

Densidade de Drenagem e HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) do SRTM para modelagem de distribuição de espécie de palmeiras no Brasil

Luciana Satiko Arasato¹
Silvana Amaral¹
Arimatêa de Carvalho Ximenes¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brazil
{luarasato, silvana, arimatea}@dpi.inpe.br

Abstract: Modeling fundamental niche using species distribution modeling can be an alternative approach to study biodiversity, since it compensates the lack of complete data set about richness and distribution of species. Species distribution modeling is been used as a tool by biogeography, evolution, ecology, conservation of natural resource, and management of invasive species. The accuracy of this modeling process depends on the precision of the taxonomy and occurrence record of the species, and on the environmental dataset selected to describe the specie's physiological constraints. Remote sensing imagery contributes with important variables to describe the environment which defines the species fundamental niche. This work seeks to analyze the influence of two SRTM image sub-products: density of drainage and HAND, to modeling the distribution of a palm specie *Euterpe edulis* Mart in Brazil. *Euterpe edulis* is commonly known as *palmito juçara*, generally distributed along Atlantic Rainforest. Species occurrence records and environmental dataset were organized in TerraView, used also to generate the specie distribution model based on GARP best subset algorithm. As a comparison, Maxent algorithm was also used to evaluate the remote sensing variables. Maxent algorithm generates better distribution maps for *E.edulis* than GARP. Density of drainage and HAND variables could not substitute altitude, slope and aspect variables. However, the better result was obtained using all physical variables related to land form (altitude, slope, aspect, density of drainage, and HAND) to model *E.edulis* distribution.

Palavras-chave: SRTM, drainage density, HAND, species distribution modelling, biodiversity, remote sensing, palms, Maxent, GARP, openModeller.

1. Introdução

A modelagem do nicho fundamental é uma alternativa para suprir as dificuldades de uma amostragem completa da riqueza e distribuição da biodiversidade. Nos momentos atuais, os modelos preditivos de distribuição de espécies são importantes ferramentas para a biogeografia, evolução, ecologia, conservação e gerenciamento recursos naturais e espécies invasoras (Anderson et al, 2003, Mortara e Valeriano, 2001; Mortara, 2000).

Diversos algoritmos de modelagem de nicho ecológico tem sido aplicados para gerar modelos preditivos da distribuição de espécies. O algoritmo de Máxima Entropia, implementado e disponível na web como Maxent¹, tem sido muito citado na literatura (Phillips et al, 2006; Elith et al, 2007; Iwashita, 2008), tanto quanto o Algoritmo Genético para Produção de Regras (GARP) foi, considerando suas diferentes plataformas – DeskopGarp ou OpenModeller² (Anderson et al, 2003; Amaral et al, 2006). Para a modelagem, são necessários os dados de presença da espécie, sendo que para alguns algoritmos dados de ausência também são necessários, e um conjunto de variáveis ambientais associadas às restrições fisiológicas da espécie. Como resultado tem-se um mapeamento da distribuição potencial da espécie, representando o nicho fundamental no espaço geográfico.

Além do conhecimento da biologia e ecologia da espécie ou dos grupos de espécies que se está estudando, é necessário cuidar da origem dos dados de ocorrência, provenientes de coleções de história natural, coletas de campo, projetos, etc (ter Steege et al, 2006, Hopkins, 2007), definir a escala de trabalho com critério e escolher as variáveis ambientais a serem

¹ <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>

² <http://openmodeller.sourceforge.net/>

utilizadas (Phillips et al, 2006), favorecendo que o modelo resultante se aproxime o mais possível da realidade.

Coletar dados em campo é uma forma de se constituir um banco de dados para a modelagem. Porém, desta forma os dados se restringem a algumas poucas áreas, e os modelos serão tendenciosos para essas regiões. Dados provenientes de coleções de história natural (NHC – *natural history collections*) são uma alternativa aos dados de campo. Os registros de NHC, apesar dos esforços de coletas serem concentrados em algumas regiões (Hopkins, 2007; Schulman et al., 2007), as coleções reúnem informações mais diversificadas, provenientes de diversas áreas e projetos, sendo indicada para a modelagem em escalas mais gerais. Outra vantagem encontra-se no fato das coleções serem revisadas por especialistas dos grupos taxonômicos e a disponibilidade desses dados tem sido ampliada com os avanços e acesso da tecnologia da informação (Graham et al, 2004).

