ESTRUTURA HIERÁRQUICA NA RESPOSTA DAS DISTRIBUIÇÕES GEOGRÁFICAS DE PLANTAS DO CERRADO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Nayara P. R. Sousa
Universidade Federal de Goiás, Goiânia-Goiás, nayara_pereira@hotmail.com.

José Alexandre F. Diniz-Filho
Universidade Federal de Goiás, Goiânia-Goiás, jafdinizfilho@gmail.com.

Thiago Fernando L. V. B. Rangel
Universidade Federal de Goiás, Goiânia-Goiás, rangel.tf@gmail.com.

RESUMO - O clima pode ser considerado um fator extremamente importante na distribuição da vegetação e suas características em um contexto global. Os modelos de distribuição geográfica potencial ("spatial distribution model") são importantes ferramentas para predizer mudanças induzidas pelo clima na distribuição das espécies. Em geral, estudos sobre as consequências das mudanças climáticas na redistribuição dos biomas englobam apenas sua distribuição geográfica ou analisam as espécies individualmente. O objetivo principal deste trabalho é avaliar se existe uma estrutura hierárquica no deslocamento das distribuições futuras do bioma Cerrado, das regiões fitoecológicas e das espécies de plantas do bioma, sob o efeito de mudanças climáticas. Este estudo demonstrou que não existe estrutura hierárquica na resposta da distribuição vegetacional frente às previsões de mudanças climáticas para o ano de 2080 no Cerrado brasileiro. Em geral, nas três escalas estudadas, as distribuições deslocam-se para o sudeste do Brasil, de modo que essa região passa a ter um ganho de diversidade local enquanto o restante do Cerrado será afetado com o empobrecimento de sua diversidade. Este estudo aponta ainda, que num futuro próximo, as espécies do Cerrado serão afetadas com a perda de habitat.

Palavras-chave: regiões fitoecológicas, modelos de distribuição potencial, BioEnsembles.

INTRODUÇÃO

O clima pode ser considerado um fator extremamente importante na distribuição da vegetação e suas características em um contexto global. Mudanças climáticas afetaram a distribuição global da vegetação em um passado distante (Hessler *et al.* 2010) e, provavelmente, afetarão no futuro. Por outro lado, mudanças na distribuição e estrutura da vegetação podem influenciar o clima. (Nobre *et al.* 2004). Em muitos casos, os impactos dessas mudanças vão muito além da mera adição ou subtração de uma espécie, pois é esperado que estas mudanças climáticas produzam efeitos em cascata sobre a estrutura da comunidade e do funcionamento dos ecossistemas (Lawler *et al.* 2009).

Os modelos de distribuição geográfica potencial de espécies (SDM – "spatial distribution model"), conhecidos também como modelos de nicho, são uma das melhores ferramentas atuais para predizer mudanças induzidas pelo clima sobre a distribuição das espécies, em especial quando se trata de grandes conjuntos de dados (Pearson & Dawson 2003). Em síntese, associa-se as ocorrências (e eventualmente não ocorrências) a dados ambientais, construindo um modelo do "nicho" da espécie que pode ser então projetado em outros ambientes (no tempo ou no espaço). Diferentes SDMs podem apresentar previsões divergentes, essa variabilidade nas previsões não é surpreendente, dado que os SDMs são correlativos e, portanto, sensíveis aos dados e às funções matemáticas utilizadas para descrever a distribuição de espécies em relação aos parâmetros do clima. As estimativas das distribuições das espécies no âmbito de mudanças climáticas podem apresentar resultados diferentes dependendo do método, do modelo climático e do cenário usado para análise, resultando em fontes de incertezas provenientes dos dados ambientais, dos dados das espécies e das técnicas utilizadas para o processo de modelagem (Araújo & New 2007).

Uma solução metodológica para o problema de incertezas dos processos de modelagem é o uso de vários SDMs dentro de um quadro de conjunto de previões ("ensemble forecasting"), pois ao combinar os resultados de dois (ou mais) métodos distintos, podem-se obter resultados mais "robustos" ou com probabilidade de erro menor. Diniz-Filho *et al.* (2010) propuseram a idéia do conjunto de previsões, dividindo-a em 3 fases: I) a simples sobreposição dos mapas provenientes de diversos métodos, cenários ou modelos climáticos; II) a avaliação das diferenças entre os mapas utilizando técnicas de análise multivariada e; III) a avaliação quantitativa das magnitudes do efeito das fontes de variação sobre a variância nas predições espacialmente estruturadas. Utilizando esta idéia, os efeitos das mudanças

climáticas podem ser estruturados na vegetação do Cerrado em diferentes níveis hierárquicos.

