em estimativas da mudança climática projetada para o futuro. O relatório, além de incorporar os dados das últimas avaliações do IPCC, inclui desenvolvimentos associados aos últimos seis anos de pesquisa do Painel, e portanto está baseado em dados recentes e abrangentes, e em análises mais sofisticadas, permitindo uma melhor compreensão dos processos e simulações de modelos, e uma análise mais robusta das faixas de incertezas (ALLEY et al. 2007).

Os indicadores de aquecimento global são agora inequívocos, e estão evidenciados nas observações de aumento das temperaturas médias globais do ar e dos oceanos, do derretimento generalizado das calotas polares acarretando a elevação do nível médio do mar em escala global. Observações de mudanças do clima, em escalas continental, regional e da bacia oceânica, incluem mudanças na temperatura, mudanças generalizadas na quantidade de precipitação, na quantidade de gelo do Ártico, na salinidade do oceano, nos padrões de vento e na ocorrência mais acentuada de eventos climáticos extremos que incluem secas, precipitação forte, ondas de calor e na maior ocorrência de ciclones tropicais de maior intensidade.

O aquecimento global é consequência direta do efeito estufa. De todos os gases responsáveis pelo efeito estufa (dióxido de carbono, gás metano e óxido nitroso), o dióxido de carbono é o mais importante para o aquecimento global. Dada a importância destacada do dióxido de carbono, os cenários climáticos são construídos com base principalmente em estimativas de níveis futuros de emissão deste gás.

A América do Sul é uma região altamente heterogênea em termos climáticos devido a sua grande amplitude latitudinal, que se estende da região tropical do Hemisfério Norte até altas latitudes no Hemisfério Sul. Além disso, a região é afetada fortemente por características topográficas extremas, como a presença dos Andes (GRIMM e NATORI 2006). O relatório do IPCC sobre a região da América do Sul e Caribe mostra uma série de evidências do aumento de eventos climáticos extremos e de mudanças no clima. As previsões do relatório sinalizam para a diminuição da diversidade de espécies de plantas e animais, com mudanças nas composições dos ecossistemas e na distribuição dos biomas. Prevê também o degelo de áreas glaciais tropicais em um futuro próximo (2020-2030) e o aumento da desertificação e aridez em outras regiões. Essas mudanças resultarão em efeitos drásticos sobre pessoas, populações, recursos naturais e atividades econômicas, com o aumento de pragas agrícolas e emergência de doenças infecciosas.

O relatório do IPCC de 2007 indica um impacto particularmente severo na região amazônica. A susceptibilidade a incêndios será maior em função das secas relacionadas ao El Niño e as mudanças no uso da terra (desmatamento, corte seletivo de madeira e fragmentação florestal).

As áreas costeiras de mangue, localizadas em áreas litorâneas baixas, serão muito vulneráveis ao aumento do nível do mar, aumento de temperatura e a furacões mais frequentes e mais intensos.

Para a região Sudeste do Brasil, Paraguai, Uruguai, Pampas Argentinos e algumas partes da Bolívia prevê-se um aumento na precipitação, com o impacto direto no uso da terra, culturas agrícolas e na frequência e intensidade das inundações.

Para a região sul do Chile, sudoeste da Argentina, sul do Peru e oeste da América Central esperam-se um declínio da precipitação.

Estudos utilizando cenários A2¹ para o período de 2071-2100, mostram o aumento da precipitação na região sudeste da América do Sul em todas as estações do ano e uma redução de precipitação ao sul dos Andes do outono até a primavera (GRIMM e NATORI, 2006).

2. VULNERABILIDADE DE ECOSISTEMAS BRASILEIROS FACE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

Várias publicações recentes fazem previsões do impacto das mudanças climáticas com base em modelos climáticos para a América do Sul (SALAZAR et al. 2007) e mais especificamente para a Amazônia (NOBRE et al. 2007). Análises baseadas em processos de desmatamento para florestas tropicais (GULLISON et al. 2007) e análises geradas a partir da utilização do SimAmazônia, com modelos baseados em dados ambientais e econômicos para a Amazônia², são complementares na avaliação do impacto das mudanças climáticas na biodiversidade, .

2.1. ANÁLISES BASEADAS EM MODELOS CLIMÁTICOS

Os modelos climáticos com base na projeção das mudanças climáticas para as várias regiões auxiliam na construção de cenários de impacto sobre a vegetação (bioma) como um todo. Esses cenários partem do pressuposto que os novos valores climáticos seriam incompatíveis com a vegetação local (atual). Embora os autores salientem que ainda é difícil projetar o impacto do aquecimento global, pois os modelos ainda apresentam grandes divergências de resultados, há um consenso entre os resultados para algumas das regiões analisadas. Dos 15 cenários projetados para 2100, dez apontam para a desertificação ou a semi-desertificação da caatinga, indicando a probabilidade do estabelecimento de um deserto ocupando uma área equivalente à metade do semi-árido brasileiro. Nas análises sobre a Amazônia, mais de 75% dos modelos convergem e indicam que é provável que o sudeste da Amazônia, principalmente as matas do Estado do Pará, sofram um processo de savanização. As projeções indicam uma redução de 18% das áreas cobertas por florestas tropicais até o final deste século, com o aumento de 30,4% das áreas cobertas por savanas, segundo o cenário A2 do IPCC.

¹ Para uma explicação básica sobre os diferentes cenários preparados pelo IPCC veja <http://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/sres/index.html>

² <http://www.csr.ufmg.br/simamazonia/>

De acordo com Marengo (2006), com base nos mapas dos cenários futuros de clima (A2 e B2), as projeções climáticas futuras ainda apresentam dificuldades com relação aos padrões de chuva. Já para a temperatura todos os modelos mostram um aquecimento sistemático. O relatório ainda indica a Amazônia, o Nordeste e o Sul do Brasil como as regiões onde os modelos apresentaram maiores variações.

As incertezas sobre as mudanças climáticas devem-se principalmente à incerteza sobre os cenários futuros de emissões dos gases de efeito estufa. Dependendo da quantidade de gases emitidos até 2100, a temperatura global média da superfície pode subir de 1,5°C a 5,5°C. Outra fonte de incerteza é a dificuldade de se construir cenários do padrão de chuvas, tornando o que dificulta a realização de estudos de impacto onde a pluviosidade é parâmetro determinante. Outros fatores podem ter um impacto ainda não dimensionado no padrão de chuvas, como por exemplo, o desmatamento em grande escala. Portanto, o impacto das mudanças climáticas sobre espécies com padrão de distribuição associado a disponibilidade de água e estações climáticas, precisa ser analisado com cautela.

A relevância desses estudos está na regionalização das previsões climáticas, permitindo análises em escala mais finas. Para a Amazônia, cinco modelos apresentaram menos chuvas que o presente, sugerindo que a estação seca no futuro, para os cenários A2 e B2 pode ser maior que no clima atual. Para o Nordeste, a situação é ainda mais dramática. Os diferentes modelos mostram resultados bastante antagônicos em relação à precipitação, sendo que dois modelos apresentam para os cenários (A2 e B2) menos chuva durante a estação chuvosa e uma estação seca mais longa. Para a Bacia do Prata os modelos divergem bastante, sendo que dois deles simulam uma estação seca mais longa com um adiamento do início da estação chuvosa em até dois meses (MARENGO 2006).

2.2. ANÁLISES BASEADAS EM MODELOS SOCIOECONÔMICOS

De acordo com Gullison e colaboradores (2007), caso seja mantido o ritmo de desmatamento, a destruição das florestas tropicais deverá lançar uma quantidade adicional de 87 a 130 bilhões de toneladas de carbono até 2100. Esse volume equivale a mais de uma década de emissões causadas por combustíveis fósseis. O desmatamento de florestas tropicais lançou na atmosfera cerca de 1,5 bilhão de toneladas de carbono por ano durante a

década de 1990 (o equivalente a 20% das emissões antrópicas de gases causadores do efeito estufa). Segundo o IPCC, será necessário reduzir o desmatamento em pelo menos 50% até 2050, e manter essa taxa até 2100 para manter o volume de CO₂ na atmosfera em 450 partes por milhão. Acima desse limite o aquecimento ultrapassará o patamar de 2°C agravando os problemas em escala global.

A partir de dados ambientais e econômicos, o SimAmazônia permite criar modelos digitais detalhados e complexos de evolução ambiental de uma região específica. A base de dados do SimAmazônia utiliza informações do censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (Prodes), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), e mapas de aspectos físicos e viários, com as estradas vicinais da região. Análises feitas com o SimAmazônia estão subsidiando a formulação de políticas públicas para a Região Amazônica, com vistas à valoração dos serviços ambientais, combate ao desmatamento e redução das emissões de carbono na atmosfera. Em condições ideais, de acordo com dados do SimAmazônia, a região poderá vender cerca 17 bilhões de toneladas de carbono que potencialmente iriam para a atmosfera, até 2050. Seria como poupar quatro anos das emissões globais de poluição e ofereceria uma alternativa para a Amazônia chegar em 2050 com 4,5 milhões de km² de floresta intacta. Esse cenário mostra as vantagens de se preservar a floresta ao invés de transformá-la em pastagens de baixa rentabilidade. O cenário de *business-as-usual* (negócios de sempre) sinaliza que a maior floresta tropical do planeta até 2050 poderá ser reduzida a pouco mais da metade de sua área original em decorrência da expansão agropecuária, da extração de madeira e da construção e pavimentação de estradas. Sobrariam 3,2 milhões dos 5,4 milhões de km² de floresta encontrados atualmente nos nove países amazônicos. A destruição e a fragmentação das matas colocariam em risco a existência de centenas de espécies de animais incluídos na simulação. Mais de 40% das áreas em que elas vivem desapareceriam, especialmente na Amazônia Oriental, a mais sujeita à abertura de estradas e ao desmatamento. Entre os primatas, pelo menos 35 espécies perderiam de 60% a 100% de seus habitats. O cenário mostra ainda que oito das 12 maiores bacias hidrográficas poderão perder mais da metade da cobertura florestal até 2050.