A estrutura da comunidade de plantas pode ser determinada por diversas variáveis bióticas ou abióticas, tais como topografia (Tuomisto et al, 2003), tipo de solo, textura do solo (Sousa, 2007), drenagem, fertilidade, relação com espécies vizinhas, altura do estipe (caule) (Ruokolainen e Vormisto, 2000), tamanho do fruto, etc. Para a escolha das variáveis ambientais, a escala de trabalho é determinante, pois para uma mesma região as variáveis que influenciam na estrutura e dinâmica da comunidade são diferentes, dependendo da escala de observação (Salm et al, 2007; Svenning, 2001). Poulsen et al (2006) destacam diversos estudos em diferentes regiões e escalas, e ressaltam a importância dos fatores ambientais na determinação da distribuição de espécies de plantas.

As palmeiras com sua forma e aspecto peculiar são componentes característicos da flora das florestas tropicais e subtropicais. São encontradas em todos os níveis estruturais da floresta, desde o sub-bosque até o dossel, e em uma ampla variedade de tipos de solo e topografia (Kahn e Castro, 1985). Essa família (Arecaceae) é considerada a maior do mundo, com cerca de 2600 espécies, e estima-se que existam cerca de 200 gêneros (Ribeiro et al, 1999; Lorenzi et al, 2004). No Brasil, existem diversas espécies distribuídas em todos os biomas, sendo uma importante fonte de alimentação e renda econômica para a população humana local. Segundo o IBGE (2006), entre os produtos não-madeireiros com maior produção em 2006 está o palmito, que é retirado principalmente da palmeira *Euterpe edulis* Mart. (popularmente conhecida como juçara). Sabe-se que é uma espécie abundante na Mata Atlântica, porém em algumas áreas, devido ao intenso extrativismo, esta espécie está extinta ou sua população se encontra em número muito reduzido. Assim, foram gerados diversos modelos da distribuição da *E. edulis* com os algoritmos Maxent e GARP *best subset*, para verificar a influência dos dados de SRTM, climáticos e bioclimáticos, assim como o potencial de predição dos modelos, já que é uma espécie com sua distribuição bastante conhecida.

2. Materiais e Métodos

Os modelos preditivos de distribuição da *E. edulis* com os algoritmos GARP *best subset* e Maxent, foram feitos para testar a influência dos dados de SRTM, bem como dos dados climáticos e bioclimáticos. Assim, um conjunto de dados de ocorrência georeferenciados da espécie foi compilado e selecionadas as variáveis que produziram o melhor modelo preditivo de distribuição. Os modelos gerados com diferentes conjuntos de variáveis bióticas ou abióticas foram comparados para verificar as influências das variáveis aos modelos.

2.1 Espécie estudada

A *Euterpe edulis* Mart. é uma árvore do gênero *Euterpe* que pertence à família Arecaceae (Palmae). Assim como outras palmeiras, esta espécie tem grande valor comercial e um dos produtos não madeireiros mais conhecidos, extraídos e comercializados: o “palmito” ou

“palmito-juçara” (IBGE, 2006; Fantini e Guries, 2007). Por esse motivo, em muitas regiões, a “juçara” teve sua população extinta ou enormemente reduzida.

A *E. edulis* tem estipe (caule) solitário e na parte superior encontra-se o palmito protegido pelas bainhas das folhas. A extração do palmito causa a morte da palmeira (Lorenzi, et al, 2004). Seu fruto globoso, de cor roxa a preta é fonte de alimentação de extrema importância para a fauna (Galetti e Aleixo, 1998). Esta espécie, também tem um grande potencial para se tornar fonte de exploração do suco de açaí da mata Atlântica, assim como já ocorre nas espécies amazônicas de mesmo gênero, *Euterpe precatória* e *Euterpe oleracea* (IPEMA, 2008). Além disso, essa árvore tem grande valor paisagístico (Lorenzi, et al, 2004).

Sabe-se que esta espécie ocorre desde Pernambuco até o Rio Grande do Sul, em toda extensão da Mata Atlântica, na região costeira do Brasil. Também pode ser encontrada no interior de São Paulo, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul, ligadas às matas de galeria, ou mata ciliares, da bacia do Rio Paraná, chegando até a Argentina e Paraguai (Lorenzi et al, 2004; Henderson et al, 1995).