O presente trabalho tem por objetivo elucidar os efeitos das mudanças climáticas na vegetação do Cerrado analisando diferentes níveis hierárquicos. Especificamente, o trabalho busca responder se existe uma concordância hierárquica no deslocamento das distribuições futuras do bioma Cerrado, das regiões fitoecológicas e das espécies de plantas do bioma. Ou seja, a magnitude do deslocamento do bioma Cerrado em função de mudanças climáticas pode ser considerada uma consequência do deslocamento individual de cada região fitoecológica ou de cada espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

Para determinar a distribuição atual da cobertura vegetal do bioma Cerrado, utilizou-se o mapa de vegetação do Cerrado (MMA 2006). As regiões fitoecológicas do bioma Cerrado compreendem as áreas que apresentam vegetação original, independentemente da existência ou não de algum tipo de uso antrópico (Probio 2004) e foram determinadas pelo mapa de mosaicos da vegetação do Cerrado, disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA 2002). Foram utilizadas as seguintes regiões: Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, Savana e Savana Estépica.

As espécies de plantas do Cerrado analisadas foram definidas a partir da lista de Almeida *et al.* (1998) e das espécies de plantas dominantes do Cerrado em Ratter *et al.* (2006). Desse modo, totalizaram 176 espécies de plantas do Cerrado, sendo algumas endêmicas ao bioma. A revisão de nomenclatura e sinonímia foi verificada em Forzza *et. al.* (2010). Para definir a distribuição geográfica das espécies selecionadas, realizaram-se pesquisas das respectivas ocorrências geográficas nos seguintes banco de dados: "SpeciesLink", Kew e GBIF. Essa busca foi complementada com o banco de dados de Oliveira-Filho & Ratter (1994) e com revisões da literatura científica, utilizando como critério de busca o nome científico da espécie.

As variáveis ambientais utilizadas foram: precipitação média anual, temperatura máxima do mês mais quente e temperatura mínima do mês mais frio. A fonte de dados para estes fatores climáticos foram as variáveis ambientais compiladas do banco de dados "Worldclim", com as condições atuais e para um cenário mais drástico de altas emissões de gases de efeito estufa (cenário A2, IPCC 2000), em 2080.

Seguindo a metodologia descrita por Diniz-Filho *et al.* (2009), através do programa "BioEnsembles", implementou-se a idéia de conjunto de previsões com os pontos de ocorrências das espécies, bem como os mapas da distribuição atual do Cerrado e suas regiões fitoecológicas, todos sobrepostos a uma grid de 0,25° por 0,25°. Estão disponíveis 11 métodos de SDMs no programa, mas neste trabalho foram utilizados cinco métodos conceitualmente e estatisticamente diferentes (Segurado & Araújo 2004): "Bioclim", "Maximum Entropy", "Genetic Algorithm for Rule Set Production", Distância de Mahalanobis e Euclidiana.

Incorporando os procedimentos computacionais intensivos, juntamente com as variáveis climáticas atuais e o cenário A2, geraram-se distribuições geográficas potenciais atuais e futuras do Cerrado, das regiões fitoecológicas e das espécies. Para associar as diferentes respostas de distribuição futura e comparar se houve mudanças no padrão de distribuição em diferentes níveis da hierarquia ecológica, primeiramente foi projetada a distribuição futura do bioma e, em seguida, as projeções da distribuição futura de todas as regiões fitoecológicas foram sobrepostas. Por último, as projeções da distribuição futura de todas as espécies foram sobrepostas. Estas duas últimas projeções (combinação das distribuições futuras das regiões fitoecológicas e combinação das distribuições futuras das espécies) foram associadas e comparadas com a resposta de distribuição futura do bioma.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baseando-se nos mapas de distribuição futura do bioma, das regiões fitoecológicas e das espécies, observa-se que houve uma concordância em relação à distribuição e à direção das distribuições (**Figura 1**). Ou seja, tanto o bioma, quanto as regiões fitoecológicas e as espécies responderam de modo semelhante aos efeitos de mudanças climáticas.

Este estudo apresentou resultados distintos dos apresentados por Salazar *et al.* (2007), que prevêem o avanço do Cerrado na região da Amazônia e savanização da mesma. Os deslocamentos do bioma, das espécies e das regiões fitoecológicas tendem à região sudeste (**Figura 1**). Essa diferença pode ser devido à ampla distribuição atual das espécies, ou à aplicações metodológicas diferentes, ou por interpretações distintas do que realmente é considerado Cerrado. Existem outros resultados divergentes à teoria dos refúgios (Haffer 1969), a qual afirma que, no passado, houve um recuo da Amazônia em períodos climáticos secos, tendo, consequentemente, uma expansão do Cerrado em direção à Amazônia. Colinvaux *et al.* (2000) e Bush & Oliveira (2006) indicam que houve migração de táxons específicos e não expansão de todo o bioma Cerrado.