O cenário de “Governança” (no qual a simulação prevê a desaceleração do desmatamento devido à progressiva implantação de políticas públicas³) aponta caminhos que poderão reduzir à metade a destruição promovida pela expansão da fronteira agrícola. A simulação projeta uma desaceleração do desmatamento ao longo do tempo devido à progressiva implantação de áreas protegidas. No máximo 50% das matas privadas seriam derrubadas se toda a floresta recebesse proteção governamental contra invasões e depredações.

O estudo aponta que incentivos fiscais e financeiros que estimulam proprietários a manter reservas florestais em áreas privadas são essenciais para chegar ao cenário “Governança”, além de investimentos para manter intactas as áreas protegidas por lei.

Outro importante estudo sobre desenvolvimento e conservação na Região Amazônica é da série “Advances in Applied Biodiversity Science” (KILLEEN 2007) no qual são discutidos cenários envolvendo avanços da fronteira agrícola, desmatamento, mudanças climáticas, queimadas, biocombustíveis, mineração, energia hidrelétrica, entre outros, sob um ponto de vista social, econômico e ambiental.

3. VULNERABILIDADE DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS DE CONSERVAÇÃO NO BRASIL

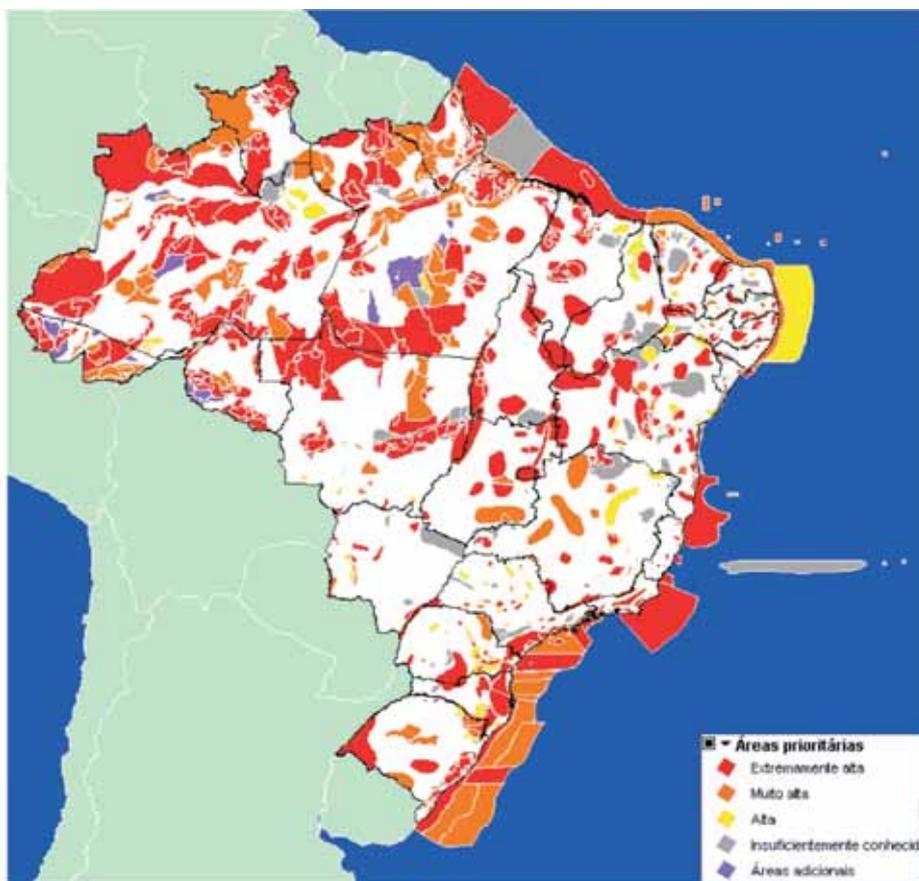
No Brasil, o principal esforço para a definição de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade é resultante do projeto de “Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade dos Biomas Brasileiros”⁴. Esse projeto, implementado ao longo da década de 1990, foi coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente e desenvolvido em colaboração com a Conservation International, Funatura, Fundação Biodiversitas e contou com a participação de especialistas das principais instituições do país. Nesse esforço foram realizados workshops para discutir e definir prioridades de conservação para Cerrado e Pantanal, Zona Costeira e Marinha, Floresta Amazônica, Floresta Atlântica e Campos Sulinos, e Caatinga. A iniciativa envolveu cerca de mil especialistas em ecologia, botânica, zoologia e disciplinas afins, para discutir e definir as prioridades de conservação dos principais biomas brasileiros. Foram preparados mapas-base das regiões a

³ <http://lba.cptec.inpe.br/lba/site/?p=oportunidade&t=0&s=5&lg=&op=1247>

⁴ <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/probio/sub.html>

serem analisadas, como plataforma para a inclusão de dados de distribuição de áreas naturais, áreas de conservação existentes, subdivisões físicas e políticas, estatísticas demográficas e econômicas, e dados de fauna e flora compilados por consultores. O mapa resultante dos workshops temáticos com foco nos diferentes biomas brasileiros está apresentado na Figura 1.

Figura 1. Mapa síntese das prioridades de conservação para os principais biomas brasileiros



O método utilizado foi adequado para identificar áreas prioritárias de conservação tendo por base uma avaliação conjunta de informações biológicas e de condicionantes da atividade humana, levando-se em conta os dados e metodologias de análise disponíveis na época em que o projeto foi realizado (1995 a 2000). Os esforços para a definição de prioridades

foram baseados mais no conhecimento e na avaliação de especialistas do que no uso de ferramentas de análise de dados primários sobre a biodiversidade do país. Como a iniciativa não considerou cenários futuros como o impacto e vulnerabilidade a mudanças climáticas, é importante que as áreas prioritárias sejam reavaliadas através de metodologias mais avançadas e adequadas, se possível utilizando dados sobre biodiversidade que incorporem os fatores de mudanças climáticas e não somente o conhecimento de especialistas. O procedimento a ser adotado e a análise dos cenários produzidos é que irão depender do conhecimento de especialistas.

Em uma escala mais local, um importante e recente esforço em indicar áreas prioritárias para conservação, avaliar áreas para restauração ambiental e indicar lacunas de conhecimento foi o workshop: “Diretrizes para Conservação e Restauração da Biodiversidade no Estado de São Paulo” realizado em 2007. O esforço envolveu a contribuição de pesquisadores, institutos de pesquisa, universidades, ONGs e entidades governamentais estaduais, e foram utilizados dados da rede speciesLink⁵ e Sinbiota⁶ e métricas de paisagem.

4. ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DA BIODIVERSIDADE FACE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

Estudos de modelagem de nicho ecológico associados a projeções de mudanças climáticas, indicam um risco significativo de extinções e de alterações na distribuição de muitas espécies (HUNTLEY et al. 1995, MAGANA et al. 1997, SALA et al. 2000, PETERSON et al. 2001, BERRY 2002, PETERSON et al. 2002, OBERHAUSER e PETERSON 2003, SIQUEIRA e PETERSON 2003, MARTÍNEZ-MEYER et al. 2004, THOMAS et al. 2004, THUILLER et al. 2005, ARAÚJO et al. 2006, HARRISON et al. 2006, PEARSON et al. 2006, THUILLER et al. 2006), sendo que alguns estudos indicam que a biodiversidade já está apresentando alterações em resposta às mudanças climáticas (PARMESAN e YOHE 2003, ROOT et al. 2005, WALTHER et al. 2005, LAVERGNE et al. 2006).

Thomas et al. (2004) fizeram previsões de taxas de extinção, em média, superiores a 20% para 1103 espécies analisadas (incluindo mamíferos, aves,

⁵ <http://splink.cria.org.br/>

⁶ <http://sinbiota.cria.org.br/>

anfíbios, répteis, plantas, borboletas e outros invertebrados). Esse estudo, baseado em três cenários climáticos, mostra taxas de extinção variando de 15% para o cenário mais otimista (mínimas alterações), 24% para o cenário intermediário e 35% para o cenário mais pessimista (máximas alterações).

O estudo (HARRISON et al. 2006) traz uma análise do impacto de mudanças climáticas sobre 47 espécies europeias (incluindo plantas, insetos, aves e mamíferos) mostra que diferentes espécies apresentam diferentes respostas às mudanças climáticas. Algumas espécies apresentaram ganho de área enquanto outras perderam espaço. Outros estudos sobre biodiversidade europeia confirmaram a possibilidade de ganho de área (ARAÚJO et al. 2006). Nesse estudo foram analisadas 42 espécies de anfíbios e 66 espécies de répteis. As projeções utilizaram quatro cenários diferentes para 2050 (A1, A2, B1 e B2). Os resultados obtidos para a média dos valores de projeções dos cenários utilizados mostraram que 69% dos anfíbios e 65% dos répteis apresentaram uma expansão de área. O incremento da área potencial de vida de alguns animais está diretamente ligado ao fato desses animais utilizarem a temperatura do ambiente como regulador da temperatura corporal. Essas espécies seriam mais afetadas por um esfriamento do clima e não pela elevação de temperatura, isso considerando que esses animais não tenham problemas com dispersão. Contudo, esses resultados não são corroborados por evidências atuais do declínio desses grupos na Europa (ARAÚJO et al. 2006). De fato, os autores mostraram que se as espécies forem consideradas incapazes de dispersão, então é previsto uma redução de área para praticamente todas as espécies analisadas. Portanto, o desenvolvimento de modelos que acrescentem aspectos ecológicos, aos modelos ambientais existentes, trará grande benefício para a análise das consequências das mudanças climáticas na biodiversidade.