2.2 Origem dos dados

O banco de dados de ocorrência da *Euterpe edulis* Mart partiu da idéia de que informações de coleções de história natural (CHNs) podem ser utilizadas para o conhecimento da diversidade, taxonomia e distribuição da biodiversidade (Graham et al, 2004). Os dados de ocorrência da espécie (somente presença) foram compilados de registros existentes e disponíveis na web em diversos herbários nacionais e internacionais. Para esta espécie, foram encontrados registros somente nos herbários da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia/CENAGEN (CEN), do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), do Jardim Botânico de São Paulo – IBt (SP) e Jardim Botânico de Nova Iorque (NY), além do projeto SpeciesLink³ desenvolvido pelo CRIA (Centro de Referência em informação ambiental). Os dados do herbário do Jardim Botânico foram obtidos diretamente com a curadora, uma vez que na web só estavam disponíveis os registros de tipos.

Foi obtido um total de 62 registros de presença *E. edulis* com coordenadas geográficas corretas, dos quais 75% (46 registros) foram separados aleatoriamente para a construção do modelo e os 25% restantes foram utilizados para a avaliação do mesmo. Estes registros foram organizados em um banco de dados geográficos, usando o software TerraView⁴.

2.3 Variáveis ambientais

A seleção das variáveis ambientais foi baseada na ecofisiologia da espécie e do grupo das palmeiras. A distribuição e diversidade das arecaceae dependem principalmente da disponibilidade de água, tanto no ar quanto no solo, da temperatura e da topografia (Salm, et al, 2007; Mortara e Valeriano, 2001; Mortara, 2000, Marcos e Matos, 2003).

Para a caracterização de todo o gradiente climático encontrado no Brasil, as variáveis climáticas e bioclimáticas foram obtidas a partir do projeto WordClim (Hijmans et al, 2005) com resolução espacial de 10 arc-minuto (aproximadamente 18,5 km). Para selecionar variáveis pouco correlacionadas, procedeu-se uma análise por redes neurais (Ximenes et al. submetido), da qual foram escolhidos os dados de temperatura, mínima e máxima, e precipitação dos meses de janeiro e julho. Esses dois meses, janeiro e julho, foram escolhidos por representarem, no geral, duas tendências de clima importantes para o ecossistema brasileiro: um frio e mais seco e outro quente e mais úmido. Também foram escolhidas 4 variáveis bioclimáticas que representam condições de sazonalidade e estações climáticas: temperatura média anual (bio1), sazonalidade de temperatura (bio4), precipitação dos meses mais secos (bio13) e sazonalidade da precipitação (bio15). Para a caracterizar a topográfica

³ <http://smlink.cria.org.br>

⁴ www.dpi.inpe.br/terraview

foram utilizadas imagens SRTM (em inglês, *Shuttle Radar Topography Mission*) de altitude, declividade e aspecto, com resolução de 0,0083 graus ou, aproximadamente, 1 km⁵.

Para atender o requisito de que a distribuição das palmeiras depende da disponibilidade de água outras duas variáveis associadas à hidrografia e relevo foram selecionadas para a modelagem: a distância vertical à drenagem mais próxima (HAND) e a densidade de drenagem (DensDren).

Rennó et al. (2008) desenvolveram um algoritmo chamado HAND (*Height Above the Nearest Drainage* ou distância vertical à drenagem mais próxima) baseado nos dados de SRTM-DEM. Essa variável descreve a distância vertical de cada ponto referente à drenagem mais próxima e pode ser detectada remotamente através da topografia da cobertura vegetal proveniente de dados de SRTM-DEM. Esse dado tem projeção latlong, datum WGS84 e resolução de 30 segundos de arco (aproximadamente 1km no equador). Para a geração do dado foi considerado um limiar de 100, ou seja, uma área de contribuição mínima de 100 pontos.

A densidade de drenagem foi gerada a partir da rede de drenagem fornecida pelo projeto HydroSHEDS⁶, que por sua vez deriva das imagens SRTM e tem resolução espacial de 3arc-segundos, ou aproximadamente 500m (Lehner et al, 2006). O algoritmo utilizado para o cálculo da densidade de drenagem foi o Kernel (Silverman, 1986, p.76, equação 4.5) implementado no programa ArcGis 9.2. Para tanto foi definido um raio de influência de 43.000 km², que gerou uma superfície suave e evidenciou regiões com drenagem complexas. A resolução final da grade de densidade de drenagem foi de 10 km (Ximenes, 2008).