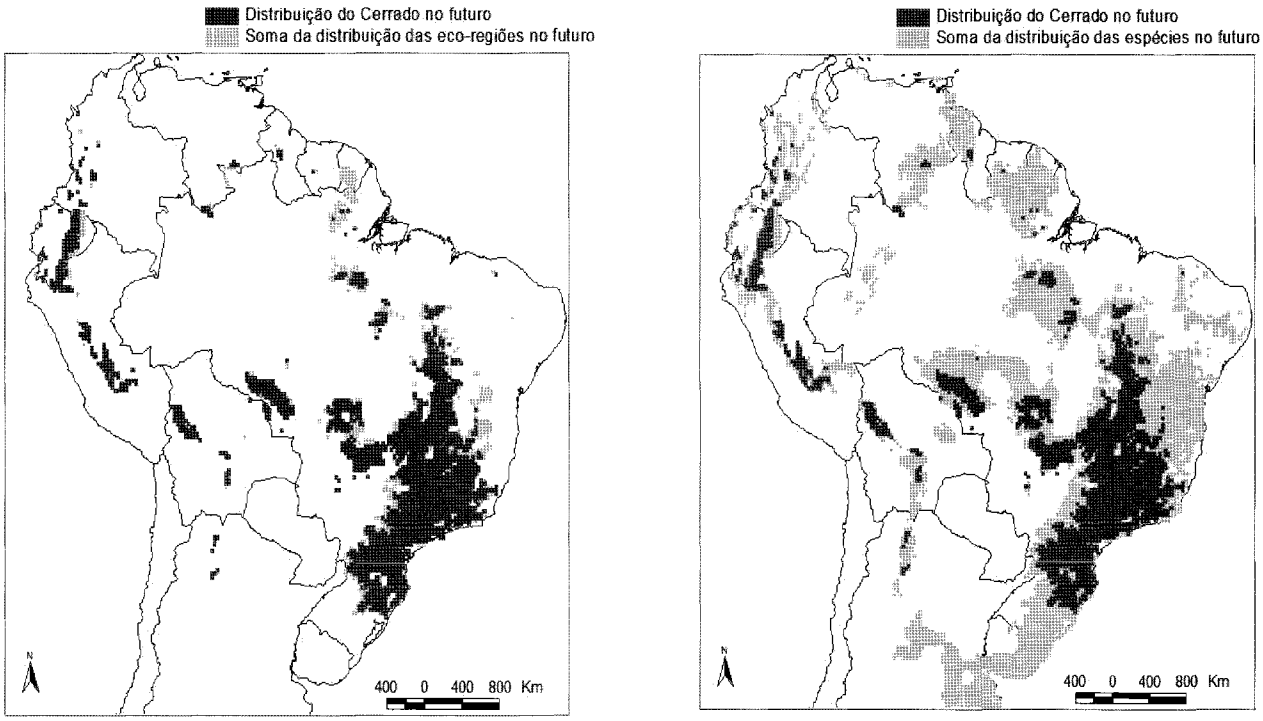

Figura 1. Simulações relativas ao Cerrado, preditas para o ano de 2080, pela distribuição geográfica potencial de espécies (SDM= "spatial distribution model"), avaliadas por meio do programa "BioEnsembles". As áreas pretas indicam a projeção da distribuição do Cerrado, enquanto as áreas de cor cinza indicam a soma das projeções das distribuições futuras das regiões fitoecológicas (A) e das espécies (B).

A partir dos resultados, observa-se que não existe uma estrutura hierárquica na resposta da distribuição vegetacional frente às previsões de mudanças climáticas para o ano de 2080 no Cerrado brasileiro. Ou seja, a distribuição tanto do bioma, como das regiões fitoecológicas e das espécies responderam de modo semelhante ao efeito das mudanças climáticas. Em geral, nas três escalas estudadas as respectivas distribuições deslocam se para o sudeste do Brasil, de modo que essa região passa a ter um ganho de diversidade local enquanto o restante do cerrado sofrerá com o empobrecimento de sua diversidade. Este estudo aponta ainda que, num futuro próximo, as espécies do Cerrado sofrerão com a perda de habitat, decorrente tanto da perda de fragmentos como da redução de área destes.

