



Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas

ISSN: 1981-8122

ISSN: 2178-2547

MCTI/Museu Paraense Emílio Goeldi

Fonseca, João Aires da  
Padrões de distribuição espacial e modelos preditivos: os sítios  
arqueológicos no baixo curso dos rios Nhamundá e Trombetas  
Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências  
Humanas, vol. 13, núm. 2, 2018, Maio-Agosto, pp. 353-376  
MCTI/Museu Paraense Emílio Goeldi

DOI: 10.1590/1981.81222018000200006

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=394056633006>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais informações do artigo
- Site da revista em [redalyc.org](http://www.redalyc.org)

redalyc.org

Sistema de Informação Científica Redalyc  
Rede de Revistas Científicas da América Latina e do Caribe, Espanha e Portugal  
Sem fins lucrativos acadêmica projeto, desenvolvido no âmbito da iniciativa  
acesso aberto

# Padrões de distribuição espacial e modelos preditivos: os sítios arqueológicos no baixo curso dos rios Nhamundá e Trombetas

## Spatial distribution patterns and predictive models: archaeological sites on the lower courses of the Nhamundá and Trombetas rivers

João Aires da Fonseca

Universidade Federal do Pará. Belém, Pará, Brasil

**Resumo:** O presente artigo possui enfoque metodológico relacionado à modelagem de dados espaciais de sítios arqueológicos, utilizando o conceito de modelo preditivo. O método está embasado em modelos de distribuição de espécies com o algoritmo de máxima entropia. Para sua construção, foram utilizados  $n = 76$  pontos de sítios arqueológicos da região situada no baixo curso dos rios Nhamundá e Trombetas, porção oeste do estado do Pará, Brasil. Toda a análise teve o uso de *softwares* livres (*Qgis*, *Grass-Gis*, *R* e *MaxEnt*) e de cenas de satélite e de radar de domínio público (*Landsat 5* e *SRTM*). Os resultados alcançados apontam para áreas altamente propícias à incidência de sítios arqueológicos, distribuídas por diversos ambientes ecológicos, indo desde as margens dos principais rios e lagos, perpassando locais de interflúvio nas proximidades e nos topos dos platôs que compõem a região. As discussões apontam que, para a elaboração e o uso de modelos arqueológicos preditivos na Amazônia, devem ser consideradas as características de cada complexo arqueológico e o local em estudo, observando a diversidade de antigos grupos indígenas ao longo dos rios da Amazônia e, por conseguinte, das diversas formas e escolhas de se ocupar o espaço.

**Palavras-chave:** Arqueologia amazônica. Modelo preditivo. Algoritmo de máxima entropia.

**Abstract:** The methodological focus of this article is spatial data modeling, utilizing the concept of predictive archaeological models. This method is based on software using species distribution models with a maximum entropy algorithm. The model was constructed using  $n = 76$  archaeological point locations from the region between the lower courses of the Nhamundá and Trombetas Rivers in the state of Pará, Brazil. The entire analysis involved open source software (*Qgis*, *Grass-Gis*, *R* and *MaxEnt*) and free satellite and radar images (*Landsat 5* and *SRTM*). The results obtained indicate the presence of various ecological niches with high archaeological potential, ranging from the banks of the major rivers and lakes through the hinterland areas surrounding the plateaus in the region. The discussions about the results and analysis indicate that the use and construction of predictive archaeological models in the Amazon region should consider both the archaeological complexes and the region in question, observing the diversity of established indigenous groups along the rivers in Amazonia as well as the various ways of selecting and the occupying the area.

**Keywords:** Amazon archaeology. Predictive model. Maximum entropy algorithm.

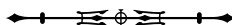
---

AIRES DA FONSECA, João. Padrões de distribuição espacial e modelos preditivos: os sítios arqueológicos no baixo curso dos rios Nhamundá e Trombetas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 13, n. 2, p. 353-376, maio-ago. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1981.81222018000200006>.

Autor para correspondência: João Aires da Fonseca. Universidade Federal do Pará. Rua Igarapé Tucunduba, 1034 – Guamá. Belém, PA, Brasil. CEP 66075-123 ([airesarch@gmail.com](mailto:airesarch@gmail.com)). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1316-1183>.

Recebido em 16/10/2017

Aprovado em 08/02/2018



## ARQUEOLOGIA E MODELOS PREDITIVOS

Modelos arqueológicos preditivos têm sua origem no esforço teórico e metodológico de proteção de sítios, dentro de programas de gestão de recursos culturais (do inglês *Cultural Resource Management* – CRM) (Verhagen, 2007). Dois aspectos podem ser associados ao seu uso. O primeiro deles consiste na função de mapear áreas com elevadas probabilidades de ocorrências de sítios, para verificar possíveis impactos a serem causados por grandes empreendimentos, como hidrelétricas, ferrovias, portos, entre outros (Kipnis, 1997; Caldarelli; Santos, 1999; Aires da Fonseca, 2016).

No Brasil, o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), órgão responsável pela gestão de sítios arqueológicos, propõe em sua Instrução Normativa n. 01/2015 que, em determinados empreendimentos econômicos, os estudos arqueológicos devem utilizar modelos preditivos como forma de avaliação da potencial ocorrência de novos sítios em áreas de impactos diretos destes (Brasil, 2015).

O segundo aspecto, de cunho mais acadêmico, incide em utilizar a modelagem de dados espaciais, com o intuito de ir além da gestão de recursos culturais, e com o uso de teorias que possam orientar (*theory driven*) as inferências sobre as configurações espaciais de sítios arqueológicos (Verhagen; Whitley, 2012). Em outras palavras, que tais teorias permitam responder hipoteticamente por quais motivos determinados sítios arqueológicos ocorrem em certos locais, buscando compreender as dinâmicas construídas entre o homem e o ambiente, de acordo com as especificidades de cada cultura, do território e do tempo em estudo (Aires da Fonseca, 2016).

Os recentes resultados apresentados por McMichael et al. (2014) demonstram de maneira clara a utilização de modelos preditivos e os resultados que estes podem proporcionar para a construção de quadros hipotéticos na arqueologia amazônica. A partir de amostras de pontos de sítios, classificados entre contendo e não contendo terra preta arqueológica, a pesquisa desenvolveu um modelo preditivo, utilizando variáveis ambientais para

compreender a dispersão destes sítios por toda a bacia amazônica, apresentando novos dados para as discussões sobre as distribuições de antigas ocupações em áreas de várzea e de terra firme, bem como sobre quais impactos a presença humana pode ter causado na composição das florestas ao longo de séculos de assentamentos.

Para McMichael et al. (2014), os resultados alcançados permitem descrever uma concentração de sítios arqueológicos na porção centro-leste da Amazônia, onde os sítios compostos por terra preta – que provavelmente denotam intensas ocupações – estão localizados em áreas próximas ao curso dos grandes rios; também possibilitam a compreensão de que, nas áreas de interflúvio, esses sítios apresentam baixa incidência, de acordo com a projeção do modelo criado. Desta forma, um quadro da Amazônia antiga é descrito com esparsas ocupações em áreas do interior e densas ocupações ao longo dos rios principais, a exemplo dos rios Amazonas, Madeira e Tapajós. Apesar de os autores ressaltarem que este quadro pode ser o resultado de um viés amostral, devido ao maior registro de sítios ter ocorrido exatamente em áreas próximas destes rios, a hipótese de vazios demográficos em áreas de interflúvio também é sustentada pela não identificação de terra preta em sítios do interior, principalmente na porção do oeste amazônico.

