

Geoprocessamento e Biodiversidade: contribuições para a modelagem da distribuição de palmeiras Amazônicas

Luciana Satiko Arasato¹
Silvana Amaral¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{luarasato, silvana}@dpi.inpe.br

Abstract. This work contributes to the knowledge of the Amazonian biodiversity, specifically regarding the climate and environmental characteristic that have influenced the geographical distribution of the Brazilian Amazonian palms. The main goal was to highlight the importance of both remote sensing (RS) data to characterize the palm ecological niche, and geoprocessing tools to obtain and validate distribution maps from potential species distribution modeling (SDM). We selected 21 palm species typical of the Brazilian Amazon that contained at least 10 occurrence points available to generate its SDMs considering the current climate. For each species, from the environmental variables available for the Amazon we first identified a unique subset of variables, according to the species ecology and physiology, avoiding auto-correlation. Applying binary thresholds over the SDMs, we produced the maps of palm species occurrence. Overlaying historical distribution maps with the resulting modeling maps, only two species did not match with the literature reference. A map of palm species richness was the result of summing individual species occurrence maps, depicting the richness distribution along endemism regions in Amazon. Variables derived from remote sensing were essential to characterize the physical environment, especially the topography and soil moisture, both from the SRTM data. Geoprocessing procedures such as reclassification, georeferencing, overlaying, and algebra over maps were essential to characterize the spatial distribution of biodiversity. Even though we have only tested 21 species from 189 Amazon palms, our results evidenced the dependence of SDM approaches on RS data and geoprocessing procedures to characterize the spatial distribution of species diversity.

Palavras-chave: species distribution modelling (SDM), Arecaceae, Legal Amazonian, environmental variable, geoprocessing, remote sensing.

1. Introdução

A Amazônia está localizada em uma área de clima considerado como tropical e bastante úmido. Esta região representa cerca de 61% do território brasileiro (SUDAN, 2010). Entre o complexo vegetacional existente na região, tem-se a Amazônia e o Cerrado, que estão entre áreas de maiores diversidade no Brasil (MMA, 2002).

A criação de Unidades de Conservação, que hoje protegem cerca de 20% da Amazônia, tem sido uma alternativa para a preservação das áreas naturais e uma forma de inibir, o avanço do desmatamento e outras pressões antrópicas (Veríssimo et al., 2011). Mesmo com os esforços para a conservação, o desmatamento ainda está presente em altas taxas. Segundo o INPE, entre 2009 e 2010, ocorreu uma perda de 6.451km² da vegetação natural da Amazônia (INPE, 2010). Além da perda de áreas naturais, sua biodiversidade também está ameaçada pelas mudanças no clima mundial, que impõem rápidas variações nas condições ambientais e nos nichos ecológicos que a flora e fauna precisam se adaptar para sua sobrevivência. A modelagem do nicho ecológico de diversos grupos e previsões para cenários futuros aliados com estudos filogeográficos ajudam a melhorar a compreensão da influência do clima sob os ambientes naturais, como as florestas Amazônicas (Aleixo et al., 2010).

Os modelos preditivos de distribuição de espécies são importantes ferramentas para estudos de biogeografia, evolução, ecologia, conservação e gerenciamento de recursos naturais e de espécies invasoras (Anderson et al., 2003). Entre os algoritmos disponíveis para modelagem preditiva da distribuição de espécies baseada em nicho ecológico, os algoritmos de Entropia Máxima (Maxent) e *Genetic Algorithm for Rule Set Production* (GARP) são os mais frequentemente utilizados, por necessitarem apenas da presença das espécies como

dados de entrada do modelo (Anderson et al., 2003; Amaral et al., 2007; Elith et al., 2006;; Phillips et al., 2006).

O conjunto de variáveis ambientais necessário para a modelagem potencial da distribuição de espécies está diretamente relacionado à ecologia e fisiologia da espécie ou do grupo a ser estudado. Assim, a escolha das variáveis ambientais que serão usadas para a modelagem potencial de distribuição do nicho ecológico é dependente da espécie a ser estudada.

