



USO DE DIFERENTES CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA SIMULAÇÃO DE IMPACTOS SOBRE A DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL DE *ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA* (BERTOL.) KUNTZ.

Albuquerque, R. W.1

Medeiros, M. B.2 & Noronha, S. E.2

1Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Asa Norte, 70910 - 900, Brasília-DF. 2 Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Telefone: (61) 3448 4653; e - mail: rafaelwalter .87@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

São esperadas para o século XXI mudanças climáticas mais rápidas do que foram observadas nos últimos dez mil anos, segundo o IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. Neste cenário, as espécies mais vulneráveis serão aquelas com distribuições limitadas por fatores climáticos e/ou geográficos e o risco de extinção aumentará para muitas espécies, especialmente aquelas que já estão em risco devido a fatores como populações reduzidas, habitats restritos ou fragmentados e variações climáticas limitadas (MMA 2007).

No Brasil, as espécies do bioma Mata Atlântica se encaixam neste conceito de vulnerabilidade, e os remanescentes de vegetação nativa ainda sofrem elevada pressão antrópica, apresentando um elevado número de fragmentos e vários padrões de fragmentação (Morellato & Haddad 2000). Originalmente cobrindo grandes extensões desde o nordeste até o sul do Brasil, a Mata Atlântica é constituída por um conjunto de formações vegetais arbóreas - como a Floresta Ombrófila Densa, a Floresta Ombrófila Aberta, a Floresta Ombrófila Mista, a Floresta Estacional Semidecidual, a Floresta Estacional Decidual e os Manguezais - e não arbóreas como a vegetação de Duna e de Campos de Altitude (Joly *et al.*, 1999; Oliveira Filho & Fontes 2000).

Diversos autores (Salis *et al.*, 1995; Torres *et al.*, 1997; Scudeller 2002) têm demonstrado que a distribuição de espécies arbóreas de Mata Atlântica está diretamente correlacionada com características climáticas, especialmente a temperatura e a precipitação. Mudanças climáticas afetam, portanto, não só o limite de biomas, mas também a distribuição de espécies dentro destes. As flutuações climáticas do Quaternário levaram à retração e expansão dos principais biomas brasileiros. Nos períodos mais frios e secos, que tiveram seu último pico a 18.000 anos atrás, a Floresta Amazônica e a Mata Atlântica ficaram restritas às áreas

hoje conhecidas como refúgios (Brown Jr & Ab'Saber 1979), enquanto que os Cerrados e a Caatinga se expandiram cobrindo boa parte do território nacional.

Considerando os componentes que afetam a distribuição das espécies, mas ainda com ênfase principalmente no conceito de nicho fundamental, ou seja, as condições abióticas sobre as quais uma espécie pode manter populações viáveis (sensu Hutchinson 1957), o uso da modelagem tem permitido a simulação de impactos de mudanças climáticas sobre a biota (Araújo *et al.*, 2005; Araújo *et al.*, 2006), com evidências de mudanças substanciais na distribuição geográfica de muitas espécies (Peterson *et al.*, 2002; Erasmus *et al.*, 2002).

Embora tenha ocupado, no passado, extensas áreas no Planalto Meridional brasileiro, a exploração indiscriminada de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntz., conhecida popularmente como pinheiro - do - paraná, colocou - a na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção (MMA 2008a). Além disso, dos 20 milhões de hectares originalmente cobertos pela Floresta de Araucária, ou Floresta Ombrófila Mista, restam, atualmente, cerca de 2% dessa área. Particularmente no Estado do Paraná, as serrarias e o uso industrial foram as principais responsáveis pelo desmatamento (Gurgel Filho, 1990).

OBJETIVOS

Este estudo teve por objetivo avaliar o impacto das mudanças climáticas em cenários futuros sobre *Araucaria angustifolia*, por meio de modelos de distribuição de espécies, considerando o conceito de nicho fundamental.