Contudo, os resultados da pesquisa desenvolvida pelo presente artigo, utilizando os pontos de sítios arqueológicos do baixo curso dos rios Nhamundá e Trombetas, bem como variáveis ambientais correlacionadas, apontam para um quadro hipotético divergente do apresentado por McMichael et al. (2014). A pesquisa considerou dois fatores importantes nas definições das amostras e das dimensões da área de estudo:

1) A utilização de dois modelos preditivos: o primeiro considera a totalidade de sítios arqueológicos conhecidos em relação às variáveis ambientais selecionadas, permitindo verificar o quão distribuídos estão nas paisagens, além de possibilitar a observação de um possível viés amostral quanto à maior incidência de sítios nas proximidades dos rios e de lagos principais, indicando que isso possa ocorrer em razão de maior número de pesquisas nestes ambientes.

O segundo modelo foi criado abrangendo a possibilidade de modelar os sítios e as paisagens relacionadas às áreas de interflúvio, agrupando-os por características ambientais aproximadas, em vez de classificações entre sítios que contêm e não contêm terra preta arqueológica; e

2) A escolha da área de estudo que contivesse, em parte, a ocorrência espacial de um complexo arqueológico, neste caso o complexo cerâmico Konduri, em vez de considerar a bacia amazônica inteira e manipular pontos de sítios de diversos outros complexos. A premissa, neste aspecto, consistiu na hipótese de que determinadas formas de ocupar o espaço são intrínsecas a determinadas culturas, e utilizar uma amostra compreendendo todos os sítios arqueológicos atualmente conhecidos na Amazônia implicaria em considerar que antigos grupos indígenas compartilhavam das mesmas formas e escolhas de se ocupar o espaço.

Desta maneira, o quadro de dispersão de sítios arqueológicos, tanto em áreas de interflúvio como nos rios principais, a ser apresentado ao longo deste artigo, aproxima-se dos resultados de pesquisas arqueológicas que apontam para uma complexa rede de relações sociais e econômicas, com uso intensivo de diversos ambientes amazônicos (Balée, 1993; Stenborg et al., 2012; Moraes; Neves, 2012; Magalhães, 2013; Clement et al., 2015).

Diante da importância do uso de modelos preditivos em pesquisas arqueológicas, deve-se, então, perguntar sobre como construí-los e quais os direcionamentos teóricos, metodológicos e técnicos podem ser aplicados, de acordo com cada região em estudo. O presente artigo retoma as discussões apresentadas em pesquisas anteriores no baixo curso dos rios Nhamundá e Trombetas (Aires da Fonseca, 2013), aplicando novas metodologias e o uso de *softwares* livres para a inclusão de análises geoestatísticas.

## CONSTRUINDO MODELOS ARQUEOLÓGICOS PREDITIVOS

Uma característica interessante no uso de modelos preditivos diz respeito à forma como eles são construídos. Em estudos anteriores, foi possível concluir que seu conceito incide na:

[...] relação quantificável, entre a presença de um determinado tipo de sítio e uma gama diversificada de [...] [variáveis ambientais que possam caracterizá-los]. Esta relação deve ser válida para que então características ambientais similares, existentes em [...] [outros locais] ainda não levantados, possam indicar a ocorrência [...] [favorável] de novos sítios. O objetivo principal [consiste em] gerar um mapa de sensibilidade com faixas de baixa, de média e de alta probabilidade de ocorrência de sítios arqueológicos em novas regiões, o que irá permitir criar um guia para o levantamento de campo em busca de possíveis vestígios. (Aires da Fonseca, 2016, p. 181).

Para a sua construção, são necessários os seguintes passos:

- 1) Caso existam [bancos de dados de sítios arqueológicos georreferenciados na área a ser levantada], busca-se definir as principais características dos mesmos, tal como tamanho, se são sítios de acampamento ou de habitação, a proximidade de recursos hídricos, o tipo de vegetação associada, a distância entre esses sítios [entre outras características ambientais];
- 2) Caso não exista registro de sítios anteriores à pesquisa, usam-se então deduções de que determinados locais foram propícios à ocupação humana, como a proximidade de recursos hídricos e áreas planas livres [de alagamentos];
- 3) O uso de um [...] Sistema de Informação Geográfica (SIG), para que as análises feitas nos itens 1 [...], possam ser interpretadas através de mapas;
- 4) A [confeção] de um mapa [...] indicando as áreas de baixa, de média e [de] alta probabilidade [de locais favoráveis à incidência de novos sítios];
- 5) Levantamento em campo das áreas apontadas [...] pelo mapa [...] para o teste do modelo [...] (Aires da Fonseca, 2016, p. 181).

Contudo, estas características apresentam a construção de modelos segundo os quais as inferências do pesquisador são constantemente empregadas por meio da definição de valores e de pesos às variáveis utilizadas, a fim de atender à necessidade de conhecimento empírico da área em estudo, seja através de levantamentos de campo ou da obtenção de informações junto a moradores locais com saberes sobre o terreno, os tipos de matas (vegetações) e de locais com vestígios arqueológicos.

Modelos empíricos possuem um papel importante principalmente em áreas de estudo onde o registro de sítios



arqueológicos é escasso, os quais, no entanto, carregam consigo a subjetividade e a possibilidade de erros de interpretação (Ebert, 2000; Pellini, 2008). Uma boa saída para reduzir isto consiste no uso da matemática e da estatística, através de *softwares* que possam gerar os valores das variáveis explicativas, sem interferência constante do usuário. Desta forma, uma sexta característica pode ser adicionada na construção de modelos preditivos: o uso de programas estatísticos com algoritmos que possam relacionar os pontos de sítios arqueológicos às variáveis ambientais associadas, para que, então, sejam identificadas novas localidades que apresentem valores aproximados, ou idênticos, dos atributos ambientais provenientes de sítios arqueológicos conhecidos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Diante do conceito e dos requisitos necessários à construção de um modelo preditivo, uma série de programas de

computador e de algoritmos pode ser utilizada para organizar, modelar, testar, analisar e apresentar os resultados das pesquisas. Neste artigo, foram adotados os seguintes materiais:

1) A base de dados de sítios arqueológicos utilizada foi composta das pesquisas de campo realizadas durante os anos 2000 e 2010 pelo Museu Paraense Emílio Goeldi, no âmbito do Projeto Trombetas (Guapindaia; Lopes, 2011). Durante este projeto, foi desenvolvido um Sistema de Informação Geográfica (SIG) contendo as informações de pontos de sítios coletados em campo, sendo a grande maioria proveniente de pesquisas revisitadas, iniciadas na década de 1950, e outros compõem a base de dados apresentada por Machado (2001). O total da amostra compreende  $n = 76$  pontos de sítios arqueológicos (Figuras 1 e 2 e Apêndice);