As palmeiras são plantas da família Arecaceae e apresentam sua distribuição quase exclusiva nas regiões tropicais e subtropicais (APGIII, 2009; Henderson et al., 1995). Apresentam uma arquitetura de copa e forma bastantes características, o que facilita sua identificação em campo e contribui para sua utilização a partir de dados de sensoriamento remoto (Arasato et al., 2011). Giuliatti et al. (2005) estimam que no Brasil existam cerca de 36 gêneros com 195 espécies. Na floresta, muitas espécies de palmeiras são essenciais para a alimentação e sobrevivência das aves e outros animais (Lorenzi et al., 2004). Para o homem, esta família apresenta grande importância econômica pela grande variedade de produtos que são explorados: todas as partes da planta, desde folha, fruto, tronco, meristema, etc., podem ser utilizadas (Joly, 1983). Na Amazônia, a *Euterpe oleraceae* Mart. e *Euterpe precatoria* Mart., por exemplo, são amplamente conhecidas devido a polpa de seus frutos, o açaí. Este trabalho pretende contribuir para o conhecimento da biodiversidade da região Amazônica e das condições climáticas e ambientais que podem influenciar a distribuição das palmeiras Amazônicas. Nosso objetivo principal é destacar a importância de dados de sensoriamento remoto para gerar modelos de distribuição potencial de palmeiras na Amazônia, baseado no conceito de nicho ecológico, e das técnicas de geoprocessamento para análise e validação destes modelos.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

Neste trabalho, a modelagem de distribuição potencial de espécies foi realizada considerando a região Amazônia Legal no Brasil, que compreende as coordenadas 20°S a 5°N e 75°W a 40°W, aproximadamente.

2.2 Modelagem da distribuição potencial de palmeiras

Os modelos de distribuição potencial das espécies (MDE) de palmeiras na Amazônia foram gerados a partir do algoritmo Maxent e considerados as condições ambientais atuais.

O banco de dados com registros de palmeiras (família Arecaceae) foi construído a partir de dados existentes na web em alguns dos principais herbários nacionais e internacionais entre os anos de 2007 a 2008. Foram obtidos 2637 registros no total com coordenadas geográficas corretas, que foram organizados em um banco de dados geográficos (Arasato et al., 2008), usando o sistema TerraView (TerraView 3.6.0, 2010). Deste banco, foram separadas 21 espécies de palmeiras que apresentaram 10 ou mais registros para a geração dos modelos potenciais de distribuição de espécies (Tabela 1).

Tabela 1. Espécies de palmeiras selecionadas para a geração dos modelos de distribuição potencial na região Amazônica e o número de ocorrências totais de cada espécie.

ID	Espécie	nº de ocorrências
1	<i>Mauritiella aculeata</i> (Kunth) Burret	11
2	<i>Mauritiella armata</i> (Mart.) Burret	17
3	<i>Attalea maripa</i> (Aubl.) Mart.	10
4	<i>Astrocaryum vulgare</i> Mart.	10
5	<i>Bactris concinna</i> Mart.	10
6	<i>Bactris elegans</i> Barb.Rodr.	10
7	<i>Bactris maraja</i> Mart.	40

8	<i>Bactris oligocarpa</i> Barb.Rodr.	11
9	<i>Barcella odora</i> (Trail) Drude	10
10	<i>Socratea exorrhiza</i> (Mart.) H. Wendl.	23
11	<i>Chamaedorea pauciflora</i> Mart.	16
12	<i>Chamaedorea pinnatifrons</i> (Jacq.) Oerst.	12
13	<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	15
14	<i>Euterpe precatoria</i> Mart.	16
15	<i>Geonoma brongniartii</i> Mart.	16
16	<i>Geonoma camana</i> Trail	12
17	<i>Geonoma deversa</i> (Poit.) Kunth	45
18	<i>Geonoma leptospadix</i> Trail	15
19	<i>Geonoma macrostachys</i> Mart.	46
20	<i>Geonoma maxima</i> (Poit.) Kunth	32
21	<i>Geonoma stricta</i> (Poit.) Kunth	76

A família Arecaceae tem sua distribuição e diversidade relacionadas à disponibilidade de água, tanto no ar quanto no solo, da temperatura e da topografia (Bjorholm et al, 2006; Eiserhardt et al., 2011; Mortara e Valeriano, 2001; Salm et al., 2007).