Há poucos estudos focados no impacto das mudanças climáticas sobre a biodiversidade do Brasil. Entre esses, merecem destaque os estudos de impacto sobre espécies arbóreas de Cerrado (SIQUEIRA e PETERSON 2003) descrito no item 4.4 (Estudo de caso sobre o Cerrado) e sobre espécies arbóreas da Mata Atlântica (COLOMBO, 2007), cujos resultados mostram uma redução de área para todas as 38 espécies analisadas em média de 25% (cenário mais otimista) e de 50% (cenário mais pessimista) com o deslocamento para o sul, em relação a distribuição atual dessas espécies. O estudo do impacto das mudanças climáticas sobre a distribuição de vetores de leishmaniose no Brasil, mostra o dramático aumento no potencial de

distribuição de *Lutzomyia whitmani* no Sudeste do Brasil (PETERSON e SHAW, 2003). Outro estudo envolvendo 49 espécies de aves (considerando ausência de dispersão) indicou potencial de extinção de 20% das espécies analisadas (ANCIÃES e PETERSON 2006). Esses estudos mostram o impacto dramático e a vulnerabilidade das espécies analisadas frente às mudanças climáticas globais, enfatizando a necessidade de ampliar os estudos de impacto para espécies de diferentes grupos taxonômicos visando embasar melhor os impactos das mudanças climáticas na biodiversidade no Brasil.

4.1. INFRA-ESTRUTURA DE DADOS PARA A MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE ESPÉCIES

Recentes avanços associados à implementação de iniciativas globais, regionais e locais estão catalisando esforços coordenados de digitalização e disponibilização de dados sobre meio ambiente, clima e biodiversidade na Internet. A infra-estrutura compartilhada de dados *on-line* resultante desses esforços está ampliando acesso dinâmico a dados e informações, mas ainda sem atender o grau de precisão adequado para estudos de impacto de mudanças climáticas e modelagem de espécies biológicas numa escala mais fina.

Dados abióticos

Atualmente, o Centro de Distribuição de dados do IPCC⁷ fornece um grande conjunto de modelos e cenários futuros de clima. São mais de 20 modelos para oito cenários, referentes a dados de umidade, precipitação, pressão do ar, temperatura do ar (máximas e mínimas), vento, entre outras.

Os dados do IPCC tem uma resolução de 2° e 3° (pixels de 200 a 300km). Essa resolução utilizada para análises globais, não é adequada para a avaliação do impacto das mudanças climáticas na biodiversidade em escala regional e local. Nesse contexto, uma iniciativa importante é a do *Worldclim*⁸, que disponibiliza um modelo de simulação climática CCM3 (*Climate Change Model 3*) no qual é previsto uma duplicação dos níveis de CO₂ na atmosfera em 2100 (GOVINDASAMY et al. 2003). Esses dados têm resolução original de aproximadamente 50x50 km no qual foram aplicadas técnicas de

⁷ <http://www.ipcc-data.org/>

⁸ <http://www.worldclim.org/future.htm>

interpolação espacial para reduzir a escala a uma resolução de aproximadamente 1x1 km. Com essa resolução é possível fazer previsões em escala regional e até mesmo local. Contudo, o cenário utilizado pelo *Worldclim* é bastante “otimista” quando comparado aos cenários do IPCC. Portanto, as análises derivadas de dados do *Worldclim* são “conservadoras” quando comparadas com outros cenários futuros, bem mais pessimistas, quanto à quantidade de dióxido de carbono lançado na atmosfera em 2100. Sendo assim, ainda é necessário que sejam disponibilizados mais dados climáticos, referentes a outros modelos e cenários, em resolução mais fina, para que se possa realizar e comparar estudos mais amplos e mais realistas sobre os possíveis impactos na biodiversidade em escala regional e local.

Na análise da distribuição potencial de espécies (plantas e animais), principalmente em escala regional ou local, outros dados tornam-se importantes para avaliar os padrões de distribuição atual das espécies, tais como dados de solos (incluindo granulometria, riqueza, pH, quantidade de água disponível). Esses dados são fundamentais na modelagem de espécies vegetais, cuja distribuição está diretamente ligada ao tipo de solo em que está inserida. Quando existentes, esses dados estão disponíveis em escalas não adequadas para análises mais finas. Além disso, para as atuais ferramentas de modelagem disponíveis, o ideal é que esta informação seja disponibilizada em formato contínuo, ou seja, dados não categorizados em classes (tipos de solos), sendo este último o formato mais comumente encontrado.

Portanto, em relação a acesso a dados abióticos com o objetivo de realizar estudos sobre impactos das mudanças climáticas na biodiversidade, muito ainda tem que ser feito para que essas análises possam ser realizadas em maior quantidade e com mais qualidade, para que possam fornecer subsídios confiáveis na tomada de decisão em conservação de espécies. É necessário que haja investimento na disponibilização de mais dados, e em escalas mais finas, para que o pesquisador de biodiversidade tenha acesso a material adequado para a realização de pesquisa dos impactos das mudanças climáticas globais, sob o ponto de vista da espécie.

Infra-estrutura de dados biológicos

O desenvolvimento de análises da vulnerabilidade de espécies biológicas às mudanças climáticas e o planejamento de estratégias de mitigação de impacto, requerem o acesso facilitado e dinâmico a uma enorme

gama de dados primários de biodiversidade, que incluem nomes científicos validados, localidades de ocorrência de espécies (latitude/longitude) e uma série de dados complementares. O desenvolvimento de sistemas de informação que facilitam o acesso dinâmico a dados primários de qualidade requer um tratamento estruturante, com o envolvimento de um grande número de instituições nacionais e internacionais interessadas em compartilhar dados primários de espécies (nomes científicos, sinônimos e tratamentos taxonômicos) e espécimes (*vouchers* depositados em herbários e coleções zoológicas).

Nomes científicos válidos são o elo para a integração de informações associadas a tratamentos taxonômicos e informações complementares sobre amostras depositadas em coleções científicas. O Catálogo da Vida (*Catalogue of Life-CoL*)⁹, produto da parceria envolvendo o Species 2000¹⁰ e o Sistema Integrado de Informação Taxonômica (*Integrated Taxonomic Information System-ITIS*)¹¹, é um índice de nomes válidos de espécies conhecidas. Essa iniciativa internacional disponibiliza no momento mais de 1 milhão de nomes válidos de microrganismos, fungos, plantas e animais na Internet. O *checklist* do Catálogo da Vida versão 2007 integra informações de 47 bancos de dados taxonômicos elaborados com a contribuição de mais de três mil especialistas. Entretanto, ainda existem grandes lacunas de conhecimento (geográfico e taxonômico) para a fauna e flora neotropical (região biogeográfica que compreende a América Central, incluindo a parte sul do México e da península da Baixa Califórnia, o sul da Florida, todas as ilhas do Caribe e a América do Sul), especialmente para a Bacia Amazônica, região que engloba uma área de mais de 6 milhões de quilômetros quadrados. Não existe ainda um planejamento estratégico adequado para a elaboração do catálogo da Vida Brasil, e a biodiversidade de muitas das áreas que estão sendo desmatadas sequer foi coletada e estudada. Portanto, no momento estamos num processo acelerado de perda de biodiversidade ainda desconhecida.

As amostras depositadas em coleções biológicas e suas determinações taxonômicas são o produto resultante de expedições científicas e do esforço consolidado de biólogos e naturalistas na descrição e documentação da biodiversidade do planeta nos últimos 250 anos. Trata-se de um complexo

⁹ <http://www.catalogueoflife.org/>

¹⁰ <http://www.sp2000.org/>

¹¹ <http://www.itis.gov/>

de 2 a 3 bilhões de amostras armazenadas em coleções científicas distribuídas pelo mundo, um acervo ímpar e insuperável de registros de distribuição espacial da diversidade biológica do nosso planeta. As coleções científicas brasileiras detêm cerca de 30 milhões de amostras, uma pequena fração (entre 1 a 2 %) do total armazenado nos grandes museus e herbários internacionais. Essas informações são fundamentais para a construção de cenários de distribuição pretérita e futura da diversidade biológica no Brasil.

A Infra-estrutura Global de Informação sobre Biodiversidade (*Global Biodiversity Information Facility – GBIF*)¹² oficialmente estabelecida em 2001, é um programa internacional que tem como meta ampliar e consolidar o livre acesso à informação sobre biodiversidade via Internet. A implementação dessa infra-estrutura que é uma iniciativa aberta à participação de países e organizações internacionais interessadas no compartilhamento de dados sobre biodiversidade, está catalisando o desenvolvimento e adoção de padrões e protocolos que permitem a interoperabilidade de sistemas de informação. O resultado desse empreendimento é um ambiente *web* integrador da infra-estrutura compartilhada de dados e ferramentas de análise, síntese e visualização espacial da informação sobre biodiversidade. Os seis anos de implementação do GBIF permitem posicioná-lo como o portal dos portais de informação sobre biodiversidade. Lançado em fevereiro de 2004, com 9 milhões de registros, o portal do GBIF¹³ integra no momento (janeiro de 2008) informações de 950 bancos de dados, disponibilizando cerca de 140 milhões de registros e uma gama de documentos sobre procedimentos de limpeza e correção de dados e ferramentas computacionais. Iniciativas locais e regionais desenvolvidas com a incorporação de padrões e protocolos GBIF estão influenciando de maneira positiva a cultura de compartilhamento de dados fundamentais para a gestão ambiental, facilitando a construção da base de conhecimento global sobre biodiversidade.

No Brasil, o Instituto Virtual da Biodiversidade associado ao Programa Biota-Fapesp¹⁴ incorpora os avanços decorrentes da implementação do GBIF. Essa iniciativa integra dados de cerca de mais de 60 projetos de pesquisa (fauna, flora e microbiota) com o envolvimento mais de 500 pesquisadores. A integração de dados do programa Biota está baseada em dois sistemas de

¹² <http://www.gbif.org/>

¹³ <http://data.gbif.org>

¹⁴ <http://www.biota.org.br>

informação interoperáveis, o *SinBiota*¹⁵ e a rede *speciesLink*¹⁶, desenvolvidos com a adoção de padrões e protocolos internacionalmente aceitos. O *SinBiota* é o sistema de informação centralizado que integra dados e informações de coletas associadas ao programa Biota. O uso da ficha padrão de registro de dados desenvolvida pela comunidade científica e a geocodificação (latitude e longitude) da amostragem, são compulsórios para os projetos associados ao programa. A base cartográfica digital do Estado de São Paulo, com as camadas ambientais associadas (bacias hidrográficas, cobertura vegetal, rodovias, divisas municipais e áreas de conservação) que compõem o Atlas Biota, é um componente fundamental deste sistema de informação.