MATERIAL E MÉTODOS

Os pontos ocorrência de *A. angustifolia* foram obtidos por meio de coletas de campo e em bases de dados (www.specieslink.org.br). Os dados abióticos (mapas temáticos) foram utilizados com os dados de clima atual e as projeções futuras (precipitação e temperatura) e altitude disponíveis na base de dados Worldclim version 1.1. Global Climate Surface (Hijmans *et al.*, 2005). Foram utilizadas 19 variáveis para os dados de temperatura e precipitação (variáveis bioclimáticas - BIO) na resolução espacial 5 minutos. Os dados de altitude na base Worldclim foram gerados através de imagens de radar (SRTM - Shuttle Radar Topography Mission).

Os modelos climáticos do IPCC utilizados foram o CCM3 e CCCMA. O modelo CCM3 admite uma duplicação da quantidade de CO₂ na atmosfera enquanto o CCCMA possui dois cenários, A2A e B2A, projetados para os anos 2020, 2050 e 2080. O cenário A2 descreve um mundo futuro muito heterogêneo, sendo intenso o processo de regionalização. Neste cenário é previsto um acréscimo médio de temperatura equivalente a 3,65°C. Já o cenário B2 descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais para a sustentabilidade econômica, o que gerou uma previsão de aumento de temperatura menor, equivalente a 2,08°C. Assim, em se tratando de mudanças climáticas, o cenário A2 é considerado mais pessimista, com maior emissão de gases de efeito estufa, e o cenário B2, otimista (Marengo 2007).

Através do ambiente SIG, foram utilizados os dados oriundos da classificação de remanescentes florestais atuais do bioma Mata Atlântica, áreas úmidas e antropizadas disponibilizados pelo Ministério do Meio Ambiente/PROBIO (MMA 2008b), como complementação aos dados de clima e altitude.

Para a geração dos modelos foi utilizado o programa Openmodeller (Sutton 2007) com o algoritmo SVM - Support Vector Machine (Schollkopf *et al.*, 2001). A validação dos modelos foi executada através dos seguintes procedimentos: estatística da curva ROC, dados de campo e informações de literatura. Os resultados da modelagem foram analisados através de um Sistema de Informação Geográfica (ArcGis 9.2 ESRI 2004). Foram também calculadas as áreas de cada tipo de uso do solo nas áreas definidas pelo modelo como de provável ocorrência.

RESULTADOS

A curva ROC mostrou acurácia de 98,5% (erro de omissão equivalente a 1,5%) e 4,8% de erro de sobreprevisão. O modelo de distribuição potencial de *A. angustifolia* gerado para o presente abrangeu regiões dos três estados da região Sul, trechos do estado de São Paulo cuja média de altitude gira em torno de 1000 metros e até mesmo pequenos trechos dos estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro cuja altitude possui valores similares. Em toda sua região de ocorrência definida pelo modelo, que totaliza uma área equivalente a 276 169km², a espécie estudada demonstrou não se distribuir por regiões cuja cota de altitude encontra-se abaixo dos 700 metros. Dentre as classes de uso do solo existentes na região destacam-se aproximadamente 6000km² (2%)

da área como Floresta Estacional e 77 338 km² (28%) de Floresta Ombrófila Mista, sendo que parcela significativa da área de ocorrência é de área antropizada, equivalente 140 386 km² ou 50,8% do total da área de distribuição potencial.

O modelo CCCMA descreveu distribuição potencial ao longo dos anos deslocando toda de potencial distribuição da espécie para o extremo sul do Brasil, onde ocorre o bioma Campos Sulinos. Os resultados destes modelos de distribuição para o futuro são compatíveis com os cenários projetados que apresentam variações de temperatura muito próximas. Portanto, nestes cenários futuros, com exclusão das condições ótimas de clima no bioma Mata Atlântica, seria muito difícil a manutenção de populações viáveis de *A. angustifolia*.

O modelo mostrou, para o cenário A2a, uma média de temperatura anual, segundo os anos 2020, 2050, 2080, de respectivamente 18,9 ±0,8°C, 18,7 ±0,7°C e 18,6 ±0,7°C. No cenário B2a a temperatura

média anual destes mesmos anos foi de 19 ±0,9°C, 18,8 ±0,8°C e 18,8 ±0,8°C. A média de altitude para ambos os cenários A2a e B2a no ano de 2020 foi igual a 92 ±67 m, para 2050 igual a 85 ±64 m e para 2080 igual a 57 ±56 m.