Para a caracterização de todo o gradiente climático encontrado na Amazônia Legal, as variáveis climáticas e bioclimáticas foram obtidas a partir do projeto WorldClim (Hijmans et al., 2005) com resolução espacial de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km). Além das necessidades ambientais da família descritas na literatura, as variáveis ambientais foram selecionadas pelos seguintes critérios: 1) variáveis apresentaram algum valor no teste de importância de permutação; 2) variáveis apresentaram valores maiores que 1% na porcentagem de contribuição; 3) entre as variáveis correlacionadas, escolheu-se a que apresentou maior importância no valor de permutação; 4) variáveis importantes no teste de jackknife. Do projeto WordClim foram utilizadas as 67 variáveis disponíveis, relacionadas ao clima atual de: temperatura média (12), mínima (12) e máxima (12), precipitação (12) e variáveis bioclimáticas (19).

Para a caracterização da topografia foram utilizados os dados de altitude e declividade, provenientes do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km no equador).

A distância vertical à drenagem mais próxima utilizada foi gerada a partir do algoritmo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) desenvolvido por Rennó et al. (2008). Como o HAND está associado à hidrografia e relevo foi utilizada para atender ao requisito de que a distribuição das palmeiras depende da disponibilidade de água. Esta variável baseia-se nos dados de SRTM-DEM, e descreve a distância vertical de cada ponto à drenagem mais próxima (Rennó et al., 2008). Esse dado se apresenta em coordenadas geográficas, datum WGS84 e resolução de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km no equador). Um limiar de 100, ou seja, uma área de contribuição mínima de 100 pontos foi considerada para a geração da rede de drenagem de referência.

As variáveis ambientais foram adquiradas a partir do AMBDATA (<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/>), em coordenadas geográficas (projeção LatLong), datum WGS84, com resolução de 1 km (aproximadamente). Os recortes utilizados para a Amazônia foram: 5°16'11,65"N e 18°02'44,99"S de latitude e 74°00'14,98"W e 43°59'19,3"W de longitude.

Para este trabalho optou-se pela utilização do algoritmo de entropia máxima, o Maxent, disponível no software de mesmo nome Maxent. O Maxent é um algoritmo determinístico que converge para uma distribuição de probabilidade ótima, ou de máxima entropia, quando não se conhece a real distribuição de probabilidade da espécie (Phillips et al., 2006). Foram mantidos os parâmetros padrões do algoritmo, com o máximo de 500 iterações, limite de convergência igual a 0,00001, e 10.000 pontos no máximo como background. O dado de saída é um arquivo no formato raster, ou seja, uma superfície com valores contínuos de probabilidade das condições ambientais favoráveis para o estabelecimento da espécie.

2.3 Mapeamento da distribuição e riqueza das palmeiras Amazônicas

As áreas de ocorrência das palmeiras na Amazônia foram delimitadas a partir dos modelos de distribuição potencial das espécies (MDE), considerando as regiões onde os modelos indicaram os nichos ecológicos mais adequados para a ocorrência das espécies modeladas. Os MDEs foram classificados em 1 (um), para as áreas onde indicaram os maiores potenciais de ocorrência do nicho para a espécie e zero, caso contrário. A escolha dos limites entre as duas classes foi feita seguindo Pearson et al. (2007), pelo “menor valor de limiar de presença” (*lowest presence threshold value – LPT*). Neste caso, os limites de presença para a geração dos mapas binários foram determinados considerando o menor valor de probabilidade predito associado aos dados de presença da espécie. Esta abordagem é conservativa, e identifica a área mínima predita possível, evitando o erro de omissão para o conjunto de teste (Pearson et al., 2007).