Os SDMs foram bons preditores das distribuições do bioma, das regiões fitoecológicas e das espécies de plantas do Cerrado visto que suas distribuições preditas sobrepõem com os dados de ocorrência atual. Não ocorreu grande variação na estimativa dos SDMs entre os métodos considerados. A congruência entre os métodos permite uma avaliação à respeito das previsões futuras acerca da cobertura florestal do Cerrado e o efeito da escala hierárquica. Isso elimina a necessidade de discutir a adequação dos métodos de modelagem utilizados. Adicionalmente, sabe-se que a maior parte da variação final encontrada nas análises de modelagem ocorre devido a dados incertos de ocorrência das espécies, ou futuros cenários climáticos, e não à modelagem de nicho propriamente dita (Pearson *et al.* 2006; Diniz-Filho *et al.* 2009), ou seja, a variância do desempenho do método é maior entre as espécies do que entre as técnicas empregadas (Guisan *et al.* 2007).

A concordância hierárquica no deslocamento das distribuições futuras decorrentes dos efeitos das mudanças climáticas implica que o modelo de deslocamento do nível hierárquico mais elevado (bioma) pode ser uma soma dos modelos individuais (das regiões fitoecológicas ou das espécies). Sendo assim, para entender como as mudanças climáticas afetarão o Cerrado, não é necessário estudar como as mudanças climáticas afetarão cada planta individualmente, pois todas elas irão responder de maneira parecida. Pode-se assim inferir que o bioma Cerrado e suas respectivas regiões fitoecológicas são definidos pelo conjunto das espécies de plantas que o ocupam, corroborando as definições de bioma conforme revisão de Coutinho (2006) e trabalho de Batalha (2011). Assim, é possível afirmar que a distribuição das espécies de plantas reflete a formação de grupos coesos que definem as regiões fitoecológicas e o bioma. Então, usar a distribuição de um grupo de plantas para a definição de hierarquias superiores pode ser útil, quando não se dispõem de dados para outros grupos de organismos, pois intrínseco ao dado de ocorrência da espécie estão variáveis de interação biótica que não estão sendo modelados explicitamente no cálculo das distribuições potenciais, mas que contribuem para que a distribuição de algumas espécies vegetais reflita a distribuição de grupos

maiores. Provavelmente, a formação destes grupos está ligada à existência de atributos funcionais nas espécies que sejam representativos da região fitoecológica ou do bioma. Frente a esses resultados, as ações conservacionistas mais importantes estariam associadas à garantia de que os habitats estejam conectados e em áreas bem preservadas, para atender alguns efeitos das mudanças no clima.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro, aos professores Dr. José Alexandre Felizola Diniz Filho e Dr. Thiago Fernando L.V. de Britto Rangel pela orientação e co-orientação respectivamente e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução pela estrutura física, pelos debates científicos nos laboratórios e pelo conhecimento adquirido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S.P.; PROENÇA, C.E.B.; SANO, S.M.; RIBEIRO, J.F. **Cerrado: espécies vegetais úteis.** Planaltina: Embrapa-CPAC: 1998, p. 156-161.

ARAÚJO, M.B.; NEW, M. **Trends in Ecology and Evolution**, 22(1): 42-47, 2007.

BATALHA, M. A. **Biota Neotropica**, 11(1): 1-4, 2011.

BUSH M.B.,; OLIVEIRA, P.E. **Biota Neotropica**, 6(1): 1-17, 2006.

COLINVAUX P.A.; DE OLIVEIRA, P.E.; BUSH, M.B. **Quaternary Science Reviews**, 19: 141-169, 2000.

COUTINHO, L.M. **Acta Botanica Brasilica**, 20(1): 1-11, 2006.

DINIZ-FILHO, J.A.F.; BINI, L.M.; RANGEL, T.F.L.V.B.; LOYOLA, R.D.; HOF, C.; NOGUÉS-BRAVO, D.; ARAÚJO M.B. **Ecography**, 32: 897-906, 2009.

DINIZ-FILHO, J.A.F.; FERRO, V.G.; SANTOS, T.; NABOUT, J.C.; DOBROVOLSKI, R.; DE MARCO JR., P. **Revista Brasileira de Entomologia**, 54(3): 339-349, 2010.