Considerando o modelo CCM3, o aumento da temperatura causado pela duplicação da quantidade de gás carbônico (CO₂) ocasionará diminuição na área total de ocorrência de *A. angustifolia*. A previsão para o uso do solo no futuro indica uma redução nas áreas de distribuição potencial, com cerca de 478 km² de Floresta Estacional e 41 609 km² de Floresta Ombrófila Mista. O cenário CCM3 apresentou temperatura média anual e média de altitude da área de distribuição potencial de *A. angustifolia* equivalentes a, respectivamente, 16,7 ±1 °C e 907 ±174 m.

Alguns estudos têm questionado o uso de modelagens com envelopes bioclimáticos para a distribuição espacial de espécies e a sua dinâmica no tempo, considerando que outros fatores, como as interações bióticas entre espécies, como competição, predação e simbiose (Davis *et al.*, 1998; Araújo & Luoto 2007) e adaptações evolutivas rápidas (Pearson & Dawson 2003; Diniz - Filho & Bini 2008) podem ser também muito importantes para explicar esta dinâmica. Porém, vários estudos bioclimáticos em macro - escalas, onde a influência do clima é dominante, têm mostrado eficiência na predição de distribuição atual de espécies e parecem ser adequados para a simulação de impactos de mudanças climáticas, como neste caso de *A. angustifolia*.

Considerando as limitações de dispersão a longa distância para as plantas (Nathan 2006) e a escassez de formações florestais nos Campos Sulinos, as adaptações evolutivas rápidas ou a extinção serão as possibilidades disponíveis para a espécie *A. angustifolia*. Considerando também que as adaptações evolutivas rápidas podem ser bastante limitadas e já foram registradas grandes extinções no passado devido às mudanças climáticas mais intensas (Wiens & Graham 2005), a extinção de extensas populações de *A. angustifolia* deve apresentar elevada probabilidade.

Estudos complementares para diminuir as incertezas de amplitude de distribuição geográfica em cenários futuros deverão ser desenvolvidos para *A. angustifolia*, considerando

a utilização de um conjunto de algoritmos para redução de erros das predições (Thuiller 2004).

CONCLUSÃO

De acordo com os modelos de distribuição espacial gerados para os cenários futuros de aquecimento global, o deslocamento das condições climáticas ótimas de *A. angustifolia* para outro bioma (Campos Sulinos) torna difícil a manutenção de populações viáveis da espécie, excetuando - se a possibilidade de mudanças adaptativas rápidas.

Assim, ações de conservação ex situ, com germoplasma de populações provenientes de regiões com temperaturas mais elevadas, podem apresentar - se como uma estratégia adequada para a manutenção da espécie.

REFERÊNCIAS

Aidar, M.P.M.; Martinez, C.A.; Costa, A.C.; Costa, P.M.F.; Dietrich, S.M.C. & Buckeridge, M.S. 2002. Effect of atmospheric CO₂ enrichment on the establishment of seedlings of jatobá, *Hymenaea courbaril* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae). *Biota Neotropica* 2(1)

Araújo, M. B. & Guisan, A. 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*. 33: 1677 - 1688.

Araújo, M. B., Pearson, R. G., Thuiller, W. & Erhard, M. 2005. Validation of species - climate impacts models under climate change. *Global Change Biology*. 11: 1504 - 1513.

Araújo, M. B., Thuiller, W. & Pearson, R. G. 2006. Climate warming and decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*. 33: 1712 - 1728.

Araújo, M.B.; Luoto, M. 2007. The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*. 16: 743: 753.

Brown Jr, K.S. & Ab' Saber, A. N. 1979. Ice - age forest refuges and evolution in the neotropics: correlation of paleoclimatological, geomorphological and pedological data with modern biological endemism. *Paleoclimas* 5: 1 - 30.

Carvalho, P. E. R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira / Paulo Ernani Ramalho Carvalho; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; Centro Nacional de Pesquisa de Florestas-Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 640p. : il.color (35p. com 140 fot.), 4 mapas.

Cria. 2008. Centro de Referência em Informação Ambiental. <http://www.splink.cria.org.br>. (último acesso em 10/11/2007).

Davis, A. J., Jenkinson, L. S., Lawton, J. L., Shorrocks B. & Wood, S. 1998. Making mistakes when predicting shifts in species ranges in response to global warming. *Nature*. 391: 783 - 786.