A avaliação dos MDEs foi feita pela comparação dos mapas binários de presença e ausência das espécies, gerados a partir dos MDEs, com os mapas de distribuição da espécie publicados por Henderson et al. (1995), com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento. Os mapas de distribuição da literatura para cada espécie (Henderson et al., 1995) foram escaneados, salvos como imagem no formato “.tif” e georreferenciados. A comparação dos mapas foi feita pela sobreposição dos mapas binários e os mapas de referência da literatura georreferenciados em um sistema de informação geográfica. Este procedimento visou avaliar a exatidão e a precisão das áreas de presença formadas a partir dos MDEs em relação às áreas de ocorrência da espécie indicados por Henderson et al. (1995). A forma das áreas de presença da espécie, também foi analisada diante dos resultados da sobreposição dos mapas em ambiente SIG.

Para identificar as áreas de ocorrência comum às espécies estudadas na Amazônia, fez-se uma soma dos modelos individuais classificados em áreas presença e ausência. Deste modo, além das regiões potenciais de ocorrência de cada espécie de palmeira, pode-se obter uma indicação das regiões potenciais de riqueza de palmeiras, considerando o conjunto de espécies estudadas.

3. Resultados e Discussão

A partir do critério de seleção adotado, para cada espécie obteve-se um conjunto particular de variáveis que foram importantes para a construção do modelo de distribuição (Tabela 2). No geral, pôde-se observar que as variáveis relacionadas com a disponibilidade de água (precipitações, bioclimáticas relacionadas à precipitação e HAND100) e caracterização do terreno (altitude, declividade, exposição e HAND100) foram as mais frequentes nos conjuntos de variáveis ambientais. A variável distância vertical em relação à drenagem mais próxima (HAND100), que é relacionada com a disponibilidade de água no solo, não se apresentou importante para a caracterização das áreas potenciais de ocorrência do nicho ecológico apenas da *Mauritiella aculeata* (Kunth) Burret, *Bactris concinna* Mart., *Barcella odora* (Trail) Drude e *Euterpe oleracea* Mart..

Dentre as variáveis climáticas, as variáveis bio 4 (sazonalidade de temperatura), bio 19 (precipitação do trimestre mais frio), bio 15 (sazonalidade de precipitação), bio 18 (precipitação do trimestre mais quente) e precipitação do mês de novembro foram as variáveis significativas mais frequentes entre os conjuntos de variáveis ambientais para as espécies estudadas.

Para Eiserhardt et al. (2011) as variáveis importantes para determinação da distribuição das palmeiras depende da escala espacial observada. Em escala regional a mundial, o clima e topografia estão entre as variáveis que influenciam a distribuição do grupo. A pressão de vapor (medida da umidade do ar modulada pela temperatura) e sazonalidade de temperatura estão entre as variáveis que apresentam forte influencia na distribuição de palmeiras (SALM

et al., 2007). Vormisto et al. (2004) relacionaram a topografia e algumas características do solo com as diferenças na distribuição das palmeiras na Amazônia.

Tabela 2. Variáveis ambientais selecionadas para a geração dos modelos de distribuição de cada espécie (ID da Tabela 1) de palmeira estudada.

Variáveis	Espécie (ID)																					TOT	Variáveis	Espécie (ID)																					TOT
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Altitude	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18	prec10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	
Declividade	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	prec11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	
Exposição	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18	prec12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hand100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	tmax01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8
bio02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	tmax02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
bio03	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	tmax03	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
bio04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	tmax04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
bio05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	tmax05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
bio07	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	tmax06	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
bio11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	tmax07	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4
bio12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	tmax09	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
bio13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	tmax10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4
bio14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	tmax11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
bio15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	tmax12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
bio16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	tmean02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
bio17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	tmean05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
bio18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	tmean08	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
bio19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	tmean09	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
prec01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	tmean10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
prec02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	tmin01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
prec03	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	tmin02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
prec04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	tmin03	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
prec05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	tmin04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
prec06	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	tmin05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
prec07	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	tmin09	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
prec08	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	tmin11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
prec09	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	tmin12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Dos 21 MDEs obtidos a partir do algoritmo Maxent para as palmeiras Amazônicas, apresentam-se como exemplos, os resultados para *Astrocaryum vulgare* Mart. (Figura 1a) e *Barcella odora* (Trail) Drude (Figura 1b). Os MDEs são superfícies contínuas, apresentando valores de uma distribuição de probabilidade relacionados às condições mais favoráveis para a ocorrência destas espécies.