2.4 Modelagem de distribuição de espécies

Os algoritmos Maxent (Entropia Máxima) e GARP (Algoritmo Genético para Produção de Regras) foram utilizados para a modelagem do potencial da distribuição da *Euterpe edulis*. Para o algoritmo Maxent foram mantidos os parâmetros padrões do algoritmo (**Tabela 1**), incluindo-se o arquivo com os dados para avaliação do modelo (Test sample file).

Tabela 1 – Parâmetros específicos do Maxent

Random test percentage	0
Regularization multiplier	1
Maximum iterations	500
Convergence threshold	0,00001
Max number of background points	10000

A versão do algoritmo GARP utilizado foi o “GARP best subset” implementado na plataforma OpenModeller⁷. Optou-se por utilizar o OpenModeller (OM) por sua interação com o TerraView, que facilita a comparação dos resultados e avaliar as influências das variáveis ambientais utilizadas. Para o GARP, também foram mantidos os parâmetros padrões do algoritmo (Tabela 2). Para teste do resultado da modelagem com o GARP, os dados de ocorrência corresponderam aos 46 registros (75%) separados anteriormente.

Para verificar a importância e influência das variáveis ambientais nos modelos de distribuição da *E. edulis*, foi utilizado o teste jackknife para os dados de treinamento, de teste e AUC (*area under curve*). Curvas ROC (*receiver operating characteristic*) foram usadas para verificar se o resultado da modelagem seria superior a resposta aleatória. Estas estatísticas são calculadas pelas ferramentas de pós-análise disponíveis no software do Maxent (Phillips et al, 2006).

⁵ <http://srtm.usgs.gov/>

⁶ <http://hydrosheds.cr.usgs.gov/>

⁷ <http://openmodeller.sourceforge.net/>

Tabela 2 – Parâmetros específicos do GARP *best subset*

Commission sample size	10000
Commission Threshold	50
Convergence limit	0,01
Hard Omission threshold	100
Max generations	400
Maximum number of threads	1
Models under omission threshold	20
Population size	50
Resamples	2500
Total runs	20
Training proportion	0,5

3. Resultados e Discussão

A partir da análise *jackknife* as seguintes variáveis foram selecionadas como as mais influentes para distribuição de *E. edulis*:

- variáveis climáticas: temperaturas mínima (temp. min) e máxima (temp. max) do mês de janeiro (1) e precipitação do meses de janeiro (prec1) e julho (prec7);
- variáveis bioclimáticas: bio4, bio13 e bio15;
- dados de SRTM: densidade de drenagem, hand, altitude, declividade e aspecto.

As variáveis bio4 (30,6%), temp. max1 (27,9%) e prec7 (13,6%) foram as variáveis que apresentaram as maiores contribuições para o modelo, sendo que a omissão das duas primeiras o prejudicaria, segundo a análise do *jackknife*. De acordo com Salm et al. (2007), a pressão de vapor, que é uma relação de umidade e temperatura, sazonalidade de temperatura e quantidade de dias secos são importantes para os modelos de riqueza para a família *Arecaceae*.

A AUC para este modelo (**Figura 1A**) foi de 98,4% e 98,9% para os dados de treinamento e teste, respectivamente, mostrando-se um bom modelo. Na Figura 1A, observa-se que o modelo gerado pelo Maxent, com as variáveis acima selecionadas, foi capaz de produzir um modelo de predição da distribuição da *E. edulis* de acordo com a distribuição citada pela literatura (Lorenzi et al, 2004; Henderson et al, 1995). Portanto, verifica-se que realmente, a *E. edulis* tem sua distribuição associada, principalmente, a mata Atlântica e as regiões próximas à bacia hidrográfica do rio Paraná. Os limites mais ao Sul, atingiram regiões até o Paraguai e Argentina, como previsto pela literatura. Mais a oeste do continente (base dos Andes), o modelo indicou uma região de possibilidade de ocorrência da espécie, porém não há registro na literatura nesse local. Esse fato pode estar associado a dois motivos: (1) essa região pode ser realmente uma região em potencial da ocorrência da *E. edulis*, da qual apresenta as mesmas condições de habitats encontrados regiões de encosta e no entorno da bacia do rio Paraná. Contudo, essa espécie por alguma barreira ainda não teve acesso à área; ou (2) o conjunto de variáveis ou o algoritmo não foram capazes de definir corretamente os limites oeste do potencial de distribuição dessa palmeira.