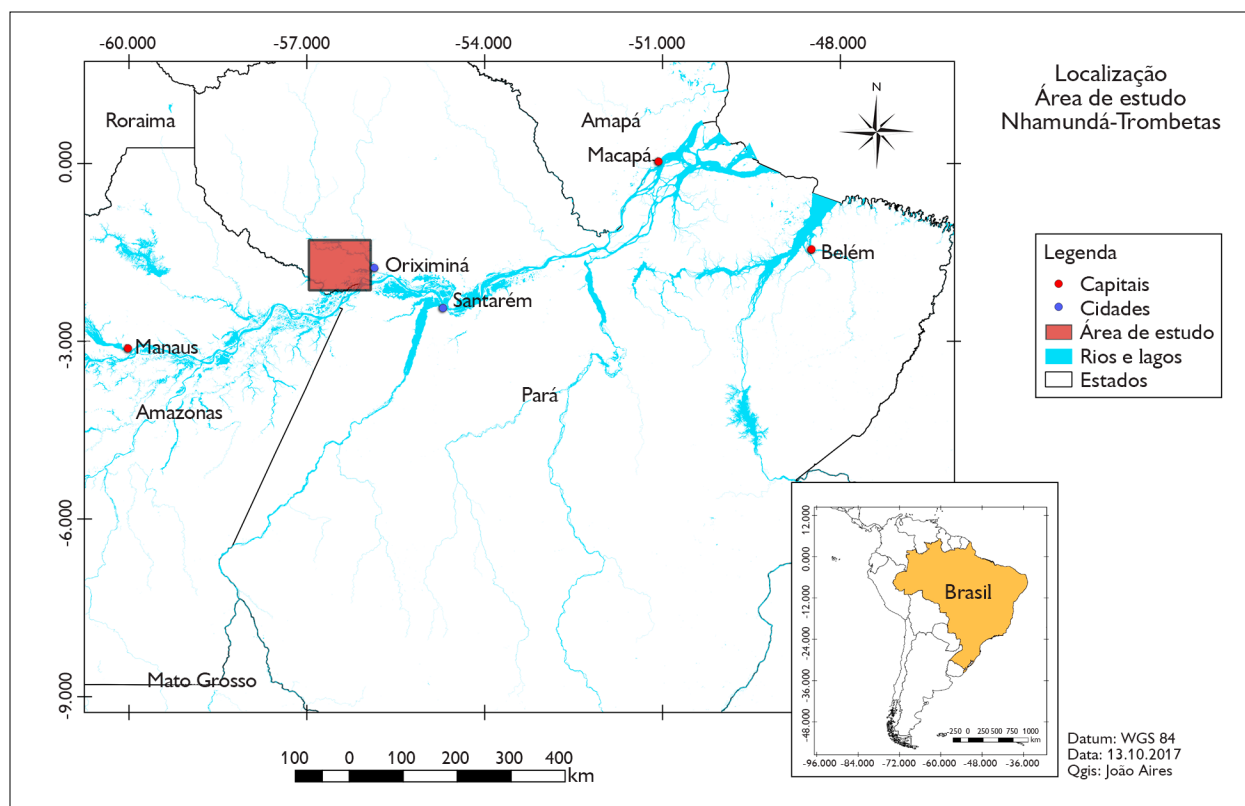


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Mapa: João Aires da Fonseca (2017).

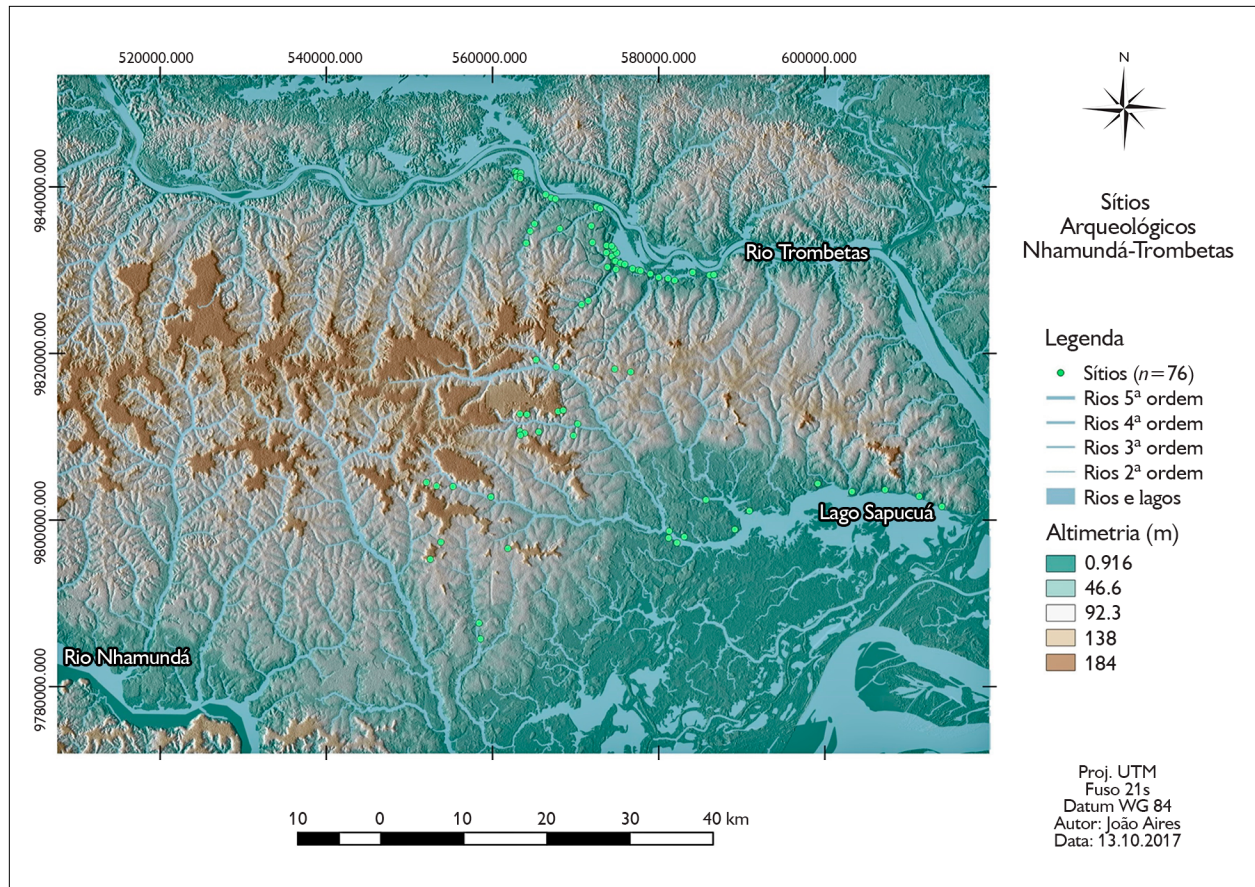


Figura 2. Distribuição espacial dos sítios arqueológicos na região do baixo curso dos rios Nhamundá e Trombetas. Mapa: João Aires da Fonseca (2017).

2) Duas cenas do satélite *Landsat 5* compuseram o mosaico (LT05 L1TP 228061 20091007 20161020 01 T1 e LT05 L1TP 229061 20090928 20161020 01 T1) para a análise de vegetação (USGS, [201-]);

3) Quatro cenas do programa *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução de 30 m 1-arc. seg. (s02\_w056\_1arc\_v3, s02\_w057\_1arc\_v3, s03\_w056\_1arc\_v3 e s03\_w057\_1arc\_v3), provenientes do site *Science for a changing World*, foram utilizadas para as análises do terreno e da hidrografia (USGS, [201-]); e

4) Da Agência Nacional de Águas (ANA) fora utilizado o arquivo vetorial de 'massa d'água', que define os grandes rios e lagos naturais da área de estudo (ANA, 2017).