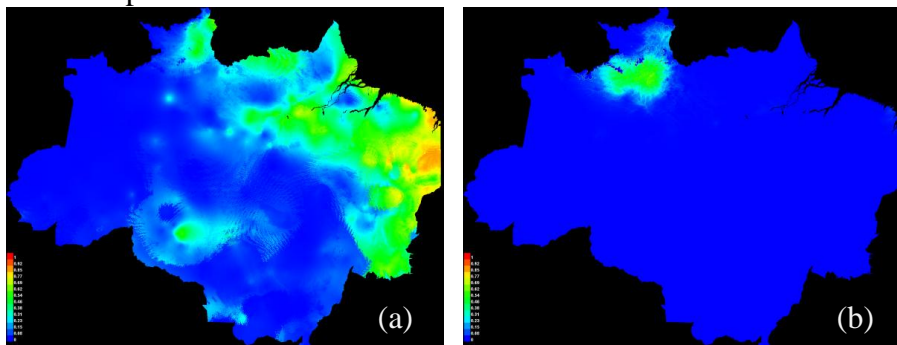


Figura 1. Modelos de distribuição potencial de *Astrocaryum vulgare* Mart. (a) e *Barcella odora* (Trail) Drude (b) gerados pelo algoritmo Maxent. Cores quentes (amarelo ao vermelho) representam valores maiores de probabilidade e cores frias (verde a azul) menores valores de probabilidade de potencial de ocorrência do nicho ecológico das espécies.

Os mapas binários de ocorrência das palmeiras foram obtidos aplicando-se os limiares de binarização sobre os MDEs. Áreas que apresentaram valores acima do limiar definido no MDE foram consideradas áreas de presença da espécie (valor 1) e valores abaixo do limiar foram consideradas áreas de ausência (valor zero). Estes mapas binários foram então comparados aos mapas de distribuição das espécies publicados em 1995 (Henderson et al. 1995), numa mesma base georreferenciada, de modo a classificar os modelos como adequado, razoável ou inadequado.

Para as espécies *Mauritiella aculeata* (Kunth) Burret (Figura 2a) e a *Bactris oligocarpa* Barb.Rodr. (Figura 2b) de resultados considerados inadequados, as variáveis ambientais utilizadas não foram suficientes para descrever o nicho ecológico da espécie. Como alternativa, sugere-se buscar outras variáveis, ou incrementar os dados de ocorrência destas espécies para melhorar o resultado da modelagem.

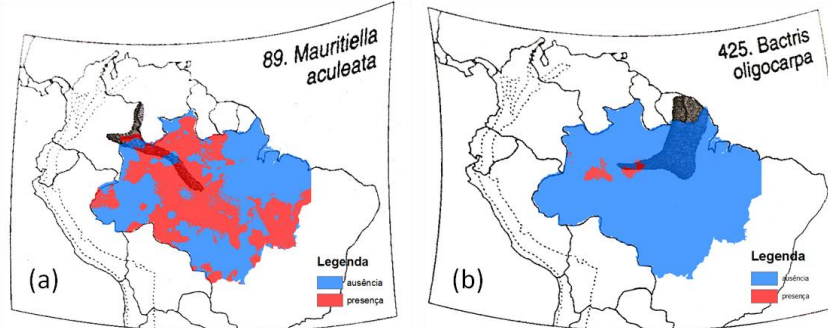


Figura 2. Sobreposição dos mapas binários e os mapas de Henderson et al. (1995): (a) *Mauritiella aculeata* e (b) *Bactris oligocarpa*.

Como para as espécies *Geonoma stricta* (Poit.) Kunth (Figura 3a) e *Mauritiella armata* (Mart.) Burret (Figura 3b) as áreas de ocorrência estão contidas na distribuição descrita por Henderson et al. (1995), estes foram considerados razoáveis. Deve-se refinar estes modelos para redução dos erros de sobreprevisão, no caso da *M. armata*, e buscar dados de campo ou de outros inventários para certificar-se os erros de omissão de *G. stricta*.