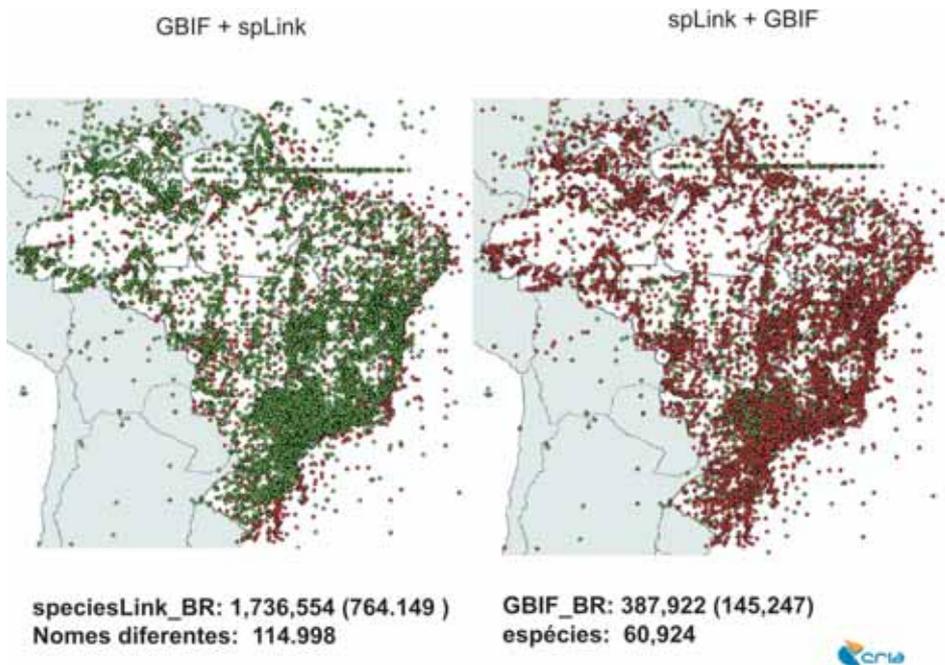
A rede *speciesLink* é um sistema de informação voltado à integração dinâmica de dados primários de espécimes armazenados em coleções biológicas distribuídas. Utiliza avanços correntes em protocolos de comunicação e gerenciamento de bancos de dados, software livre e de código aberto, e técnicas de espelhamento de dados em nós regionais conectados via Internet. O sistema disponibiliza também ferramentas de apoio para a correção e visualização de dados e indicadores das coleções associadas à rede. A rede *speciesLink* implementada com o apoio da Fapesp na fase inicial (2001-2005) foi ampliada com o apoio de várias fontes de financiamento, incluindo a JRS Biodiversity Foundation, MCT e GBIF. No momento a rede integra cerca de 2,3 milhões de registros de mais de 100 de coleções e subcoleções distribuídas e integradas a outras redes, incluindo a rede Taxonline (estado do Paraná) PPBio Amazônia Ocidental (Inpa, Amazonas) e Rede Capixaba (Espírito Santo). Integra também dados de coleções localizadas no Rio Grande do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro, Bahia, Paraíba, Pernambuco. O sistema tem mecanismos para filtrar dados sensíveis, e o controle sobre que dado ou registro estará ou não disponível é definido pelo provedor da informação.

A figura 2, a seguir, compara os dados do Brasil disponíveis na rede GBIF e na rede *speciesLink*.

¹⁵ <http://sinbiota.cria.org.br/atlas>

¹⁶ <http://splink.cria.org.br>

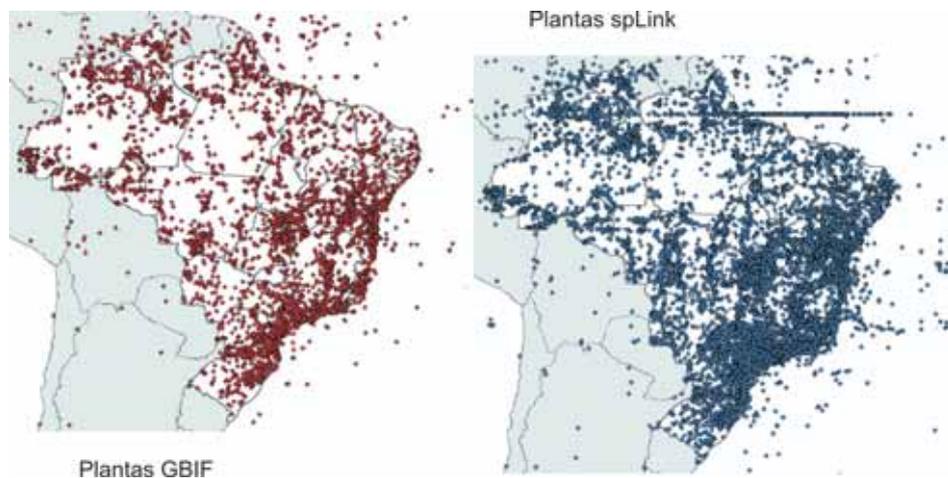
Figura 2. Representação dos dados georeferenciados das redes GBIF e *speciesLink* (Novembro, 2007)



A figura da esquerda mostra a sobreposição dos dados da rede *speciesLink* (pontos verdes) sobre os registros georeferenciados da rede GBIF (vermelhos) indicando lacunas geográficas de registros nas duas redes, e sobreposição de pontos de coletas, provavelmente devido ao depósito de duplicatas do mesmo material em diferentes coleções.

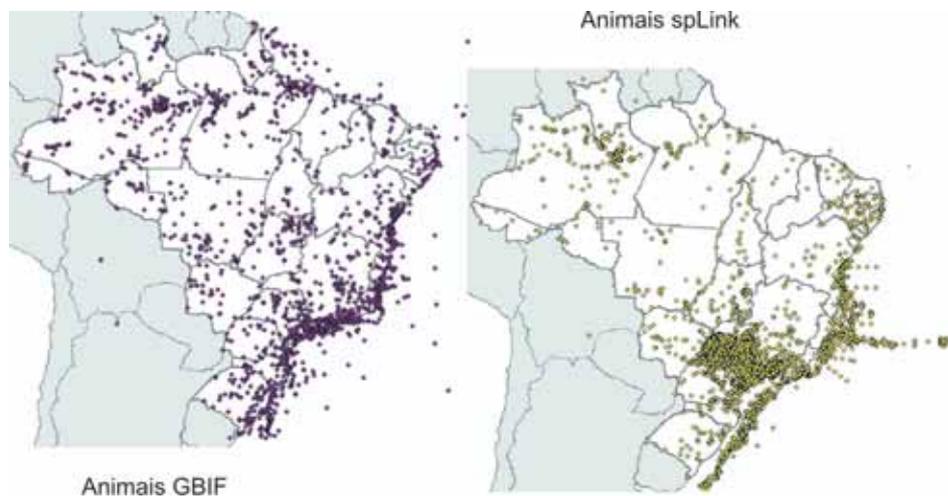
O mapa com os registros de amostras de plantas (Figura 3) mostra uma maior quantidade de dados disponíveis na rede *speciesLink*, e várias lacunas biogeográficas (em branco) em ambas as redes. É importante ressaltar que várias amostras de coletas realizadas no Brasil, possuem erros de registro de coordenadas geográficas, indicando a necessidade de um esforço contínuo de melhoria da qualidade dos dados disponibilizados por coleções científicas brasileiras.

Figura 3. Comparação dos dados georeferenciados de plantas nas redes GBIF e *speciesLink* (novembro, 2007)



A distribuição dos registros georeferenciados da fauna brasileira disponíveis na rede GBIF e rede *speciesLink* está indicada na Figura 4.

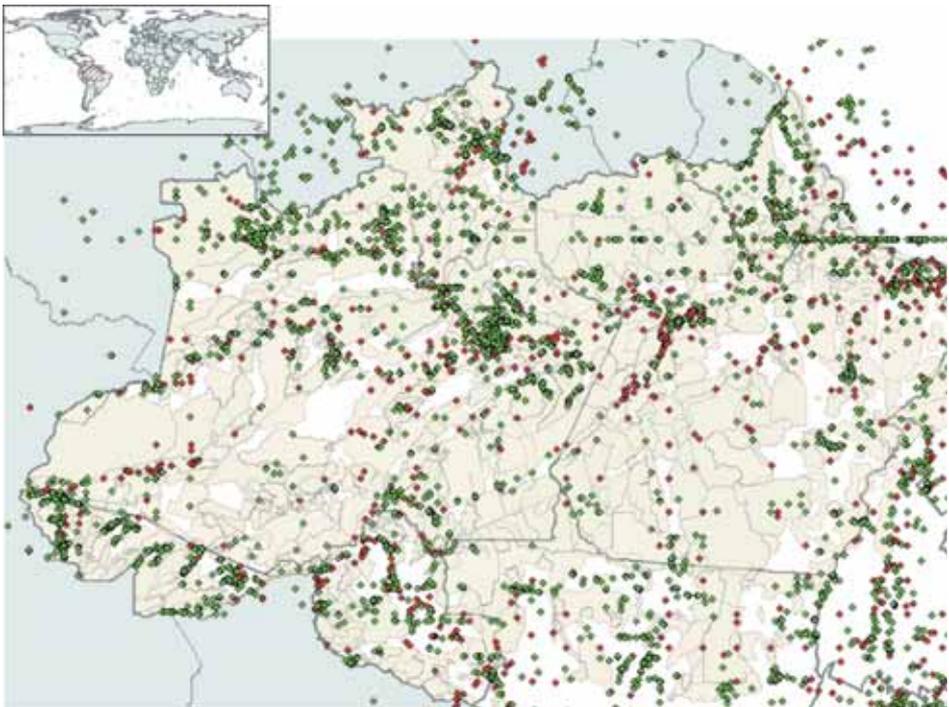
Figura 4. Comparação dos dados georeferenciados de animais nas redes GBIF e *speciesLink* (novembro, 2007)



Como a rede *speciesLink* serve os dados do projeto Revizee/Score Sul à rede OBIS (*Ocean Biodiversity Information System*) e a rede OBIS serve os dados para a rede GBIF, há muita sobreposição de pontos na costa brasileira. Podemos também observar uma grande concentração de pontos no Estado de São Paulo provenientes das coletas e observações realizadas no âmbito do programa Biota/Fapesp. Fora os dados desses dois programas, Revizee e Biota, a rede GBIF serve mais dados georeferenciados de animais que a rede *speciesLink*.