Para a modelagem deste material e a obtenção das variáveis ambientais informadas no modelo, foi adotado o programa estatístico *R* (R Project..., 2017), que permitiu a utilização de modelos matemáticos e a possibilidade de verificar, de uma forma mais simples e direta, a representação gráfica dos resultados destes modelos através de tabelas e de gráficos (*boxplots* e dendogramas), de projeções cartográficas, dos testes estatísticos, da padronização e da validação de dados, por meio dos pacotes *raster*, *rgdal*, *spatialEcology*, *caret*, *e1071* e *usdm*. O programa *Qgis* (2.18.3) foi utilizado para editar os dados espaciais e manipular visualmente as tabelas e os mapas. No programa *Grass-Gis* (7.2.0), foram obtidos os arquivos de imagens (*rasters*) das variáveis explicativas.

Desta forma, da imagem de radar SRTM foi possível extrair os seguintes valores: 1) altimetria em relação ao nível do mar; 2) declividade do terreno; 3) curvatura do terreno (locais planos, convexos ou côncavos); 4) rugosidade do terreno, com o uso do algoritmo *r.tri* (*Terrain Ruggedness Index*), produzido por Pawley (2017), sendo definidos os valores relacionados às áreas com solos planos ou irregulares; 5) posições das faces do terreno em relação ao norte, ao sul, ao leste e ao oeste; 6) índice de radiação solar com valores entre 0 e 1, produzido por Evans (2017) no pacote *R.spatialEcology*; 7) índice de posição topográfica (*Topographic Position Index* - TPI), que permitiu verificar se os pontos estão situados em áreas planas, em vales ou em áreas íngremes (pacote *spatialEcology*); 8) rios de 2ª, de 3ª, de 4ª e de 5ª ordem, através do método *Strahler*, informado no algoritmo *r.watershed*, do *Grass-Gis*, para que fossem obtidas as distâncias euclidianas dos pontos de sítios em relação às ordens de rios - em relação aos rios de 6ª e 7ª ordem, correspondentes ao Trombetas, ao Nhamundá e ao Amazonas, utilizou-se o arquivo vetorial de 'massa d'água' da ANA (2017), que corresponde às dimensões das margens destes grandes rios -; 9) índice de vegetação da diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI), com o intuito de fazer uma possível associação entre o vigor da vegetação, em épocas de poucas chuvas na Amazônia, e os sítios arqueológicos com terra preta (Ponzoni; Shimabukuro, 2010).

No total, foram obtidas treze variáveis ambientais (Quadro 1), que, para serem utilizadas no programa *Maximum Entropy Species Distribution Modeling* (*MaxEnt*), tiveram de ser validadas através do teste de correlação de *Spearman* e do teste de *Variance Inflation Factor* (VIF), para detectar colinearidade em valores de  $VIF > 10$ , que podem ocasionar influências nos resultados do modelo (Phillips et al., 2006; Naimi et al., 2014).

O programa *MaxEnt* (versão 3.4.1), constituído do algoritmo de máxima entropia, permitiu estabelecer

as relações entre a presença de pontos de sítios arqueológicos e as variáveis ambientais informadas, as quais, ao serem combinadas, obtiveram os resultados estatísticos, como os valores de área sob a curva (AUC) – que pressupõem valores ótimos acima de 0.7 ( $AUC > 0.7$ ) – e os resultados do teste *Jackknife*, com valores de importância das variáveis na construção do modelo. A partir do primeiro teste no *MaxEnt*, foi possível verificar as variáveis ambientais com ganho *Jackknife* muito próximo de zero ou sem ganho algum, sendo estas retiradas da análise, realizando-se o teste seguinte, até que todas pudessem contribuir para a construção do modelo preditivo.

O principal produto confeccionado no *MaxEnt*, no entanto, consiste no mapa contendo as projeções espaciais de áreas com alta, média e baixa probabilidade de locais favoráveis à ocorrência de sítios arqueológicos, tendo como parâmetro a média dos valores das variáveis ambientais, extraídas pela amostra de pontos de sítios informados (Phillips et al., 2004, 2006).

Como análise final, para a construção de um modelo preditivo capaz de indicar possíveis sítios arqueológicos em

Quadro 1. Variáveis explicativas utilizadas na construção dos modelos arqueológicos preditivos.

| Variáveis utilizadas                                |
|---|
| Altimetria (alt)                                    |
| Declividade (decli)                                 |
| Curvatura do terreno (curva)                        |
| Rugosidade do terreno (tri)                         |
| Posição das faces do terreno (dir_decli)            |
| Índice de radiação solar (solar)                    |
| Índice de posição topográfica (tpi)                 |
| Rios de 2ª ordem (ordem2)                           |
| Rios de 3ª ordem (ordem3)                           |
| Rios de 4ª ordem (ordem4)                           |
| Rios de 5ª ordem (ordem5)                           |
| Massa d'água (massa_agua)                           |
| Índice de vegetação da diferença normalizada (ndvi) |

áreas de interflúvio, empregou-se o método hierárquico de agrupamento (*cluster*), utilizando-se a distância Euclidiana e o método de encadeamento completo (*complete linkage method*) no *software R* (3.4.1), classificando-se a amostra de sítios em três grupos ( $n = 76$ ), de acordo com características ambientais aproximadas. Através desta classificação, extraiu-se a segunda amostra de sítios para a construção do segundo modelo preditivo, que permitiu verificar as principais mudanças e características no uso de uma amostra heterogênea, contendo todos os tipos de sítios, e de uma mais homogênea, com pontos de sítios apresentando valores das variáveis ambientais mais aproximadas (Drennan, 2009; Carlson, 2012; Baxter, 2015).

## ESTUDO DE CASO: O BAIXO CURSO DOS RIOS NHAMUNDÁ E TROMBETAS

A região que compreende o baixo curso dos rios Trombetas e Nhamundá, na porção oeste do estado do Pará, está dentro da área da

[...] Floresta Nacional Saracá-Taquera, onde existem diversos ambientes ecológicos, como áreas ribeirinhas, lacustres, terras baixas, encostas, topos de platôs e, por conseguinte, uma gama diversificada de sítios arqueológicos [...] (Aires da Fonseca, 2016, p. 178).

Muitos destes sítios apresentam extensas áreas de terra preta arqueológica ao longo dos rios principais, contendo abundância de fragmentos cerâmicos e líticos, enquanto uma pequena quantidade deles apresenta camadas arqueológicas curtas, com pouca incidência de vestígios, sendo que alguns estão situados no topo dos platôs na região (Aires da Fonseca, 2016).

As pesquisas atuais continuam adquirindo novos dados que confirmam sítios multicomponenciais, definindo os estilos cerâmicos Pocó, entre 4.000 e

1.000 AP, e Konduri, com datações associadas aos anos subsequentes até próximo da colonização europeia, como a primeira ocupação cerâmica (Hilbert, P., 1955; Hilbert, P.; Hilbert, K., 1980; Guapindaia, 2008; Guapindaia; Lopes, 2011).

Entre estes sítios, possui destaque o Cipoal do Araticum, descoberto em 2009 pelo “Projeto Arqueológico Trombetas”<sup>1</sup>. Trata-se de um sítio localizado na área de interflúvio, à margem direita do rio Araticum, entre os platôs Aviso e Bela Cruz, com área de 400 x 600 m. Suas características principais são as incidências de terra preta arqueológica, uma vegetação composta por mata de cipós, havendo alta frequência de plantas úteis (medicinais, resinas, comestíveis, alucinógenas). Este sítio apresenta uma datação por C14 recuando em 4.000 antes do presente. Dessa forma, ele abrange grande parte da ocupação humana de que se tem conhecimento na região, contendo estilos cerâmicos relacionados principalmente ao Pocó e, em menor quantidade, ao Konduri (Junqueira, 2010; Guapindaia; Aires da Fonseca, 2012, 2013) (Figura 3).