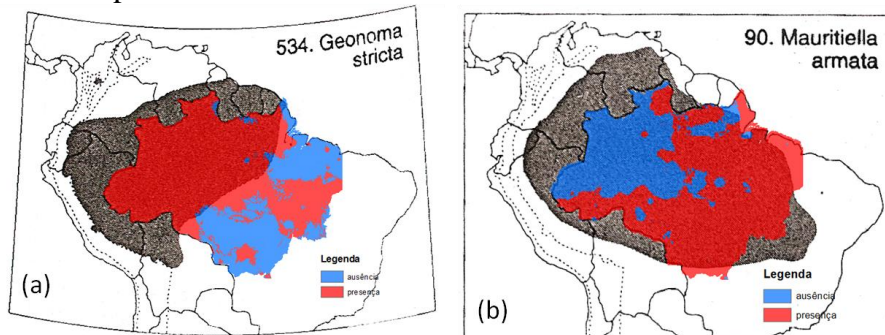
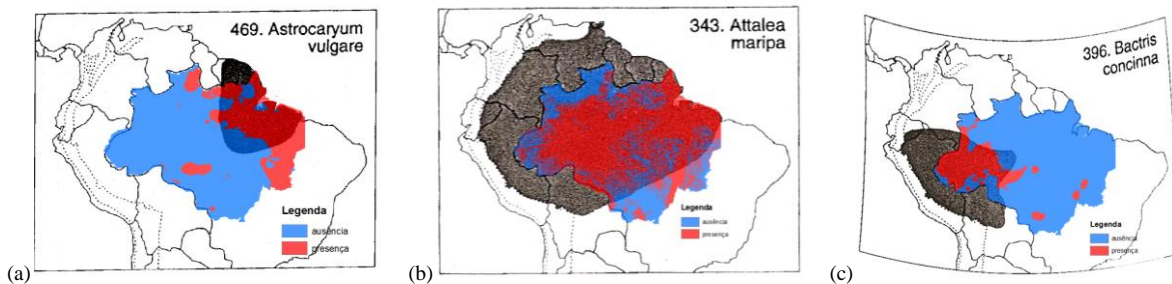


Figura 3. Sobreposição dos mapas binários e os mapas de Henderson et al. (1995): (a) *Geonoma stricta* e (b) *Mauritiella armata*.

Para as demais 17 espécies, a avaliação dos mapas binários em relação aos padrões descritos na literatura permite afirmar que o conjunto de variáveis ambientais selecionados e os mapas de ocorrência obtidos são adequados para descrever seus nichos ecológicos. A Figura 4 apresenta alguns exemplos destes resultados.



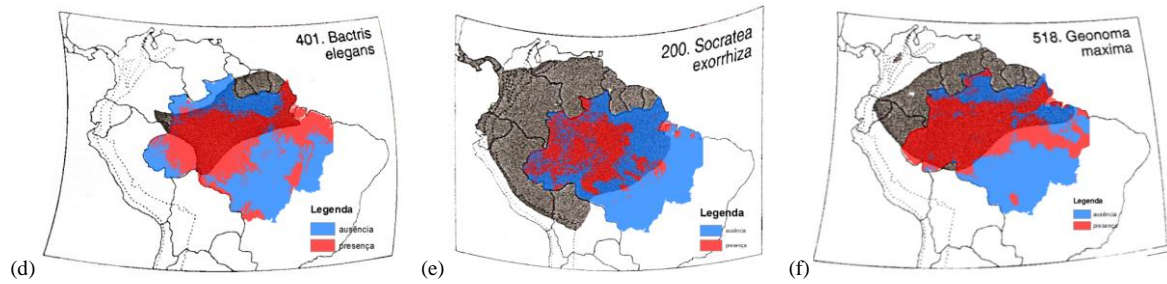


Figura 4. Sobreposição dos mapas binários e os mapas de Henderson et al. (1995): (a) *Astrocaryum vulgare*, (b) *Attalea maripa*, (c) *Bactris concinna*, (d) *Bactris elegans*, (e) *Socratea exorrhiza*, (f) *Geonoma máxima*.