Considerando apenas a Região Amazônica (figura 5) podemos visualizar grandes lacunas de informações biogeográficas. Certamente se analisarmos os dados taxonômicos encontraremos também grandes lacunas de informação taxonômica.

Figura 5. Dados georeferenciados das redes GBIF e *speciesLink* para a Região Amazônica (novembro, 2007)



O “Plano de Ação 2007-2010: Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional”¹⁷ que integra o conjunto de ações do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), cita como meta a implementação de 2/3 das recomendações documento “Diretrizes e Estratégias para Modernização de Coleções Biológicas e a Consolidação de Sistemas Integrados de Informação sobre Biodiversidad”¹⁸ incluindo o apoio para a modernização de coleções biológicas e a consolidação de sistemas integrados de informação de acesso livre e aberto sobre biodiversidade.

Apesar dos avanços decorrentes da implementação do GBIF e do Programa Biota-Fapesp, e do PPBio, o acesso *on-line* a dados primários de ocorrência de espécies relevantes para modelagem de nicho ecológico de Biomas Brasileiros, é ainda muito incipiente e desorganizado.

Apesar dos esforços realizados para inventariar a biodiversidade do país, existem ainda grandes lacunas de conhecimento taxonômico e ecológico. Por ser o Brasil um país megadiverso de dimensões continentais, é necessário encontrar meios para direcionar a pesquisa de campo, cobrindo lacunas de conhecimento geográfico e taxonômico, visando a identificação de áreas de diversidade prioritárias para a conservação de espécies. Dessa forma, o uso de ferramentas computacionais na abordagem de lacunas de conhecimento torna-se imperativo.

O uso de técnicas de modelagem de distribuição geográfica de espécies é particularmente indicado na tomada de decisões baseadas em um número limitado de informação disponível, como é o caso dos principais biomas brasileiros. Porém, é sempre importante frisar que a eficácia dessas técnicas é altamente dependente da qualidade dos dados biológicos e ambientais disponíveis.

4.2. FERRAMENTAS DE ANÁLISE PARA A MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE ESPÉCIES

Uma das possíveis aplicações das projeções dos diferentes cenários climáticos futuros é na modelagem de distribuição geográfica potencial de espécies. Essa modelagem serve para avaliar o impacto dessas mudanças no

¹⁷ <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/66226.html>

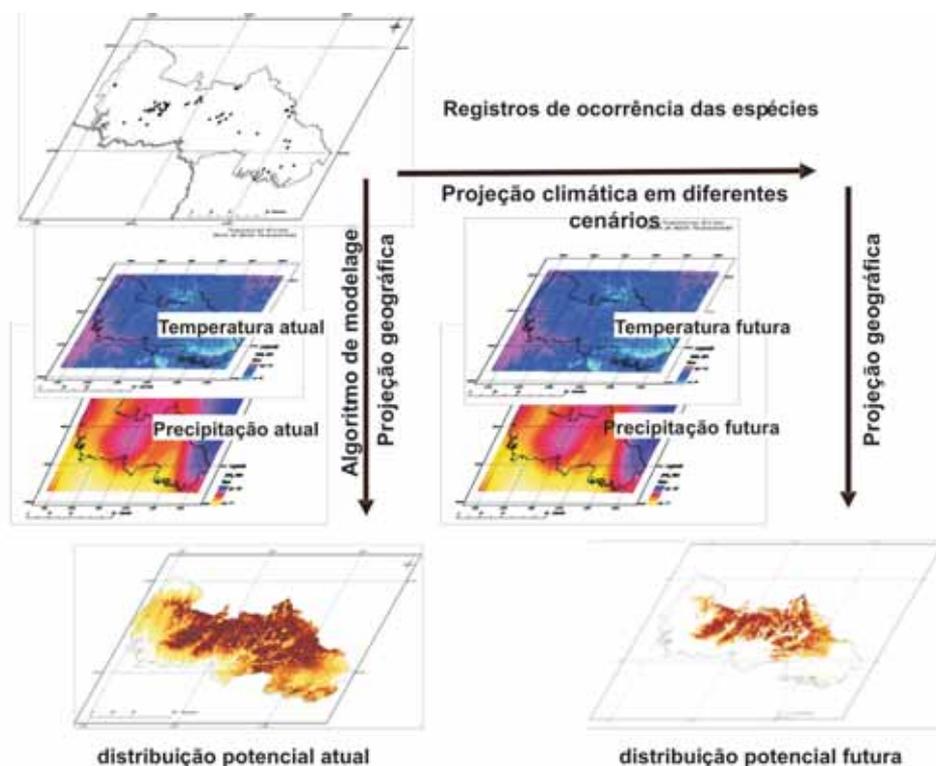
¹⁸ <http://www.cria.org.br/cgee/col/>

padrão de distribuição da biodiversidade (PETERSON 2001, PETERSON e VIEGLAIS 2001, ANDERSON et al. 2002, ANDERSON et al. 2003).

Esses métodos buscam definir as limitações ambientais das espécies nas dimensões para as quais o modelo é desenvolvido, com base em informações de ocorrência de espécies projetadas em espaço geográfico, e o uso de algoritmos que permitem a identificação de locais com características ambientais similares, indicando o potencial das espécies manterem populações viáveis (PETERSON e VIEGLAIS 2001).

Para realizar esse tipo de análise são necessários dados ambientais em escalas adequadas (mapas climáticos atuais e futuros), dados bióticos (registros de ocorrência e distribuição das espécies) e algoritmos que são utilizados na modelagem da distribuição geográfica potencial atual e futura das espécies (Figura 6).

Figura 6. Modelagem de distribuição potencial de espécies baseada em dados climáticos atuais e em cenários futuros



Existem cerca de 12 pacotes de software disponíveis para a modelagem de distribuição potencial de espécies baseados no conceito de nicho ecológico, sendo que os mais utilizados são o Desktop Garp¹⁹, MaxEnt²⁰, Floramap²¹, Biomod²². A maior parte desses softwares disponibilizam apenas um algoritmo de modelagem e via de regra requerem a conversão de dados ambientais (sistemas de projeção, datum, resolução etc) oriundos de diferentes fontes. Muitos desses problemas estão sendo resolvidos com o desenvolvimento do ambiente computacional de modelagem openModeller²³, uma parceria entre o Centro de Referência em Informação Ambiental (Cria), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), com o apoio da Fapesp. Esse ambiente de modelagem disponibiliza diferentes algoritmos, integra dados de diferentes formatos através do uso de uma biblioteca GDAL²⁴ facilitando portanto automatização de várias etapas do processo de modelagem (SUTTON et al. 2007, SANTANA et al. accepted).

As ferramentas de modelagem existentes baseiam-se apenas na influência do meio físico na distribuição das espécies, não assumindo a influência de barreiras geográficas e/ou ecológicas envolvidas no processo. Essa abordagem acarreta muitas incertezas e problemas nos resultados da modelagem dos impactos das mudanças climáticas na biodiversidade (PEARSON e DAWSON 2003, THUILLER et al. 2004, ARAÚJO et al. 2005). Análises mais robustas das conseqüências das mudanças climáticas globais na biodiversidade requerem a inclusão de aspectos envolvendo dinâmica de populações (migrações), uso da terra (processos de modificação e fragmentação de habitats) e interações bióticas, ao processo de modelagem (THUILLER et al. 2008). Esses autores definiram migração como sendo resultante de quatro processos: taxas de fecundidade, de dispersão, de recrutamento e de crescimento populacional. A inclusão desses fatores no processo de modelagem é importante uma vez que mudanças climáticas ameaçam muito mais as espécies com baixa capacidade migratória e com baixa capacidade de locomoção. É importante considerar o impacto da

¹⁹ <http://nhm.ku.edu/desktopgarp>

²⁰ <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent>

²¹ http://gisweb.ciat.cgiar.org/SIG/marksim_floramap.htm

²² <http://www.will.cherz-alice.fr/pdf/ThuillerGCB2003.pdf>

²³ <http://openmodeller.sourceforge.net/>

²⁴ <http://www.gdal.org/>

modificação e fragmentação de habitats na redução, ou mesmo no impedimento, da dispersão de propágulos de várias espécies. Para os autores, os modelos deveriam incorporar medidas, ainda que de forma simples, de taxas de migração, conceitos de meta-população para tratar questões de recrutamento e métricas de paisagem para tratar questões referentes a uso da terra e fragmentação de habitats.

Portanto, é necessário que as ferramentas de análises evoluam constantemente, implementando e testando novas técnicas no processo de modelagem. Nesse contexto, o ambiente computacional openModeller é especialmente indicado, por ser um software livre, de código aberto, com arquitetura modular e desenvolvimento colaborativo. Essas características tornam o processo de implementação de novos algoritmos e de processos de pré e pós-análise mais simplificado, fazendo deste software um ambiente propício ao processo de experimentação em modelagem de biodiversidade (SANTANA et al. accepted).