Diante das especificidades deste sítio e das possibilidades do uso de modelos arqueológicos preditivos, as seguintes questões podem ser levantadas: existiriam na região outros locais semelhantes ao Cipoal do Araticum, indicando a ocorrência de novos sítios arqueológicos? Quais discussões podem ser levantadas a respeito de sítios de interflúvio e sítios da várzea amazônica?

Apesar de o questionamento ter como ponto de partida o sítio Cipoal do Araticum, é de suma importância a análise da distribuição espacial dos demais sítios arqueológicos existentes na região, para que, então, possam ser construídos e testados modelos arqueológicos preditivos, apresentando os cenários hipotéticos de antigas ocupações humanas entre os rios Nhamundá e Trombetas.

<sup>1</sup> Coordenado entre os anos de 2000 a 2010 por Vera Guapindaia, este projeto consistiu em extensos levantamentos e salvamentos arqueológicos na área da Mineração Rio do Norte.



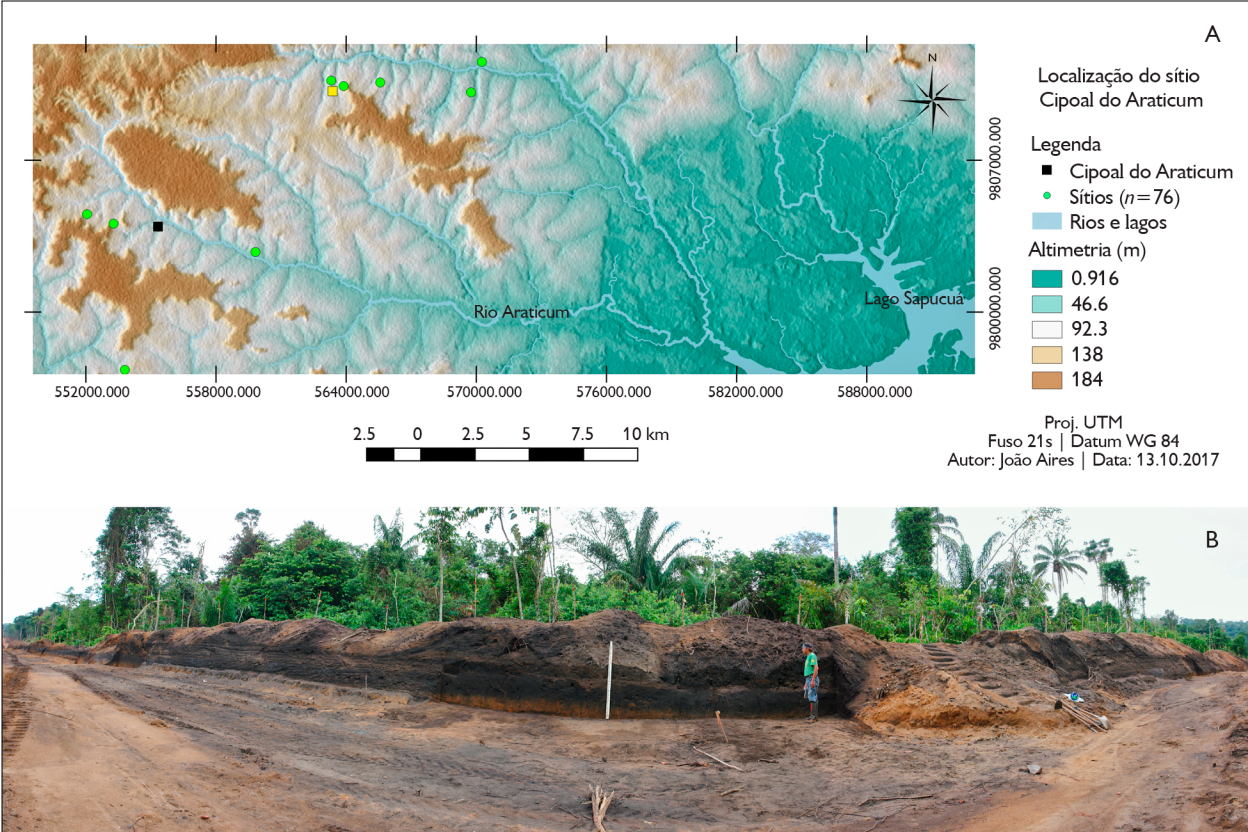


Figura 3. Sítio Cipoal do Araticum: A) localização; B) fotografia evidenciando o sítio, que foi identificado em 2009, com dimensões de 400 x 600 m. Suas principais características são a localização na área de interflúvio do baixo curso dos rios Nhamundá e Trombetas, a marcante vegetação, composta por cipós, palmeiras e plantas úteis, bem como a extensa camada de terra preta arqueológica. Mapa (A): João Aires da Fonseca (2017); Foto (B): João Aires da Fonseca (2010).

## RESULTADOS

A validação das treze variáveis ambientais relacionadas aos pontos de sítios arqueológicos da região ( $n = 76$ ) indicou elevados valores de coeficientes de correlação de Spearman ( $\rho$ ). Ocorreu uma correlação negativa entre as variáveis de incidência solar (solar) e a declividade do terreno (decli), uma vez que, quanto menor a declividade, mais áreas planas ocorrerão e, portanto, haverá maior incidência solar nestas áreas.

A declividade também apresentou forte correlação positiva com a rugosidade do terreno (tri), provavelmente porque ambas as variáveis possuem valores similares às de áreas planas. O mesmo aconteceu com as variáveis de índice de posição topográfica (tpi) e curvatura do terreno (curva),

uma vez que ambas lidam com áreas de vales para o tpi e com áreas convexas para curva, por exemplo.

Foi indicada também a correlação entre o índice de vegetação da diferença normalizada (ndvi) e a altimetria (alt), muito provavelmente relacionada ao tipo de vegetação encontrado no topo dos platôs.

Por fim, a correlação positiva mais elevada ocorreu entre a variável alt e massa d'água (massa\_agua), que, devido à maior incidência de pontos de sítios associados aos grandes rios e lagos da região, também apresentam cotas altimétricas mais baixas. Dessa forma, a correlação discrimina que, quanto mais baixos e próximos os pontos de sítio das massas d'água, maiores são as ocorrências de sítios arqueológicos na região (Tabela 1).