A somatória dos mapas de ocorrência obtidos (Figura 5) para as 19 espécies de melhor resultado, indica a distribuição de riqueza das palmeiras Amazônicas.

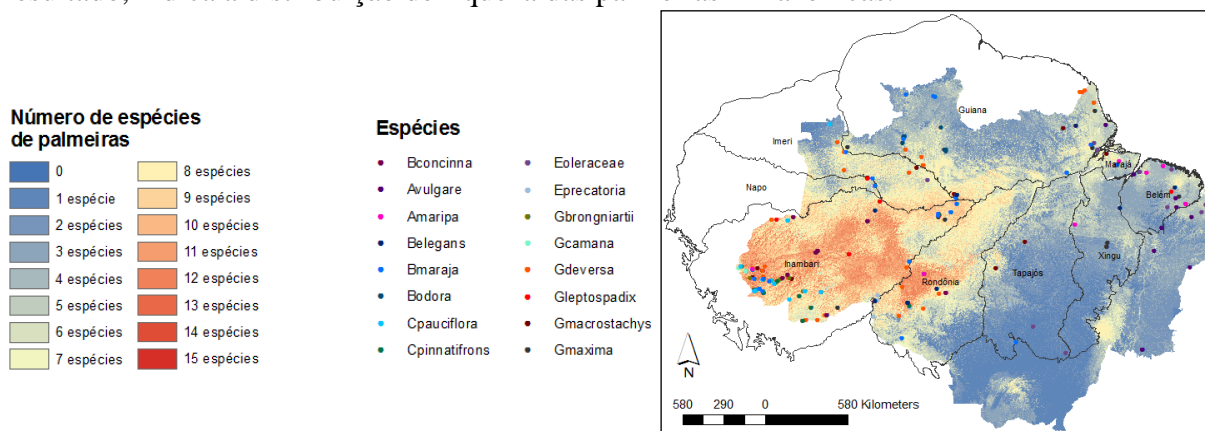


Figura 5. Mapa resultante da soma dos mapas binários de ocorrência das espécies de palmeiras estudadas. Pontos coloridos: localização das ocorrências das espécies utilizadas para geração dos MDEs.

4. Conclusões

Os resultados obtidos indicam o potencial da abordagem de modelagem, acoplada ao SR e geoprocessamento para caracterização da diversidade de espécies.

Um conjunto de variáveis ambientais específico para a modelagem de nicho ecológico de cada espécie de palmeira estudada foi encontrado. As variáveis provenientes de sensoriamento remoto (SR) foram fundamentais para caracterizar o ambiente físico, principalmente as condições de relevo e de umidade do solo, ambos provenientes dos dados SRTM. Outras variáveis disponíveis a partir de SR, tais como radiação fotossinteticamente ativa, temperatura de superfície, e índices de vegetação devem ser testadas como alternativas para modelagem de espécies.

No processo de modelagem, as ferramentas de geoprocessamento são indispensáveis para gerar produtos para a discussão da distribuição espacial da biodiversidade. Procedimentos para a manipulação de mapas esteve presente em todas as etapas do processo descrito: na aplicação de limiares sobre os modelos para gerar os mapas de ocorrência; no georreferenciamento dos mapas históricos de referência da distribuição das palmeiras; na análise da qualidade dos modelos através da sobreposição dos mapas de distribuição e os mapas de referências; e ainda na soma dos resultados dos modelos para descrever a distribuição potencial de riqueza de palmeiras.

Os resultados dos MDEs permitem também discutir a biodiversidade do grupo. Apesar de termos estudado apenas 21 espécies de palmeiras, das 189 espécies estimadas na literatura para a Amazônia, a soma dos modelos permite identificar as regiões de endemismo mais ricas. Para uma análise mais conclusiva sobre a biodiversidade de palmeiras seria necessário

modelar todas as espécies Amazônicas, incluindo outras variáveis ambientais e dados de ocorrências externos aos limites brasileiros, para então obter um mapa completo da diversidade do grupo.