4.3. VULNERABILIDADE DA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA FRENTE A MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E USO INADEQUADO DA TERRA

O período de 1998 a 2007 já é considerado como a mais quente da história, desde o início da medição da temperatura do planeta em 1850. Nessa década foram perdidos em média cerca de 20 mil km quadrados por ano de cobertura vegetal na Amazônia Legal Brasileira. A devastação ambiental e a crescente fragmentação de habitats e ecossistemas, não é apenas um fator aditivo ao impacto das mudanças climáticas globais, mas um fator multiplicador quando se consideram os estresses associados. É difícil de estimar a vulnerabilidade de espécies biológicas, em função do desconhecimento existente, tanto ao nível taxonômico, quanto à dados biogeográficos consistentes e abrangentes. Ainda existem poucos estudos de modelagem de nicho ecológico, focados em biomas brasileiros. Outro fator que merece destaque, é que o zoneamento econômico ecológico ainda não saiu do papel no Brasil. De acordo com nota publicada pelo Instituto de Estudos de Comércio e Negociações Internacionais (Icône)²⁵ o mais recente número oficial sobre a área ocupada com pastagem data de 1996. O Brasil, na condição de terceiro maior produtor agrícola e nono maior detentor de

²⁵ <http://www.iconebrasil.org.br/pt/>

florestas plantadas do mundo, não pode deixar de ter um banco de dados prontamente disponível sobre o uso da terra, e sobre as mudanças em curso, fruto das transformações estruturais do mercado de commodities agrícolas, além dos impactos decorrentes das mudanças climáticas. A falta de regras definidas e de monitoramento adequado do uso da terra e de áreas costeiras, associados ao impacto das mudanças climáticas em curso, está acarretando e resultará em perdas ainda maiores da biodiversidade ainda desconhecida no Brasil.

Segundo Hoegh-Guldberg, Mumby et al. (2007), os recifes de coral do planeta poderão entrar em extinção a partir de 2050, caso a concentração de CO₂ na atmosfera ultrapasse a marca de 500 ppm (partes por milhão), conforme prevê o IPCC. A concentração do gás na atmosfera está hoje em 380 ppm, e se chegar de fato a 500 ppm, o pH e a concentração de aragonita (mineral que os corais utilizam para construir seu esqueleto calcário) dos oceanos cairão de tal maneira que será impossível para a maioria das espécies de coral sobreviver. A costa brasileira com 8 mil quilômetros de extensão, está sofrendo grandes alterações em função do boom imobiliário, especialmente no Nordeste brasileiro. A área de Abrolhos está ameaçada pela carcinocultura no sul da Bahia. Apesar dos esforços associados ao projeto Revizee²⁶, a biodiversidade da costa brasileira ainda é pouco conhecida e com informação desagregada e não prontamente disponível.

Em ambientes terrestres a “desconexão de habitats” está sendo considerada como uma das principais causas do declínio de anfíbios. De acordo com Becker, Fonseca et al (2007) o distanciamento das áreas de floresta onde vivem os anfíbios e dos corpos d’água onde eles se reproduzem está impondo um risco imediato à sobrevivência de várias espécies. O estudo avalia o impacto da fragmentação na Mata Atlântica, onde 93% da floresta foi devastada, mas alerta que o problema pode estar ocorrendo em todo o mundo por conta da destruição de matas ciliares. No interior de São Paulo, além de boa parte dos trechos remanescentes da Mata Atlântica estarem separados das fontes de água por canaviais ou pastos, 76% da mata ciliar foi destruída.

A Amazônia brasileira continuará no centro da discussão mundial sobre clima, recursos naturais e biodiversidade, em função dos importantes

²⁶ <http://www.mma.gov.br/port/sqa/projeto/revizee/capa/>

mecanismos de equilíbrio e regulação do clima no continente sul-americano e oceanos. O desmatamento da Amazônia voltou a crescer em 2007, depois de três anos de desaceleração, em função da expansão da área de pecuária e a intensificação do plantio de soja. Mantidas as taxas globais de emissões de gases do efeito estufa, a partir de 2050, florestas do centro da Amazônia poderão dar lugar a uma vegetação típica de Cerrado. De acordo com os dados do PrevFogo (Prevenção de Incêndios Florestais em Unidades de Conservação²⁷), o número de queimadas em áreas de floresta cresceu 30% em 2007, quando comparado a 2006. Pelo menos 65% do desmatamento detectado pelo Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia (Imazon)²⁸ no Pará ocorreu em unidades de conservação e terras indígenas na Terra do Meio e na BR-163. A perda de floresta nas unidades de conservação foi significativa, atingindo mais de 20% do total de terras de preservação ambiental. Esgota-se, portanto, o expediente de decretar reservas sem dotá-las de pessoal e equipamentos.

O ímpeto da fronteira agrícola já não parece deter-se diante da interdição fundiária nas áreas protegidas. Ele só será disciplinado com um zoneamento agroecológico abrangente da Amazônia, desde que implementado de fato no marco da lei.

O Cerrado cobria originalmente mais de 20% do território brasileiro, estendendo-se por cerca de dois milhões de km², ocupando boa parte dos onze estados na área central do país (RATTER et al. 1997). Nos últimos 30 anos, a cobertura vegetal do Cerrado vem sendo rapidamente transformada devido à expansão agropecuária. Segundo alguns índices, mais de 65% da área original do Cerrado já foi muito modificada, sendo que o bioma já tem cerca de 40% de sua área degradada e esse índice poderá aumentar ainda mais com a expansão agropecuária inadequada. Essa situação é extremamente preocupante porque o Cerrado, além de ser muito rico em espécies, é também muito rico em espécies endêmicas. Estima-se que o Cerrado possua cerca de 10.000 espécies de plantas das quais 44% sejam endêmicas deste bioma (MYERS et al. 2000). Apesar desta riqueza biológica, o Cerrado conta com menos de 3% de sua área original protegida por unidades de conservação (Ministério do Meio Ambiente, 1998) e não possui legislação específica para

²⁷ http://www2.tcu.gov.br/pls/portal/docs/page/tcu/controle_externo/fiscalizacao/avaliacao_programas_governo/relatorios/prevfogo_impacto.pdf

²⁸ <http://www.imazon.org.br/home/index.asp>

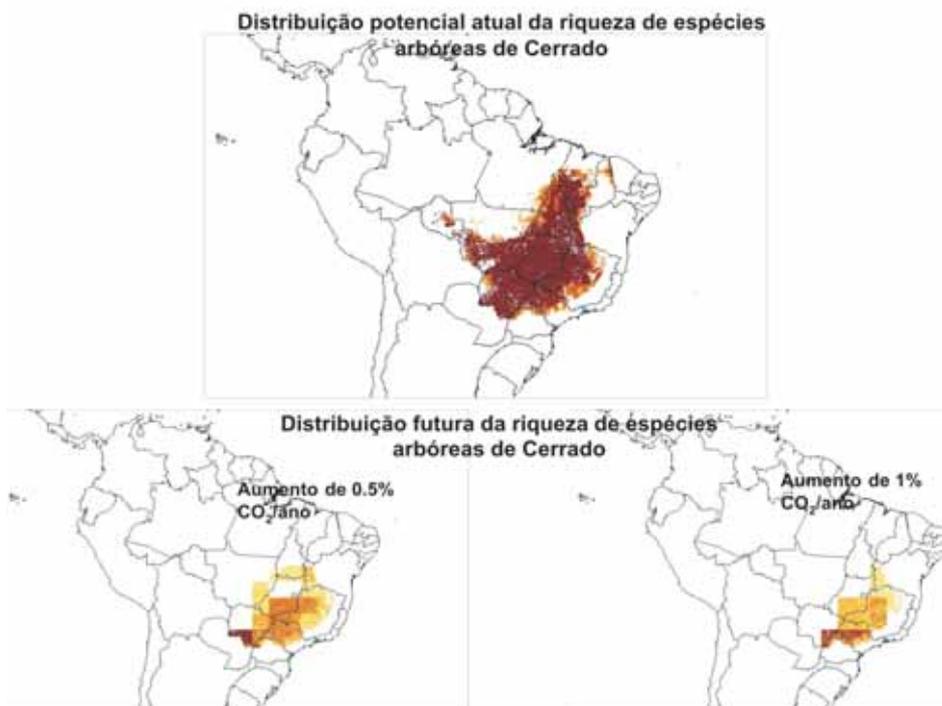
proteger efetivamente o que resta de seus remanescentes. O Cerrado continua cada vez mais ocupado por monoculturas como a soja e a cana, além da pecuária, e o CO₂ emitido via Cerrado é subestimado. Cálculos feitos por pesquisadores da UnB mostram que as emissões de carbono desse bioma é bastante significativa. Estudo divulgado pelo Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN)²⁹ aponta a tendência do avanço das lavouras de cana-de-açúcar, para produção de etanol, no segundo bioma mais ameaçado do país. Nos próximos anos, deverão ser construídas 47 novas usinas de álcool em Goiás, Mato Grosso e Minas Gerais, em áreas de Cerrado. A cana hoje já ocupa áreas que foram consideradas pelo MMA prioritárias para preservação e uso sustentável. As plantações de cana no Cerrado revelam uma dificuldade do governo de implantar um sistema de proteção em áreas que ele mesmo definiu como prioridade.

4.4. ESTUDO DE CASO DA VULNERABILIDADE DE PLANTAS DO CERRADO BRASILEIRO

A vulnerabilidade de espécies arbóreas do Cerrado brasileiro ao impacto de mudanças climáticas foi avaliada por (SIQUEIRA e PETERSON 2003) utilizando metodologias de modelagem preditiva para gerar mapas de distribuição geográfica com base no conceito de nicho ecológico das espécies (PETERSON 2001, PETERSON e VIEGLAIS 2001, ANDERSON et al. 2002, ANDERSON et al. 2003). A partir de registros de ocorrência de 162 espécies arbóreas selecionadas, com a utilização de dados do “Projeto de Cooperação Técnica, Conservação e Manejo da Biodiversidade do Bioma Cerrado” (Embrapa Cerrados, UnB, Ibama/DFID e RBGE/Reino Unido), foram feitas projeções de áreas potenciais futuras de ocorrência dessas espécies, baseadas em dois cenários climáticos do IPCC (2001). O estudo mostra uma perda de área maior que 50% para todas as espécies analisadas nos dois cenários. Indica que entre 18 a 56 espécies não terão áreas habitáveis na região do Cerrado em 2050, e entre 91 e 123 espécies terão sua área habitável diminuída em 90%, com o deslocamento da área “core” no Centro-Oeste para a Região Sudeste/Sul (Figura 7).