Tabela 1. Coeficientes da correlação de *Spearman* para as treze variáveis explicativas do modelo ( $n = 76$ ). Em negrito, destacam-se os índices com os valores mais elevados, que informam possível colinearidade e a necessidade de retirada de uma das variáveis do modelo. As legendas para as siglas estão descritas no Quadro 1.

|           | ordem3 | ordem4 | ordem5 | solar | tpi   | dir_decli | decli        | ndvi  | curva       | tri         | alt         | massa_agua  |
|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|-----------|--------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ordem2    | -0.14  | 0.08   | -0.06  | 0.09  | -0.09 | 0.04      | -0.14        | -0.11 | -0.01       | -0.05       | 0.07        | 0.17        |
| ordem3    |        | -0.25  | -0.01  | -0.21 | 0.01  | -0.01     | 0.14         | -0.2  | -0.1        | 0.07        | -0.37       | -0.46       |
| ordem4    |        |        | -0.02  | 0.26  | 0.31  | 0.17      | -0.27        | 0.33  | 0.27        | -0.17       | 0.38        | 0.44        |
| ordem5    |        |        |        | -0.25 | -0.15 | -0.2      | 0.27         | -0.15 | -0.23       | 0.37        | -0.34       | -0.54       |
| solar     |        |        |        |       | -0.01 | 0.28      | <b>-0.84</b> | 0.09  | 0.14        | -0.8        | 0.11        | 0.28        |
| tpi       |        |        |        |       |       | 0.2       | -0.07        | 0.37  | <b>0.81</b> | -0.03       | 0.4         | 0.22        |
| dir_decli |        |        |        |       |       |           | -0.24        | 0.09  | 0.23        | -0.25       | 0.27        | 0.34        |
| decli     |        |        |        |       |       |           |              | -0.09 | -0.2        | <b>0.72</b> | -0.12       | -0.28       |
| ndvi      |        |        |        |       |       |           |              |       | 0.46        | -0.04       | <b>0.61</b> | 0.54        |
| curva     |        |        |        |       |       |           |              |       |             | -0.08       | 0.55        | 0.36        |
| tri       |        |        |        |       |       |           |              |       |             |             | -0.03       | -0.25       |
| alt       |        |        |        |       |       |           |              |       |             |             |             | <b>0.86</b> |

Contudo, apesar da incidência de correlações elevadas, os valores do teste de colinearidade (pacote USDM no R) ficaram todos abaixo de 10 ( $VIF < 10$ ), não sendo excluída nenhuma variável a partir deste método (Tabela 2).

Os resultados do primeiro teste no *MaxEnt* determinaram que as variáveis de declividade e de curvatura do terreno tiveram contribuição com valor zero e permutação bem próxima de zero. Estas duas variáveis foram retiradas, sendo realizado um segundo teste no *MaxEnt*, desta vez com as variáveis explicativas retornando com valores de ganho acima de zero (Tabela 3). Desta forma, foram utilizadas onze variáveis ambientais na construção do modelo preditivo, sendo estabelecido o uso de 25% da amostra de  $n = 76$  pontos de sítios para o teste de validação. O modelo apresentou como resultados os valores de AUC acima de 0,8, tanto para o *Training data* ( $AUC = 0,906$ , correspondente a  $n = 57$  pontos de sítios) quanto para o *Test data* ( $AUC = 0,872$ , correspondente a  $n = 19$  pontos de sítios). Tais resultados forneceram valores elevados para a validação do modelo preditivo (Figura 4).

Tabela 2. Aplicação do teste de *Variance Inflation Factor* (VIF) informando resultados sem a incidência de colinearidade ( $VIF > 10$ ), entre as variáveis explicativas associadas à amostra em estudo. As legendas para as siglas estão descritas no Quadro 1.

| Variáveis  | VIF   |
|------------|-------|
| massa_agua | 4.884 |
| solar      | 4.695 |
| alt        | 4.617 |
| decli      | 3.397 |
| curva      | 3.290 |
| tpi        | 3.161 |
| tri        | 3.142 |
| ordem5     | 1.809 |
| ordem4     | 1.565 |
| ndvi       | 1.537 |
| ordem3     | 1.335 |
| dir_decli  | 1.204 |
| ordem2     | 1.199 |

Em relação aos valores de ganho do teste *Jackknife*, a variável de distância da massa de água apresentou maior influência sobre a distribuição dos

pontos de sítios, fato comumente conhecido devido ao maior registro de sítios arqueológicos ao longo das margens dos grandes rios e lagos da região. A variável ndvi aparece como aspecto importante pelo fato de poder classificar tanto florestas antropizadas, a exemplo da vegetação identificada no sítio Cipoal do Araticum, além de possibilitar a identificação de locais de vegetação aberta ou de capoeira recente, associada às ocupações ribeirinhas assentadas, em grande parte, em sítios arqueológicos (Figura 5).

O principal resultado produzido pelo programa *MaxEnt* – e de maior interesse para as interpretações arqueológicas – consistiu no mapa contendo as localizações de áreas definidas com a baixa, a média e a alta probabilidade de locais semelhantes aos  $n = 76$  pontos de sítios informados e com as respectivas médias dos valores das variáveis ambientais (Figura 6).

A partir dos dados obtidos neste primeiro modelo, os valores das variáveis ambientais associadas aos  $n = 76$  pontos de sítios foram normalizados

(*scale* e *center*). Conforme o gráfico de *boxplot* evidenciou, determinados valores distantes das medidas centrais (*outliers*) poderiam configurar sítios arqueológicos que compartilhavam características ambientais díspares, ou seja, a amostra poderia comportar determinados tipos de sítios em paisagens distintas (Figura 7). Desta forma, a análise hierárquica de agrupamentos (*cluster*) forneceu uma interessante amostra de  $n = 20$  sítios no *cluster* 3, definindo um grupo localizado na região de interflúvio dos rios Nhamundá e Trombetas, tendo como um dos integrantes o sítio Cipoal do Araticum (Figura 8).

Com a nova amostra definida, foi criado um segundo modelo preditivo, verificando-se os pressupostos de colinearidade, os valores de VIF em conjunto com os testes do *MaxEnt*, de onde tiveram que ser retiradas as variáveis de índice de radiação solar (*solar*), de massa d'água (*massa\_agua*), de índice de rugosidade do terreno (*tri*), de curvatura do terreno (*curva*) e do índice de posição topográfica (*tpi*) (Tabelas 4 a 6).

Tabela 3. Valores de AUC (normalizados em porcentagem) dos testes de contribuição e de permutação realizados pelo programa *MaxEnt*. Foram retiradas da análise as variáveis ambientais de declividade e de curvatura do terreno, devido à baixa contribuição ao modelo.

| Primeiro teste        |                  |                | Segundo teste         |                  |                |
|-----------------------|------------------|----------------|-----------------------|------------------|----------------|
| Variáveis             | Contribuição (%) | Permutação (%) | Variáveis             | Contribuição (%) | Permutação (%) |
| agua_longlat          | 37,9             | 35,3           | agua_longlat          | 37,9             | 31,8           |
| ordem_4_longlat       | 15               | 16             | ordem_4_longlat       | 14,9             | 22,9           |
| solar2_trasp_longlat  | 11,2             | 1,4            | solar2_trasp_longlat  | 11,3             | 2,3            |
| ordem_3_longlat       | 9,8              | 14,1           | ordem_3_longlat       | 10,1             | 6,5            |
| ordem_5_longlat       | 8,8              | 9,3            | ordem_5_longlat       | 8,9              | 9,3            |
| ndvi_longlat          | 7,5              | 9,5            | ndvi_longlat          | 7,4              | 13,3           |
| tri_longlat           | 4,1              | 6,1            | tri_longlat           | 4                | 3,3            |
| ordem_2_longlat       | 3,2              | 3,4            | ordem_2_longlat       | 3,2              | 6,1            |
| tpi_norm_longlat2     | 1,3              | 1,5            | tpi_norm_longlat2     | 1,3              | 2,8            |
| altimetria_longlat    | 0,7              | 1,1            | altimetria_longlat    | 0,7              | 0,9            |
| direcao_decli_longlat | 0,4              | 2,2            | direcao_decli_longlat | 0,3              | 0,8            |
| declividade_longlat   | 0,1              | 0              |                       |                  |                |
| curvatura_longlat     | 0                | 0,1            |                       |                  |                |