Apesar de manter em geral, os mesmo limites de ocorrência da palmeira, o modelo de predição de distribuição da *E. edulis* gerado pelo algoritmo GARP (**Figura 1B**) generalizou as áreas de maior probabilidade de ocorrência da palmeira. Como o resultado obtido com o algoritmo GARP não representou minimamente a distribuição da *E. edulis*, este não foi utilizado para a análise das influências, apesar de ser um algoritmo bastante citado na literatura.

A densidade de drenagem se apresentou uma variável com baixa contribuição para o modelo (3,3%), contudo ela definiu alguns limites do modelo de distribuição da palmeira juçara (**Figura 2A e 2B**) e, a partir da análise de *jackknife*, com a omissão dessa variável há uma piora no desempenho de predição do modelo.

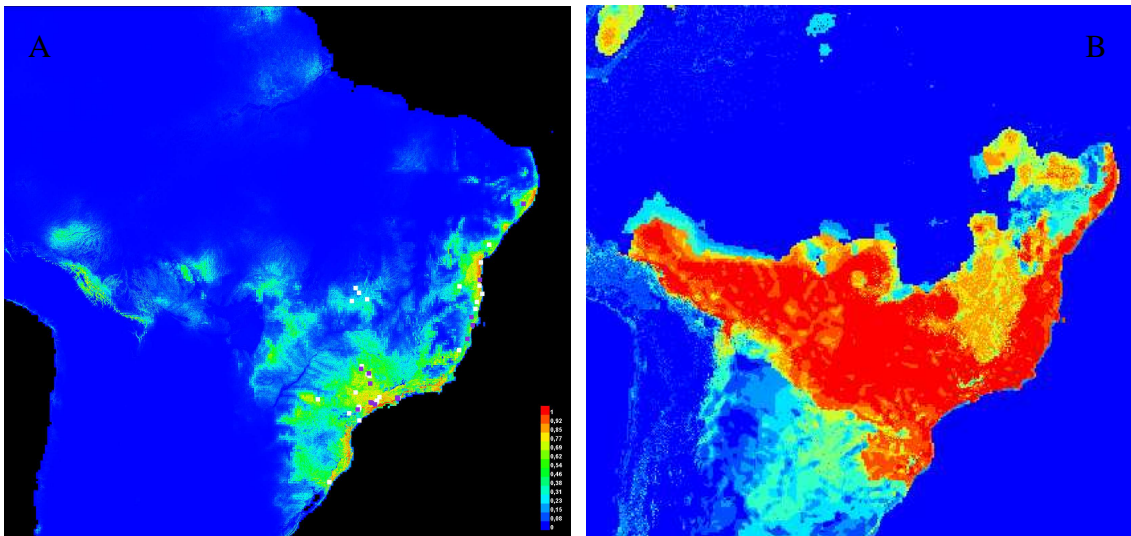


Figura 1 – Modelos do potencial de distribuição da *Euterpe edulis* Mart gerados com diferentes algoritmos. Variáveis utilizadas nos dois modelos: precipitação do mês de janeiro e julho; temperatura mínima e máxima de janeiro; bioclimáticas 4, 13 e 15; densidade de drenagem, hand, altitude, declividade e aspecto. Algoritmos utilizados: (A) Maxent; (B) GARP.

