



# USO DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES PARA PREDIÇÃO DE IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE *DICKSONIA SELLOWIANA* (PRES.) HOOK.

Cardoso, M. S.<sup>1</sup>

Medeiros, M. B.<sup>2</sup>; Albuquerque, R. W.; Noronha, S. E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Asa Norte, 70910 - 900, Brasília-DF. <sup>2</sup> Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Telefone: (61) 3448 4653; e - mail: mahaliase@hotmail.com

## 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).

As respostas das espécies às mudanças climáticas podem incluir extinções, adaptações ou mudanças nas amplitudes de distribuição geográfica (Diniz - Filho & Bini 2008). A conservação de nicho, ou a tendência das espécies em reter características do nicho fundamental (sensu Hutchinson 1957), é um dos fatores que tornam as mudanças climáticas potencialmente impactantes para a biota mundial (Wiens & Graham 2005). Neste caso, após uma mudança ambiental, algumas espécies podem não persistir porque o ambiente ancestral não estará mais disponível ou se a dispersão for impossibilitada por barreiras ou por baixa capacidade de dispersão a longas distâncias. Por outro lado, espécies com respostas adaptativas rápidas às mudanças ambientais podem persistir sem alterações na amplitude de distribuição geográfica (Diniz - Filho & Bini 2008). Porém, estudos com extensivas bases de dados demonstraram que a maioria das espécies responde às mudanças climáticas com conservação de nichos, ao contrário de mudanças evolutivas rápidas para maior tolerância climática (Parmesan & Yohe 2003).

Considerando estes componentes que afetam a distribuição das espécies, mas ainda com ênfase principalmente no conceito de nicho fundamental (Pearson & Dawson 2003), o uso da modelagem tem permitido a simulação de impactos de mudanças climáticas sobre a biota (Araújo *et al.*, , 2005; Araújo *et al.*, , 2006; Algar *et al.*, , 2009), com muitas evidências de mudanças substanciais na distribuição

de muitas espécies (Peterson *et al.*, , 2002; Erasmus *et al.*, , 2002).

As espécies nativas localizadas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil e as áreas de elevadas altitudes certamente serão os mais afetados pela restrição de temperaturas ótimas para a manutenção das populações remanescentes. Os estudos sobre os efeitos das mudanças climáticas no Brasil, de acordo com o último relatório considerando diferentes cenários de emissão de gases efeito - estufa (Marengo 2006), estão apontando para aumentos de temperatura em várias regiões e, particularmente, para a região Sul, há tendências positivas nas temperaturas máximas e mínimas em níveis anual e sazonal, além de uma tendência ao aumento de precipitação.

Além disso, os remanescentes de Mata Atlântica ainda sofrem elevada pressão antrópica, apresentando um elevado número de fragmentos e vários padrões de fragmentação (Morellato & Haddad 2000). Para um dado ecossistema, comunidades funcionalmente diversas são mais prováveis de se adaptarem às mudanças climáticas e à variabilidade de clima do que comunidades empobrecidas (MMA 2007). Dessa forma, as espécies dos fragmentos remanescentes (geralmente, com menor diversidade) da Mata Atlântica apresentam, de forma geral, uma vulnerabilidade maior.

A espécie utilizada no estudo, *Dicksonia sellowiana*(Pres.) Hook., popularmente conhecida como samambaiçu - imperial, xaxim, xaxim - verdadeiro ou xaxim - bugio, é típica da Floresta Ombrófila Mista, localizada no domínio Mata Atlântica (Mantovani, 2004). Devido à perda da habitats e à exploração comercial sem critérios, a espécie também está na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção (MMA 2008a).

## OBJETIVOS

Este estudo teve por objetivo avaliar o impacto das mudanças climáticas em cenários futuros sobre a samambaia

arborescente *D. sellowiana*, por meio de modelos de distribuição de espécies, considerando o conceito de nicho fundamental.

## MATERIAL E MÉTODOS

A espécie *D. sellowiana* (Dicksoniaceae) ocorre nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, crescendo em altitudes que variam de 60 m (ao sul de sua área de distribuição, no RS) até 2200 m na Serra de Itatiaia, RJ, ocorrendo principalmente na Floresta Ombrófila Mista (Fernandes, 1999).

Esta formação florestal é adotada para a vegetação arbórea do planalto meridional brasileiro em razão do clima pluvial sem seca e da mistura de floras tropical e temperada. Entre as manchas de Floresta Ombrófila Mista ocorrem os Campos do Planalto, caracterizados como campos limpos, campos sujos e, algumas vezes, por uma floresta de transição (Klein 1978).