²⁹ <<http://www.socioambiental.org/nsa/detalhe?id=2577>>

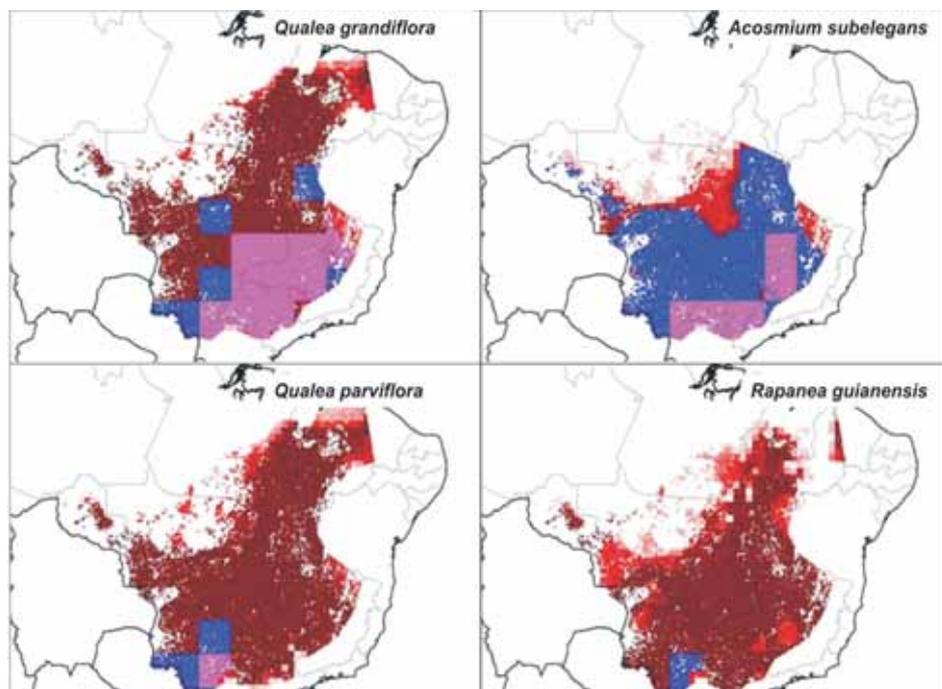
Figura 7. Distribuição potencial atual e futura, para dois cenários climáticos



Fonte: Siqueira & Peterson (2003).

A Figura 8 mostra a diferença das respostas a mudanças climáticas para quatro espécies arbóreas de Cerrado, indicando uma grande redução de área e possibilidade de extinção da *Rapanea guianensis* e uma resposta menos grave na distribuição da *Qualea grandiflora*. Isso mostra a necessidade de se fazer este tipo de análise para cada espécie, pois diferentes espécies possuem diferentes necessidades ecológicas e diferentes formas de adaptação às alterações ambientais.

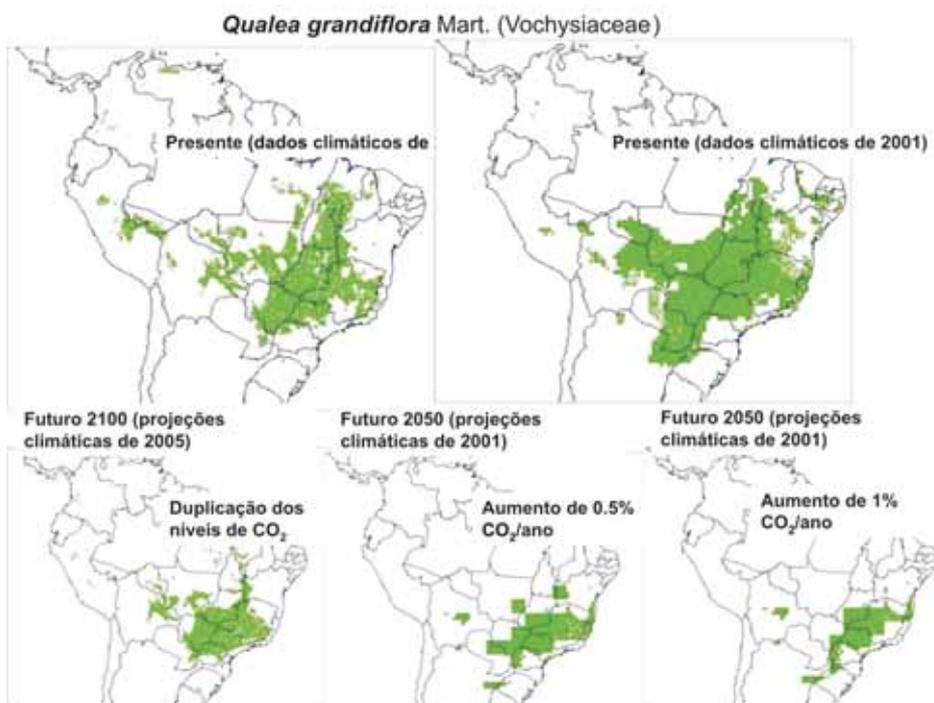
Figura 8. Distribuição futura baseada em dois cenários climáticos para quatro espécies arbóreas de Cerrado. Azul representa a área potencial futura baseado em um cenário mais otimista (aumento de 0.5% de CO₂/ano) e rosa representa a área potencial futura para o cenário mais pessimista (aumento de 1% de CO₂/ano).



Fonte: Siqueira e Peterson (2003).

A Figura 9 mostra os resultados da distribuição potencial de *Qualea grandiflora* no estudo de Siqueira e Peterson (2003) e os resultados obtidos utilizando novos dados climáticos gerados em 2005. A resolução dos modelos gerados com os dados de 2005 viabiliza análises mais acuradas sobre os impactos das mudanças climáticas na distribuição das espécies a nível local.

Figura 9. Modelagem de distribuição potencial atual e futura de *Qualea grandiflora* segundo três diferentes cenários climáticos.



5. CONCLUSÕES

Sistemas naturais podem ser especialmente vulneráveis às mudanças climáticas em função da capacidade limitada de adaptação, sendo que alguns desses sistemas podem sofrer danos significativos e irreversíveis. A vulnerabilidade dos sistemas naturais varia com a localização geográfica, tempo e condições sociais, econômicas e ambientais. Ecossistemas estão sujeitos à muitas pressões, tais como mudanças no uso da terra, deposição de nutrientes e poluentes, uso agrícola, introdução de espécies exóticas e variabilidade climática natural.

Populações de espécies ameaçadas, terão um risco maior de extinção em função do sinergismo de pressões adversas, incluindo mudanças de uso da terra e fragmentação de habitats. Sem adaptação, algumas das espécies definidas como “criticamente ameaçadas” serão extintas nas próximas décadas, e as espécies classificadas como “ameaçadas ou vulneráveis” se

tornarão muito mais raras ao longo deste século. A perda irreversível de espécies, acarretará impactos adversos em atividades socioeconômicas em função da alteração de serviços ambientais, como polinização e controle natural de pragas e pestes, e atividades recreativas, incluindo o ecoturismo. Possíveis métodos de adaptação de perda de espécies incluem o estabelecimento de refúgios, parques e reservas com corredores ecológicos para permitir a migração de espécies, associados à medidas de estímulo à criação em cativeiro, estabelecimento de bancos de embriões e germoplasma, e medidas de translocação de espécies. Contudo, essas opções são limitadas pelo fator custo. Algumas conclusões específicas sobre o impacto e vulnerabilidade potencial de ecossistemas brasileiros à cenários de mudanças climáticas, são apresentados à seguir:

1. A infra-estrutura compartilhada de dados biológicos ainda é incipiente e desorganizada, e via de regra não disponível na forma digital. A impossibilidade do acesso dinâmico a dados com qualidade e precisão requerida para a modelagem preditiva de espécies dificulta o desenvolvimento de cenários de impacto e vulnerabilidade consistentes para os principais sistemas naturais brasileiros.

2. A informática para biodiversidade é uma área emergente de desenvolvimento científico e tecnológico a nível global. Apenas nos últimos cinco anos é que um desenvolvimento acelerado do setor começou a ser delineado, com a implementação da Infra-estrutura Global de Informação sobre Biodiversidade (*Global Biodiversity Information Facility-GBIF*) e a adoção de padrões e protocolos que permitem a interoperabilidade entre sistemas de informação.

3. As projeções existentes do impacto de mudanças climáticas na biodiversidade se baseiam em poucos estudos de caso que utilizam um número pequeno de dados associados a biomas selecionados.

4. Organismos expressam as características climático-ambientais do nicho ecológico. Portanto, a distribuição de espécies é diretamente afetada pelo impacto das mudanças climáticas nesses nichos ecológicos. É importante a definição de abordagens sistêmicas que permitam a avaliação temporal do impacto das mudanças climáticas nas espécies, populações, comunidades, nichos ecológicos e biomas.

5. O estudo de caso do impacto de mudanças climáticas sobre espécies arbóreas do Cerrado brasileiro, indica uma perda significativa de biodiversidade em função do aumento médio de temperatura de 2 graus Celsius num período de 50 anos.

6. RECOMENDAÇÕES PRELIMINARES

1. Apoio à consolidação de uma infra-estrutura organizada e compartilhada de dados (biológicos e abióticos) que facilite o desenvolvimento de análises consistentes de modelagem preditiva. Esse esforço deve ser implementado em estreita colaboração com outras iniciativas regionais e globais.

2. Apoio ao desenvolvimento de ferramentas de análise integradas por meio de um ambiente computacional associado à infra-estrutura de dados, e que permita o desenvolvimento de cenários de impacto e vulnerabilidade através do emprego de diferentes algoritmos.

3. Definição de indicadores que permitam o monitoramento do impacto das mudanças climáticas nas espécies, populações, comunidades e biomas (por exemplo, declínio de populações de anfíbios e de polinizadores; alterações das características fenológicas de plantas).

4. Definição de metodologias para a elaboração de mapas de impacto, vulnerabilidade e adaptação para os principais biomas brasileiros.

5. Revisão das prioridades de conservação e estabelecimento de corredores ecológicos, levando-se em conta o impacto das mudanças climáticas na biodiversidade.

6. Desenvolvimento de sistemas de análise, síntese e visualização de dados, que permitam o monitoramento da perda de biodiversidade e a adoção de medidas preventivas.