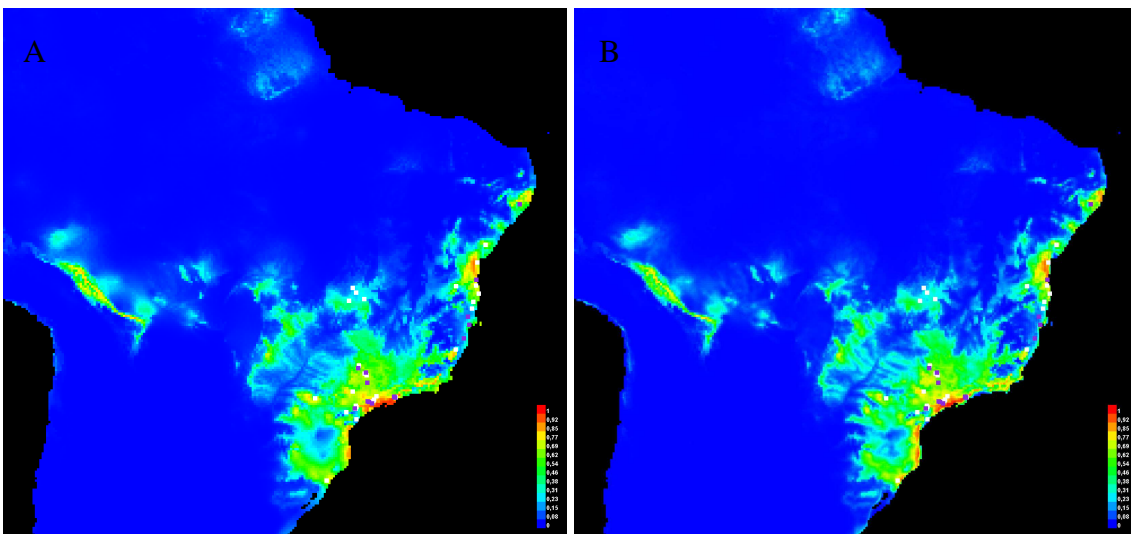


Figura 2 – Influência da variável densidade de drenagem nos modelos de predição do potencial de distribuição da *Euterpe edulis* Mart. produzidos com o Maxent. Modelos gerados com: (A) apenas com variáveis climáticas e bioclimáticas selecionadas; (B) mesmas variáveis de (A) incluindo a densidade de drenagem.

Comparando-se os dois modelos da **Figura 3**, gerados com a omissão do HAND (**Figura 3A**) e das variáveis de altitude, declividade e aspecto (**Figura 3B**), parecem muito semelhantes. Porém, essas variáveis se apresentaram complementares para o modelo, pois o melhor modelo resultou do uso conjunto de todas as variáveis de relevo, incluindo hand e densidade de drenagem (**Figura 1A**).

Para todos os modelos, as curvas ROC indicaram bons resultados. Todos os valores de AUC foram cerca de 0,9, tanto para os dados de treinamento quanto de teste. Contudo, como esta avaliação depende da área para qual o modelo foi projetado, a avaliação visual dos modelos, considerando o conhecimento da espécie e das referências da literatura, foi o critério preponderante para avaliação final dos resultados.

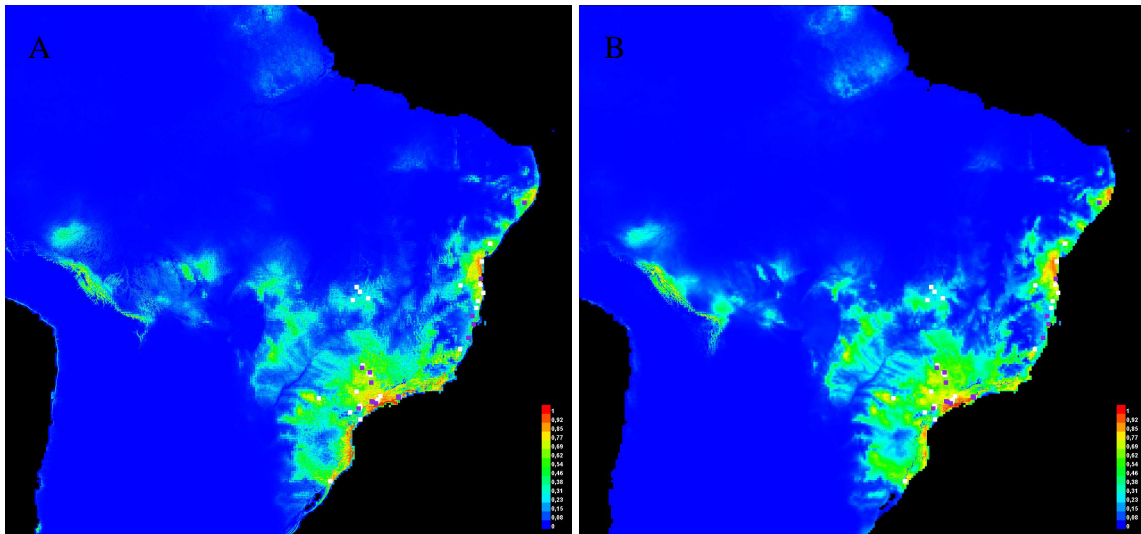


Figura 3 – Influência dos dados de SRTM nos modelos de predição do potencial de distribuição da *Euterpe edulis* Mart. produzidos com o Maxent. Os dois modelos foram gerados com variáveis climáticas, bioclimáticas e densidade de drenagem. Dados de SRTM utilizados: (A) de altitude comumente utilizadas (altitude, declividade e aspecto); (B) HAND.