FORZZA, R.C.; LEITMAN, P.M.; COSTA, A.F.; CARVALHO JR., A.A.; PEIXOTO, A.L.; WALTER, B.M.T.; BICUDO, C.; ZAPPI, D.; COSTA, D.P.; LLERAS, E.; MARTINELLI, G.; LIMA, H.C.; PRADO, J.; STEHMANN, J.R.; BAUMGRATZ, J.F.A.; PIRANI, J.R.; SYLVESTRE, L.; MAIA, L.C.; LOHMANN, L.G.; QUEIROZ, L.P.; SILVEIRA, M.; COELHO, M.N.; MAMEDE, M.C.; BASTOS, M.N.C.; MORIM, M.P.; BARBOSA, M.R.; MENEZES, M.; HOPKINS, M.; SECCO, R.; CAVALCANTI, T.B.; SOUZA, V.C. **Lista de espécies da flora do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/ (Acesso em: maio de 2011).

GBIF, Global Biodiversity Information Facility. **Free and open access to biodiversity data.** Disponível em: http://www.gbif.org/ (Acesso em: fevereiro de 2011).

GUISAN GRAHAM, C.H.; ELITH, J.; HUETTMANN, F.; NCEAS. Species Distribution Modelling Group. Sensitivity of predictive species distribution models to change in grain size. **Diversity and Distributions** 3: 332-340, 2007.

HAFFER, J. **Science**, 165: 131-137, 1969.

HESSLER, I.; DUPONT, L.; BONNEFILLE, R.; BEHLING, H.; GONZÁLES, C.; HELMENS, K.F.; HOOGHIEMSTRA, H.; LEBAMBA, J.; LEDRU, M. P.; LÉZINE, A.M.; MALEY, J.; MARRET, F.; VINCENS, A. **Quaternary Science Reviews**, 29: 2882-2899, 2010.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Emissions Scenarios. New York: Cambridge University Press, 2000.

KEW, ROYAL BOTANIC GARDENS. **Royal Botanic Gardens.** 2003. Disponível em: http://www.kew.org/index.htm (Acesso em: fev. 2011).

LAWLER, J.J.; SHAFER, S.L. WHITE, D.; KAREIVA, P; MAUER, E.P.; BLAUSTEIN, A.R.; BARTLEIN, P.J.. **Ecology**, 3: 588-597, 2009.

Ministério do Meio Ambiente. **Levantamento dos remanescentes de cobertura vegetal do bioma Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados; Uberlância: Universidade Federal de Uberlândia; Goiânia: Universidade Federal de Goiás. Editora Probio, 2006.

Ministério do Meio Ambiente. **Mapa de Cobertura vegetal do Bioma Cerrado**. 2002. Disponível em: http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/cerrado/mapas_pdf/vegetacao/mosaico_cobvegA0.pdf (Acesso em: mai. 2011).

NOBRE, C.A.; OYAMA, M.D.; OLIVEIRA, G.; MARENGO, J.A.; SALATI, E. **First CLIVAR International Conference.** Baltimore: Climate Variability and Predictability program, 2004.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. **Database: woody flora of 106 forest areas of eastern tropical South America.** Royal Botanic Garden, Edinburgh Inverleith Row, EH3 5LR, Edinburgh Scotland, U.K, 1994.

PEARSON, R.G.; DAWSON, T.E. **Global Ecology and Biogeography**, 12: 361-371, 2003.

PEARSON, R.G.; THUILLER, W.; ARAÚJO, M.B.; MATINEZ-MEYER, E.; BROTONS, L.; MACCLEAN, C.; MILES, L.; SEGURADO, P.; DAWSON, T.P.; LEES, D.C. **Journal of Biogeography**, 33: 1704-1711, 2006.

PROBIO, Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira. **Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado.** Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira. 2004. Disponível em: http://www.mma.gov.br/portalbio (Acesso em: maio de 2011).

RATTER, J.A., BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Biodiversity patterns of the woody vegetation of the Brazilian Cerrados em Neotropical savannas and dry forests: diversity, biogeography and conservation. *In:* RATTER, J.A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J.F. **Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests.** Londres: CRC Taylor; Francis, 2006.

SALAZAR, L.F.; NOBRE, C.A.; OYAMA, M.D. **Geophysical Research Letters**, 34: L09708, 2007.

SEGURADO, P.; ARAÚJO, M.B. **Journal of Biogeography**, 31: 1555-1568, 2004.

SPECIESLINK. CRIA: **Centro de Referência em Informação Ambiental. Sistema de Informações Distribuído para Coleções**. 2004 Disponível em: http://splink.cria.org.br/ (Acesso em: fevereiro de 2011).

WORLDCLIM. Global Climate Data. HIJMANS, R.J.; CAMERON, S.A.; PARRA, J.L. **WorldClim: Global Climate Data.** 2005. Disponível em: http://www.worldclim.org/ (Acesso em: fevereiro de 2011).