Diniz - Filho, J.A.F.; Bini, L.M. 2008. Macroecology, global change and the shadow of forgotten ancestors. *Global Ecology and Biogeography*. 17: 11 - 17.

Erasmus, B.F.N.; Van Jaarsweld, A.S.; Chown, S.L. *et al.*, , 2002. Vulnerability of South African animal taxa to climate change. *Global Change Biology*. 8: 679: 693.

Esri. 2004. ArcGis 9.2. New York.

Fielding A.H. How should be accuracy be measured? (1999) In: Fielding A.H, ed.. Machine learning methods for ecological applications. Boston: Kluwer.

Gubert Filho, F. Proposta para a criação de um sistema de unidades de conservação da *Araucaria angustifolia* no Estado do Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. v.3, p.287 - 300. Publicado na Silvicultura, n.42, 1990.

Gurgel, J.T.A.; Gurgel Filho, O.A. Evidências de raças geográficas no pinheiro - brasileiro, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.17, n.1, p.33 - 39, 1965.

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

Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*. 22: 415 - 427.

Joly, C.A.; Aidar, M.P.M.; Klink, C.A.; McGrath, D.G.; Moreira, A. G; Moutinho, P.; Nepstad, D.C.; Oliveira, A. A.; Pott, A.; Rodal, M.J.N. & Sampaio, E.V.S.B. 1999. Evolution of the Brazilian phytogeography classification systems: implications for biodiversity conservation. *Ciência e Cultura* 51(5/6):331 - 348.

Klein, R. M. 1978. Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina. *Flora ilustrada catarinense*. UFSC, Itajaí

Marengo, J. A. 2006. Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade. Ministério do Meio Ambiente, Biodiversidade 26, Brasília.

Ministério do Meio Ambiente. 2007. Inter - relações entre mudanças climáticas e biodiversidade, Biodiversidade 28, Brasília.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). 2008a. Instrução Normativa nº 6 de 23 de setembro de 2008.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). 2008b. Mapas de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros. Brasília.

MOBOT Tropicos. 2008. Missouri Botanical Garden. <http://www.tropicos.br> (último acesso em 05/11/2008).

Morellato, P. C.; Haddad, C. F. B. 2000. The Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica*: 32(4b): 786 - 792.

Nathan, R. 2006. Long - Distance Dispersal of Plants. *Science*. 313: 786 - 789.

Oliveira Filho, A. T. & Fontes, M.A.L. 2000. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forest in south - eastern Brazil, and the influence of climate. *Biotropica*32(4b): 793 - 810.

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

Peterson, A. T.; Ortega - Huerta, M.A.; Bartley, J. *et al.*, , 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*. 416 626 - 629.

Phillips, S.J., R.P. Anderson & Schapire, R.E. (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190:231 - 259.

- Reitz, R.; Klein, R.M. Araucariaceae. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 29p.
- Salis, S.M.; Shepherd, G.J. & Joly, C.A. 1995. Floristic comparison between mesophytic forests of the interior of the state of São Paulo, S.E. Brazil. *Vegetatio* 119:155 - 164.
- Scholkopf, B., Platt, J. C., Shawe - aylor, J., Smola, A. J. & Williamson, R. C. 2001. Estimating the support of a high - dimensional distribution. *Neural Computation*. 13: 1443 - 1471.
- Scudeller, V.V. 2002. Análise fitogeográfica da Mata Atlântica - Brasil. Tese de Doutorado, Pós - Graduação em Biologia Vegetal, IB, UNICAMP.
- Sutton, T. 2007. Openmodeller. <http://www.openmodeller.sourceforge.net>. (último acesso em 06/07/2008).
- Thuiller, W. 2004. Patterns and uncertainties of species range shifts under climate change. *Global Change Biology*. 10: 2020 - 2027.
- Torres, R. B.; Martins, F. R. & Kinoshita, L. S. 1997. Climate, soil and tree flora relationships in forests in the state of São Paulo, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 20 (1): 41 - 49.
- Wiens, J.J.; Graham, C.H. 2005. Niche conservatism: integrating evolution, ecology and conservation biology. *Annual Review of Ecology and Evolution Systematics*. 36: 519 - 539.