7. Estabelecimento de políticas e estratégias que resultem no desenvolvimento de um sistema integrado de coleta e preservação de dados de interesse público.

8. Estruturação de um mecanismo financeiro para a remuneração dos serviços ambientais prestados pelas florestas das unidades de conservação

como estratégia de contenção do desmatamento e mitigação das mudanças climáticas.

9. Valoração dos serviços ambientais prestados pelas unidades de conservação”, com a estruturação de “mercados verdes”.

10. Definição de espécies indicadoras susceptíveis ao impacto de mudanças climáticas para os diferentes ecossistemas brasileiros.

REFERÊNCIAS

- ALLEY, R. et al. *Climate change 2007: the physical science basis*. [S.l.: s.n.], 2007.
- ANCIÃNES, M.; PETERSON, A. T. Climate change effects on neotropical manakin diversity based on ecological niche modeling. *The Condor*, n. 108, p. 778-791, 2006.
- ANDERSON, R. P.; LAVERDE, M.; PETERSON, A. T. Using niche-based GIS modeling to test geographic predictions of competitive exclusion and competitive release in South American pocket mice. *Oikos*, n. 93, p. 3-16, 2002.
- _____; LEW, D.; PETERSON, A. T. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, n. 162, p. 211-232, 2003.
- ARAÚJO, M. B., THUILLER, W.; PEARSON, R. G. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*, n. 33, p. 1712-1728, 2006.
- _____; WHITTAKER, M.; LADLE, R. J. Reducing uncertainty in projections of extinction risk from climate change. *Global Ecology & Biogeography*, n. 14, p. 529-538, 2005.
- BERRY, P. M. Modelling potential impacts of climate change on the bioclimatic envelope of species in Britain and Ireland. *Global Ecology & Biogeography*, n. 11, p. 453-462, 2002.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. *Ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento nacional: plano de ação, 2007-2019*. Brasília, 2007.
- COLOMBO, A. C. *Consequências potenciais das mudanças climáticas globais para espécies arbóreas da Mata Atlântica*. 2007. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual de Campinas, 2007.

GOVINDASAMY, B.; DUFFY, P. B.; COQUARD, J. High-resolution simulations of global climate, part 2: effects of increased greenhouse cases. *Climate Dynamics*, n. 21, p. 391–404, 2003.

GRIMM, A. M.; NATORI, A. A. Impacts of climate change in South America: mean fields and variability. In: ICSHMO, 8., 2006, Foz do Iguaçu. *Proceedings...* [S.l.: s.n.], 2006. p. 269-274

GULLISON, R. E. et al. Tropical forests and climate policy. *Science*, n. 316, p. 985-986, 2007.

HARRISON, P. A. et al. Modelling climate change impacts on species distribution at the European scale: implications for conservation policy. *Environmental Science & Policy*, n. 9, p. 116128, 2006.

HUNTLEY, B. et al. Modelling present and potential future ranges of some European higher plants using climate response surfaces. *Journal of Biogeography*, n. 22, p. 967-1001, 1995.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Summary for policymakers. [S.l.], 200-.

KILLEEN, T. J. (Ed.). Uma tempestade perfeita na Amazônia: desenvolvimento e conservação no contexto da iniciativa pela Integração da Infra-Estrutura Regional Sul Americana (IIRSA). *Conservation International*, 2007.

LAVERGNE, S.; MOLINA, J.; DEBUSSCHE, M. Fingerprints of environmental change on the rare Mediterranean flora: a 115-year study. *Global Change Biology*, n. 12, p. 1466-1478, 2006.

MAGANA, V. et al. Assessment of current and future regional climate scenarios for Mexico. *Climate research*, n. 9, p. 107-114, 1997.

MARENGO, J. A. *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: Ministério do Meio Ambiente, 2006. (Biodiversidade, 26).

MARTÍNEZ-MEYER, E.; PETERSON, A. T.; HARGROVE, W. W. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*, n. 1, p. 305-314, 2004.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; VELASQUEZ, L. F. S. Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura*, n. 59, p. 22-27, 2007.

OBERHAUSER, K.; PETERSON, A. T. Modelling current and future potential wintering distributions of eastern north american monarch butterflies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, n. 100, p. 14063-14068, 2003.

PARMESAN, C.; YOHE, G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, n. 421, p. 37-42, 2003.

PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?. *Global Ecology & Biogeography*, n. 12, p. 361-371, 2003.

_____ et al. Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography*, n. 33, p. 1704-1711, 2006.

PETERSON, A. T. Predicting species geographic distributions based on ecological niche modeling. *CONDOR*, n. 103, p. 599-605, 2001.

_____; SHAW, J. J. *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. *International Journal of Parasitology*, n. 33, p. 919-931, 2003.

_____; VIEGLAIS, D. A. Predicting species invasions using ecological niche modeling: new approaches from Bioinformatics attack a pressing problem. *BioScience*, n. 51, p. 363-371, 2001.

_____ et al. Future projections for mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*, n. 416, p. 626-629, 2002.

_____ et al. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling*, n. 144, p. 21-30, 2001.

ROOT, T. L. et al. Human-modified temperatures induce species change: joint attribution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, p.7465-7469, 2005.

SALA, O. E. et al. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, n. 287, p.1770-1774, 2000.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, n. 34, p. 1-6, 2007.

SANTANA, F. S. et al. A reference business process for ecological niche modelling. *Ecological Informatics*, [s.d.].

SIQUEIRA, M. F. D.; PETERSON, A. T. Consequences of global climate change for geographic distributions of cerrado tree species. *Biota Neotropica*, n. 3, 2003.

SUTTON, T.; GIOVANNI, R.; SIQUEIRA, M. F. Introducing openModeller. *OSGeo Journal*, n. 1, p. 1-6, 2007.

THOMAS, C. D. et al. Extinction risk from climate change. *Nature*, n. 427, p. 145-148, 2004.

THUILLER, W., LAVOREL, S.; ARAÚJO, M. B. Niche properties and geographic extent as predictors of species sensitivity to climate change. *Global Ecology Biogeography*, n. 14, p. 347-357, 2005.

_____ et al. Predicting climate change impacts on plant diversity: where to go from here?. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, n. 9, p. 137-152, 2008.

_____. Biodiversity conservation: uncertainty in predictions of extinction risk. *Nature*, n. 430, 2004. Discussion following 33.

_____. Using niche-based modelling to assess the impact of climate change on tree functional diversity in Europe. *Diversity and Distributions*, n. 12, p. 49-60, 2006.

WALTHER, G.-R., BERGER, S.; SYKES, M. T. An ecological “footprint” of climate change. *Proceedings of Royal Society of London B*, v. 272, n. 1571, p. 1427-1432, 2005.

Resumo

Existe hoje um amplo consenso científico e político de que estamos entrando num período de mudanças climáticas sem precedentes, e os impactos dessas mudanças na biodiversidade, assim como em outras áreas, já são mensuráveis. As mudanças climáticas em curso têm o potencial de contrapor aos esforços de conservação e uso sustentável da biodiversidade nas próximas décadas.

Cortes substanciais na emissão de gases de efeito estufa são necessários para mitigar a ameaça de longo prazo sobre a biodiversidade, visando limitar o aumento da temperatura média global anual em não mais que 2 graus Celsius acima dos níveis pré-industriais.

Por outro lado, a proteção à biodiversidade pode auxiliar a limitar a concentração de gases atmosféricos porque florestas e outros habitats naturais armazenam carbono. São necessários, o estabelecimento de políticas e o desenvolvimento de estratégias para auxiliar na definição de medidas de adaptação às mudanças de temperatura e regimes hídricos.

Apesar dos esforços realizados para inventariar a biodiversidade do país, ainda existem enormes lacunas de conhecimento taxonômico e biogeográfico. Por ser o Brasil um país megadiverso de dimensões continentais, é necessário encontrar meios para direcionar a pesquisa de campo, cobrindo essas lacunas, e visando a identificação de áreas de diversidade prioritárias para a conservação de espécies. Dessa forma, o uso de ferramentas computacionais na abordagem de lacunas de conhecimento torna-se imperativo.

Palavras-chave

Mudanças climáticas. Impactos. Biodiversidade. Gases de efeito estufa. Brasil.

Abstract

There is now a broad political and scientific consensus that we have entered an era of unprecedented climate change and that the impact of these changes on biodiversity already are measurable. Current climate changes have potential to undermine our efforts for the conservation and sustainable use of biodiversity in the next decades.

Substantial reductions of global greenhouse gas emissions are necessary to mitigate longer-term threats to biodiversity, are needed in order to limit the increase of the global annual mean temperatures to no more than 2 degrees Celsius above pre-industrial levels.

Protection of biodiversity can help limit atmospheric greenhouse gas concentration because forests and other natural habitats store carbon. The establishment of policies and the development of strategies are necessary to help define ways to adapt to changes in temperature and water regimes.

In spite of efforts carried out to document the country's biodiversity, there are still large taxonomic and bio-geographic knowledge gaps. As Brazil is a mega diverse country with continental dimensions, it is necessary to find the means to direct field surveys to cover such gaps and to identify priority areas for species conservation. The use of biodiversity informatics to address knowledge gaps is imperative.

Keywords

Climate changes. Impacts. Biodiversity. Greenhouse gas emissions. Brazil.

Os autores

VANDERLEI PEREZ CANHOS é engenheiro de Alimentos, mestre em Ciência de Alimentos (Unicamp), e doutor em Ciência de Alimentos (Universidade de Oregon/USA). Professor aposentado da Unicamp, é diretor-presidente do Centro de Referência em Informação Ambiental (Cria).

MARINEZ FERREIRA DE SIQUEIRA é graduada em Ciências Biológicas e mestre em Ecologia pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e doutora em Ciências da Engenharia Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP).

ALEXANDRE MARINO é analista de sistema. Atualmente está no Centro de Referência em Informação Ambiental (Cria).

DORA ANN LANGE CANHOS é formada em Engenheira de Alimentos (Unicamp). Atualmente é aluna de doutorado do Programa de pós-graduação em Política Científica e Tecnológica do Instituto de Geociências (Unicamp). É diretora associada do Centro de Referência em Informação Ambiental (Cria).