Os registros de presença (coordenadas geográficas) foram gerados através de observações de campo e bases de dados na Internet, incluindo MOBOT - Missouri Botanical Garden ([www.mobot.org](http://www.mobot.org)) e Species Link ([www.splink.cria.org.br](http://www.splink.cria.org.br)), totalizando 71 pontos de presença e 195 de ausência.

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).

A modelagem incluiu os modelos climáticos do IPCC, CCCMA, CSIRO e HadCM3, em cenários A2 (pessimista) e B2 (otimista), com projeções para os anos 2020, 2050 e 2080. Para a geração dos modelos foi utilizado o programa Openmodeller (Sutton 2007) com o algoritmo SVM - Support Vector Machine (Scholkopf *et al.*, 2001). Este algoritmo foi escolhido, entre as opções disponíveis no Openmodeller, porque representou melhor a distribuição atual da espécie considerando os dados de literatura.

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.

As Unidades de Conservação, classificadas nos níveis federal e estadual, também foram sobrepostas às áreas de distribuição potencial para avaliação do grau de potencial de conservação *in situ* atualmente. O cálculo da área dos remanescentes de Mata Atlântica nas áreas de distribuição potencial das espécies e a elaboração de mapas temáticos foram feitos através do programa ArcGis 9.2 (ESRI 2004). 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).

## RESULTADOS

O modelo de distribuição para o clima atual no algoritmo SVM da espécie *D. sellowiana* apresentou padrões semelhantes ao observado em literatura, abrangendo os estados do Paraná, Santa Catarina, norte do Rio Grande do Sul e sul de São Paulo. A área sobre a curva ROC (estatística AUC) apresentou valor 1 (100% de acurácia).

A área total calculada da distribuição potencial para o clima atual foi de 436325,50 km<sup>2</sup>, sendo aproximadamente 58% dominada por agricultura e pecuária. Considerando as classes de uso do solo caracterizadas como áreas mais efetivas para a manutenção de populações da espécie, 125217,22 km<sup>2</sup> compreendem à Floresta Estacional, Floresta Ombrófila, formações pioneiras e vegetação secundária.

Os três modelos utilizados, CCCMA, CSIRO e HadCM3, descreveram distribuição potencial semelhante nos diferentes cenários ao longo dos anos, deslocando toda a área de distribuição potencial da espécie para o extremo sul do Brasil, onde ocorre o bioma Campos Sulinos. Os resultados dos 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 *D. sellowiana*.

A média da altitude obtida do modelo para o presente foi de 731,72 ± 266,58 m. Já a média da altitude dos modelos futuros variou de 100 a 126 m. As médias da temperatura anual dos modelos futuros são próximas da média obtida do modelo para o presente, entre 18 e 19°C.

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 *D. sellowiana*.

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 *D. sellowiana*. Entretanto, a dispersão e migração em plantas ainda é um mecanismo controverso e a mobilidade deste grupo em função de mudanças climáticas pode ser maior do que convencionalmente se pensa (Araújo 2005).

Excluindo - se esta possibilidade de migração e considerando 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 *D. sellowiana* deve apresentar elevada probabilidade.

Estudos complementares para diminuir as incertezas de amplitude de distribuição geográfica em cenários futuros deverão ser desenvolvidos para *D. sellowiana*, considerando a utilização de um conjunto de algoritmos para redução de erros das predições (Thuiller 2004). Os diferentes métodos de modelagem ainda apresentam predições altamente divergentes para uma mesma espécie, mesmo quando as avaliações de acurácia parecem ser excelentes (Algar *et al.*, 2009), tornando necessária a busca por métodos de predição com mais convergência de resultados.

## CONCLUSÃO

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

Assim, o estabelecimento de ações de conservação *ex situ*, com germoplasma de populações provenientes de regiões com temperaturas mais elevadas, pode ser uma estratégia adequada para a manutenção da espécie.

Devem ser incluídos novos estudos para reduzir as incertezas decorrentes das modelagens com os cenários futuros, abrangendo um maior número de algoritmos para o estabelecimento de resultados mais convergentes e conservadores.

## REFERÊNCIAS

Algar, A.C.; Kharouba, H.M.; Young, E.R.; Kerr, J.T. 2009. Predicting the future of species diversity: macroecological theory, climate change, and direct tests of alternative forecasting methods. *Ecography*. 32: 22 - 33.

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

Araújo, M. B. 2005. Equilibrium of species' distribution with climate. *Ecography*. 28(5): 693 - 695.

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.

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 Jaarsveld, 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.

Fernandes, I. 1999. Taxonomia dos representantes de Dicksoniaceae no Brasil. *Rev. Pesquisas*, v.50.

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.

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.

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.

Schollkopf, B., Platt, J. C., Shawe - aylor, J., Smola, A. J. & Willianson, R. C. 2001. Estimating the support of a high - dimensional distribution. *Neural Computation*. 13: 1443 - 1471.

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.

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.