Agradecimento

Agradecemos à CNPq pela bolsa concedida para a primeira autora, processo individual nº 385472/2011-0, durante o desenvolvimento deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- Aleixo, A.; Albernaz, A.L.; Grelle, C.E.V.; Vale, M.M.; RangeL, T.F.. Mudanças Climáticas e a Biodiversidade dos Biomas Brasileiros: Passado, Presente e Futuro. **Natureza & Conservação**, vol.8, n.2, p.194-196, 2010.
- 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.
- Arasato, L. S.; Amaral, S.; Costa, C. B. Banco de dados de palmeiras para modelagem de distribuição de espécies. In: CONFERÊNCIA CIENTÍFICA INTERNACIONAL: AMAZÔNIA EM PERSPECTIVA - CIÊNCIA INTEGRADA PARA UM FUTURO SUSTENTÁVEL. 2008, Manaus. **Anais...** 2008, resumo ID: 15, On-line. Disponível em: <<http://lba.inpa.gov.br/conferencia/apresentacoes/resumos/15.html>>. Acesso em: 21 fev. 2010.
- Bjorholm, S.; Svenning, J.C.; Baker, W.J.; Skov, F.; Balslev, H. Historical legacies in the geographical diversity patterns of New World palm (Arecaceae) subfamilies. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.151, n.1, p.113-125, 2006.
- Eiserhardt, W.F.; Svenning, J.-C.; Kissling, W.D.; Balslev, H. Geographical ecology of the palms (Arecaceae): determinants of diversity and distributions across spatial scales. **Annals of Botany**, p.1-26, 2011.
- Elith, J.; Phillips, S.J.; Hastie, T.; Dudík, M.; Chee, Y.E.; Yates, C.J. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and Distributions**, v.17, n.1, p.43-57, 2011.
- Henderson, A.; Galeano, G.; Bernal, R. **Palms of the Americas**. New Jersey: Princeton University Press, 1995. 256 p.
- Hijmans, R. J.; Cameron, S. E.; Parra, J. L.; Jones, P. G.; Jarvis, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v.25, n.15, p.1965-1978, 2005.
- INPE. **PRODES - Programa de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia por Satélite**. 2010. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 14 ago 2011.
- Joly, A. B. **Botânica: introdução à toxonomia vegetal**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1983. 777p.
- 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, 2004. 432 p.
- 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. (SBSR), 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: 01 jun. 2011.
- Pearson, R.G.; Raxworthy, C.J.; Nakamura, M.; Peterson, A.T.. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. **Journal of Biogeography**, v.34, p.102-107, 2007.
- Phillips, S.; Anderson, R.; Schapire, R. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, 2006.
- Rennó, C.; Nobre, A.; Cuartas, L.; Soares, J.; Hodnett, M.; Tomasella, J; Waterloo, M. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v.112, n. 9, p.3469-3481, 2008.
- Salm, R.; Salles, N. V. D.; ALONSO, W. J.; SCHUCK-PAIM, C. Cross-scale determinants of palm species distribution. **Acta Amazonica**, v.37, n.1, p.17-25, 2007.
- SUDAN. Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. **Amazônia Legal: Área de atuação**. 2010. Disponível em: <http://www.ada.gov.br/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=62&Itemid=38>. Acesso em: 16 ago. 2011.
- TerraView 3.6.0. São José dos Campos, SP: INPE, 2010. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/terraview>. Acesso em: 23 jan. 2011.
- Veríssimo, A.; Rolla, A.; Ribeiro, M.B.; Salomão, R. Histórico de criação de unidades de conservação na Amazônia legal. In: Veríssimo, A.; Rolla, A.; Vedoveto, M.; Futada, S.M. (org.). **Áreas protegidas na Amazônia brasileira: avanços e desafios**. Belém: Imazon; São Paulo: Instituto Socioambiental, 2011, pp.22-24.
- Vormisto, J.; Tuomisto, H.; Oksanen, J. Palm distribution patterns in Amazonian rainforests: What is the role of topographic variation?. **Journal of Vegetation Science**, v.15, p.485-494, 2004.