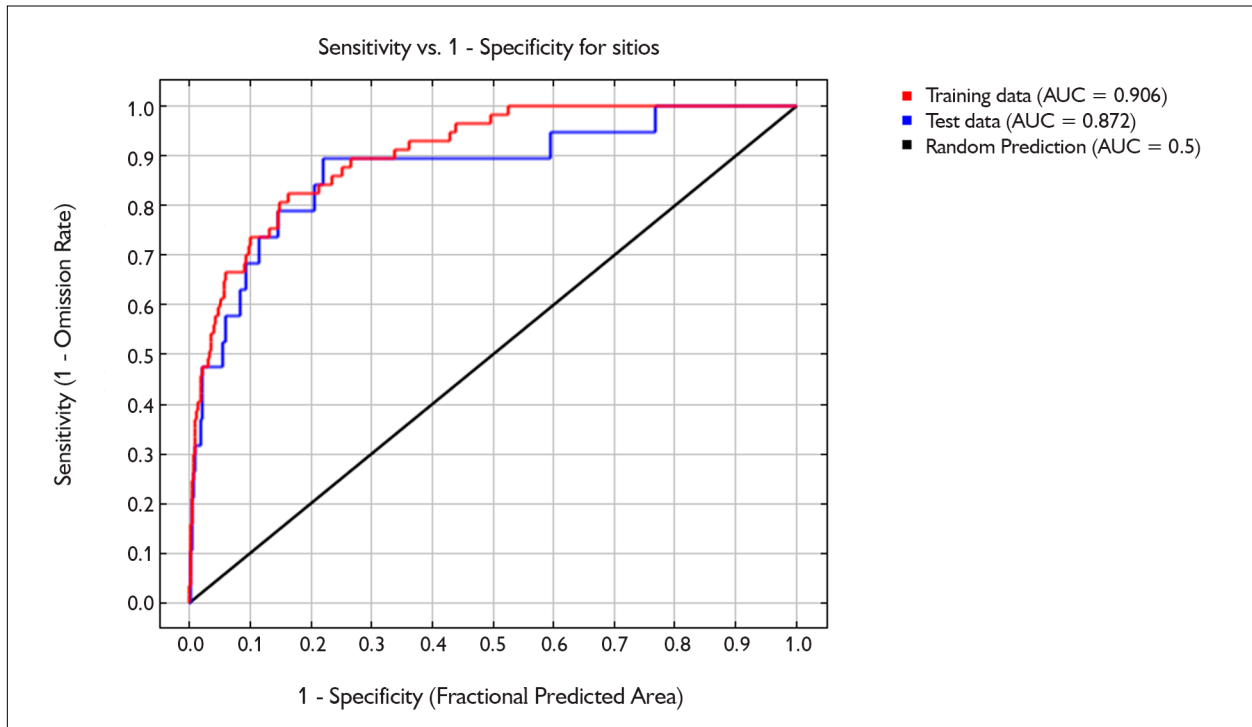


Figura 4. Os valores de AUC alcançaram resultados acima de 0,8, sendo considerados como valores aceitáveis para a composição do modelo preditivo.

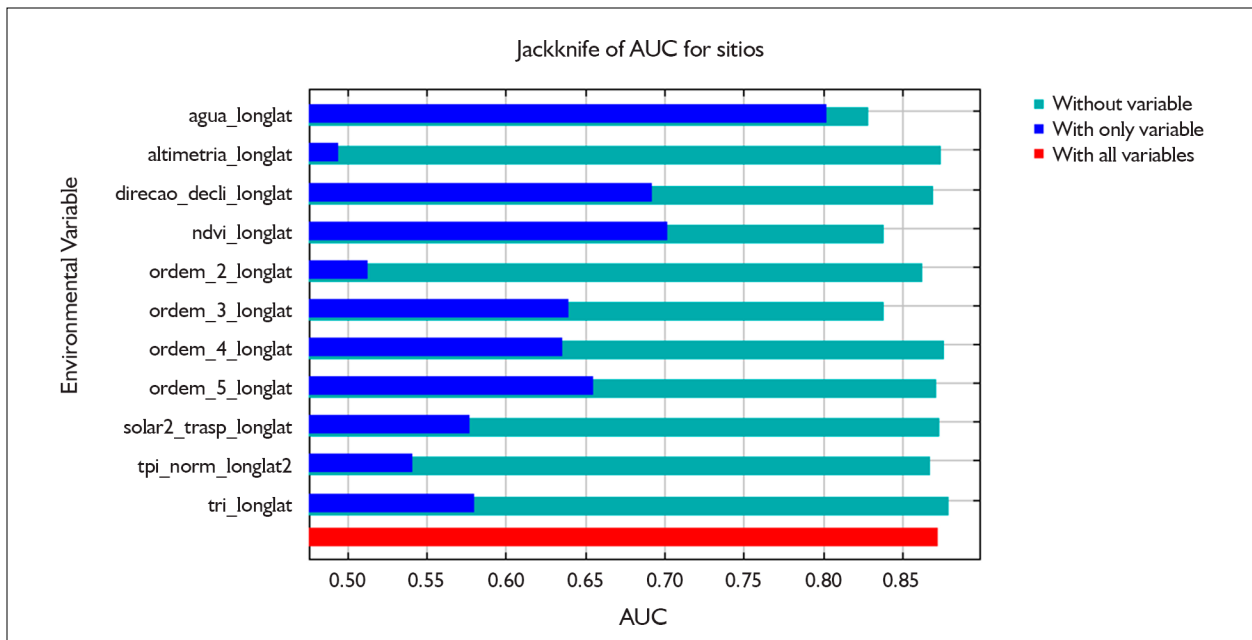


Figura 5. Valores de ganho de AUC para o teste *Jackknife*. A variável com maior contribuição para o modelo foi a distância dos pontos de sítios em relação à massa de água.