4. Conclusões

Apesar dos dados provenientes de NHC apresentarem tendências de coletas, estes são boas fontes de dados para modelagem de distribuição de espécie.

A distribuição da *Euterpe edulis* Mart., mostrou-se realmente dependente da sazonalidade de temperatura (bio4) e a disponibilidade de água (prec e densidade de drenagem), nesta ordem, conforme indicado pela literatura.

Os dados provenientes de SRTM, densidade de drenagem e HAND não foram suficientes para substituir outras variáveis de relevo. Contudo, o melhor modelo foi o resultante do uso conjunto das variáveis altitude, declividade, aspecto, densidade de drenagem e hand para definir os limites de distribuição da palmeira estudada.

Este trabalho deverá ter continuidade, explorando outros dados de sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento em estudos de biodiversidade baseados em modelagem de distribuição de espécies de palmeiras no Brasil.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP, pelo apoio financeiro, a dra. Simey Thury Vieira Fish (Universidade de Taubaté) especialista em palmeiras, pela avaliação dos modelos de distribuição e ao Dr. Camilo Rennó (DPI/INPE), pela colaboração no geração e uso da variável HAND.

Referências Bibliográficas

- Amaral, S.; Costa, C. B.; Rennó, C. D. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) improving species distribution models: an example with the neotropical genus *Coccocypselum* (Rubiaceae). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2275-2282. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-14684-PRE/9658). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.14.30>>. Acesso em: 17 nov. 2008
- Anderson, R.P.; Lew, D.; Peterson, A.T. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. **Ecological Modelling**, v.162, p.211-232, 2003.
- Elith, J., Graham, C.H.; NCEAS Modeling Group. Novel methods improve prediction of species? Distributions from occurrence data. **Ecography**, v.29, n. 2, p. 129-151, 2006.

- Fantini, A.C.; Guries, R.P. Forest structure and productivity of palmitero (*Euterpe edulis* Martius) in Brazilian Mata Atlântica. **Forest Ecology and Management**, 242, pp. 185-194, 2007.
- Galleti, M.; Aleixo, A. Effects of palm heart harvesting on avian frugivores in the Atlantic rain Forest of Brazil. **Journal of Applied Ecology**, v.35, pp. 286-293, 1998.
- Graham, C. H.; Ferrier, S.; Huettman, F.; Moritz, C.; Peterson, A. T. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. **TRENDS in Ecology and Evolution**, v. 19, n. 9, p. 497-503, 2004.
- Henderson, A.; Galeano, G.; Bernal, R. **Field Guide to the Palms of the Americas**. New Jersey: Princeton University Press, 1995. 352p.
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones, A. Jarvis. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 1965-1978, 2005.
- Hopkins, M.J.G. Modelling the known and unknown plant biodiversity of the Amazon Basin. **Journal of Biogeography**, v.34, pp. 1400-1411, 2007.
- IBGE. Comentários. **Produção da Extração Vegetal e Silvicultura**, Rio de Janeiro, v. 21, p.10-21, 2006.
- IPEMA. **Juçara e a preservação da mata Atlântica**. Instituto de Permacultura e Ecovilas da Mata Atlântica, 2008. Disponível em: < <http://www.ipemabrazil.org.br/noticias/pda.htm> >. Acesso em: 4 de nov de 2008.
- Iwashita, F. **Sensibilidade de modelos de distribuição de espécies a erros de posicionamento de dados de coleta**. 2007. 103 p. (INPE-15174-TDI/1291). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtcm17@80/2007/06.13.12.04>>. Acesso em: 03 nov. 2008.
- Kahn, F.; Castro, A. The palm community in a forest of central Amazonia, Brazil. **Biotropica**, v.17, pp. 210-216.
- Lehner, B.; Verdini, K.; Jarvis, A. **HydroSHEDS – Technical Documentation. Versão 1**. 2006, p.27. Disponível em: < http://gisdata.usgs.net/HydroSHEDS/downloads/HydroSHEDS_TechDoc_v10.pdf >. Acesso em: 20 de out de 2008.
- Lorenzi, H.; Souza, H.M.; Costa, J.T.M.; Cerqueira, L.S.C.; Ferreira, E. **Palmeiras Brasileiras e Exóticas Cultivadas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2004. 432p.
- Marcos, C.S.; Matos, D.M. Estrutura de populações de palmitero (*Euterpe edulis* Mart.) em áreas com diferentes graus de impactação na floresta da Tijuca, RJ. **Floresta e Ambiente**, v.10, n.1, 2003.
- Mortara, M. O. **Modelagem da distribuição potencial do palmitero (euterpe edulis Martius) em região montanhosa a partir de variáveis topográficas**. 2000. 157 p. (INPE-8857-TDI/805). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.
- Mortara, M. O.; Valeriano, D. M. Modelagem da distribuição potencial do palmitero (*Euterpe edulis* Martius) a partir de variáveis topográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 459-471. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00016-1. (INPE-8292-PRE/4082). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/lise/2001/09.14.15.54>>. Acesso em: 30 out. 2008.
- Phillips, S.J.; Anderson, R.P.; Schapire, R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v.190, pp.231-259. 2006.
- Poulsen, A.D.; Tuomisto, H.; Balslev, H. Edaphic and floristic variation within a 1-ha of lowland Amazonian rain forest. **Biotropica**, v.38, n.4, pp.468-478. 2006.
- Rennó, C.D.; Nobre, A.D.; Cuartas, L.A.; Soares, J.V.; Hodnett, M.G.; Tomasella, J.; Waterloo, M.J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v.112, pp. 3469-3481, 2008.
- Ribeiro, J.E.L.S., Hopkins, M.J.G., Vicentini, A., Sothers, C.A., Costa, M.A.S., Brito, J.M., Souza, M.A., Martins, L.H., Lohmann, L.G., Assunção, P.A.C.L., Pereira, E.C., Silva, C.F., Mesquita, M.R., Procópio, L.C. **Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**. Manaus: INPA, 1999, 816p.
- Ruokolainen, K; Vormisto, J. The most widespread Amazonian palms tend to be tall and habitat generalists. **Basic Appl. Ecol**, v.1, pp. 97-108, 2000.

- Salm, R.; Salles, N.V.; Alonso, W.J.; Schuck-Paim, C. Cross-scale determinants of palm species distribution. **Acta Amazonica**, v.31, n.1, pp. 17-26, 2007.
- Schulman, L.; Toivonen, T.; Ruokolainen, K. Analysing botanical collecting effort in Amazonia and correcting for it in species range estimation. *Journal of Biogeography*, v.34, pp.1388-1399, 2007.
- Silverman, B.W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. New York: Chapman and Hall, 1986. 176p.
- Sousa, T.E.L. Distribuição de palmeiras (Arecaceae) no longo de gradientes ambientais no baixo interflúvio Purus-Madeira, Brasil. 2007. 33p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas, area de concentração em Ecologia) - INPA/UFAM, Manaus. 2007.
- Svenning, J.C. On the role of microenvironmental heterogeneity in the ecology and diversification of neotropical rain-forest palms (Arecaceae). **The Botanical Review**, v.67, n.1, pp.1-53, 2001.
- ter Steege, H.; Pitman, N.C.A.; Phillips, O.L.; Chave, J.; Sabatier, D.; Duque, A.; Molino, J.F.; Prévost, M.F.; Spichiger, R.; Castellanos, H.; von Hildebrand, P.; Vasquez, R. Continental-scale patterns of canopy tree composition and function across Amazônia. **Nature**, v. 443, pp.444-447, 2006.
- Tuomisto, H.; Ruokolainen, K.; Aguilar, M.; Sarmiento, A. Floristic patterns along a 43-km long transect in a Amazonian rain forest. **Journal of Ecology**, v.91, pp.743-756, 2003.
- Ximenes, A. C. **Mapas auto-organizáveis para a identificação de ecorregiões do interflúvio Madeira-Purus: uma abordagem da biogeografia ecológica**. 2008-06-05. 155 p. (INPE-15332-TDI/1372). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008. Disponível em: < <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/08.18.14.02> >. Acesso em: 28 out. 2008.
- Ximenes, A.C.; Arcoverde, G.F.B.; Amaral, S. ; Monteiro, A.M.V. **Redes neurais para a seleção de variáveis ambientais no processo de modelagem de distribuição de espécies na região Norte do Brasil**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, 2009(submetido).