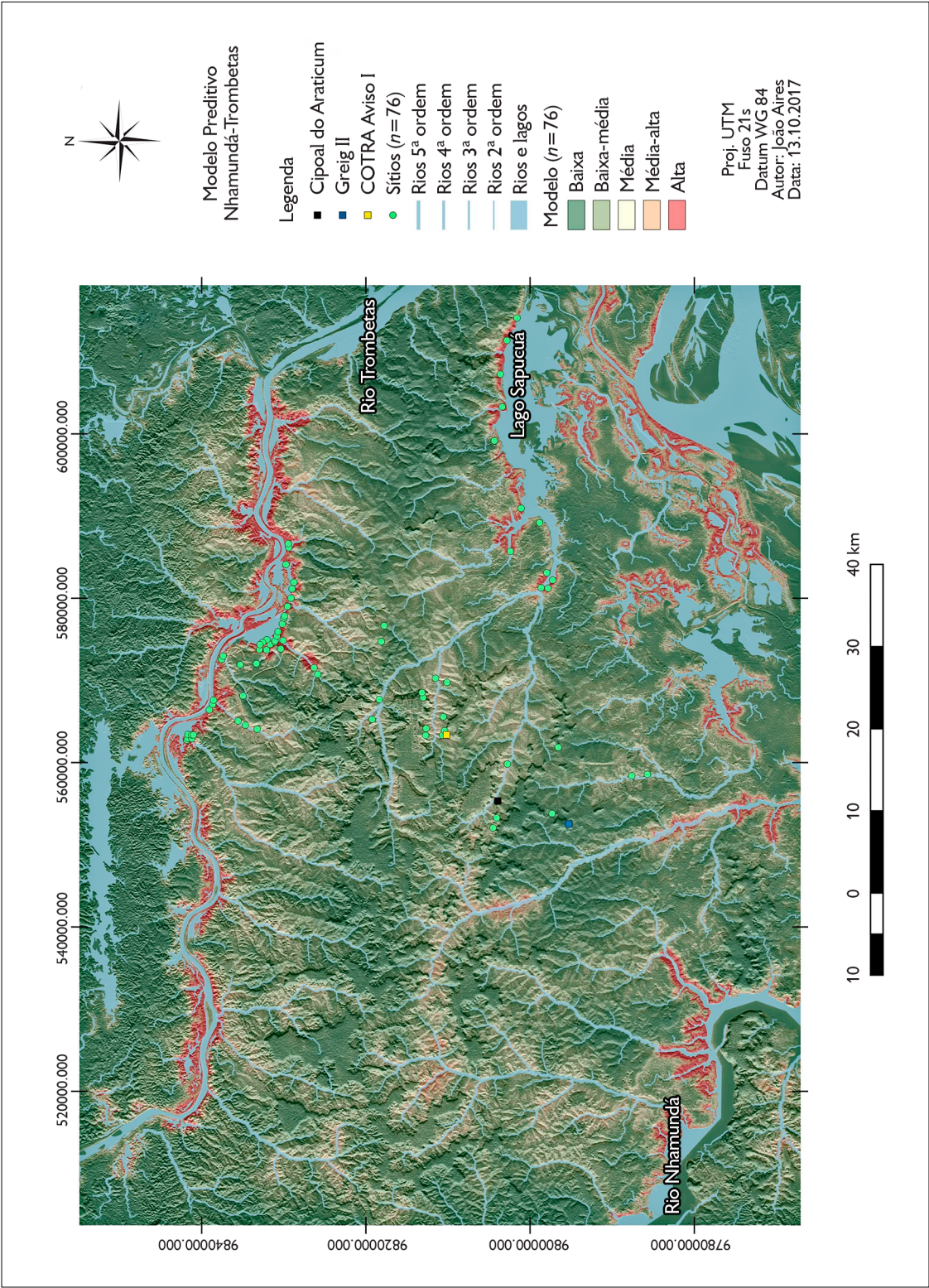


Figura 6. Modelo arqueológico preditivo para a região do baixo curso dos rios Nhamundá e Trombetas. O modelo reflete o já conhecido padrão de maior incidência de sítios nas proximidades dos grandes rios e lagos, evidenciando a área de interflúvio com esparsos episódios de locais com alta probabilidade desta ocorrência. O sítio Cipoal do Araticum e as áreas do entorno foram classificados entre locais de média para baixa probabilidade de ocorrência de sítios arqueológicos. Mapa: Projeto UTM, João Aires da Fonseca (2017).

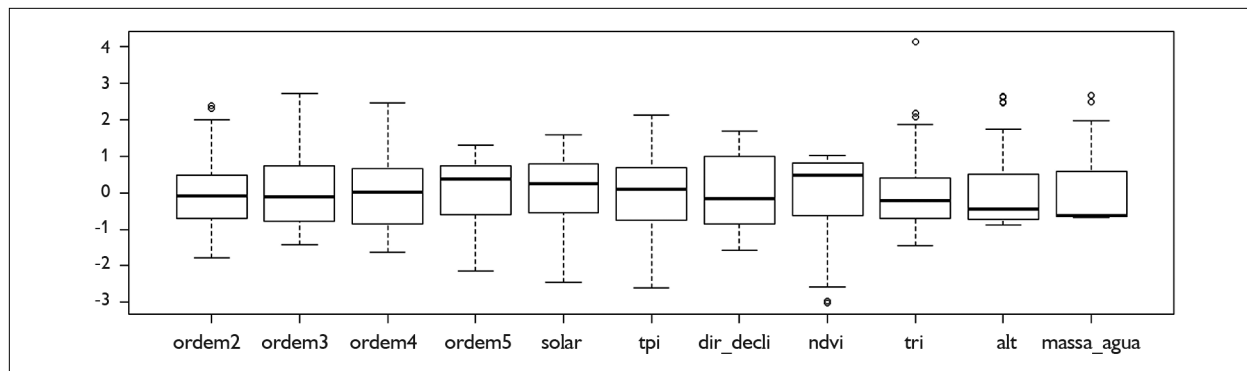


Figura 7. *Boxplot* dos  $n = 76$  pontos de sítios arqueológicos e os respectivos valores (normalizados) das variáveis ambientais utilizadas na construção do modelo preditivo. Os *outliers* indicam as ocorrências de diferentes sítios na paisagem.

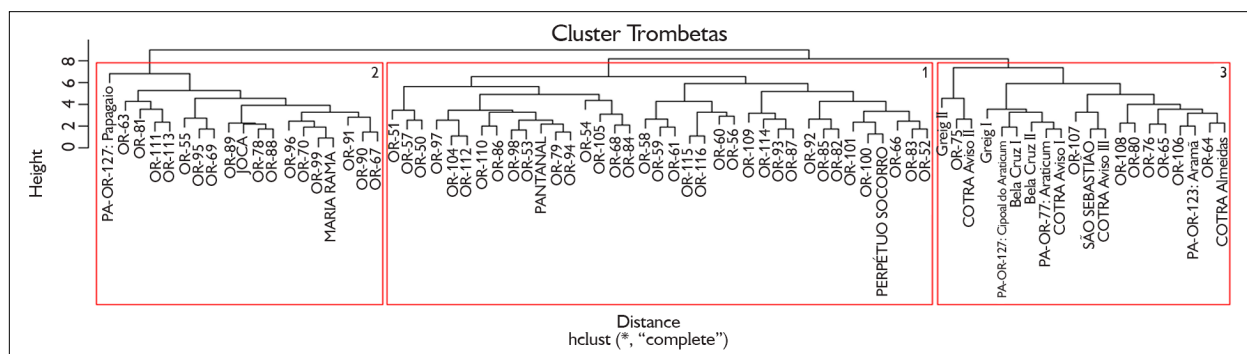


Figura 8. Análise hierárquica de agrupamento (*cluster*) para a amostra de  $n = 76$  pontos de sítios associados às doze variáveis ambientais do modelo preditivo. O *cluster* 3, onde está inserido o sítio Cipoal do Araticum, foi selecionado como amostra ( $n = 20$ ) para a construção do segundo modelo, com o intuito de localizar áreas semelhantes aos sítios deste grupo na região do baixo curso dos rios Nhamundá e Trombetas.

Tabela 4. Coeficientes da correlação de *Spearman* para as treze variáveis explicativas do segundo modelo ( $n = 20$ ). Em negrito, destacam-se os índices com os valores mais elevados que informam possível colinearidade e a necessidade de retirada de variáveis do modelo. As legendas para as siglas estão descritas no Quadro 1.

|           | ordem3 | ordem4 | ordem5 | solar | tpi   | dir_decli | decli        | ndvi  | curva       | tri         | alt   | massa_agua  |
|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|-----------|--------------|-------|-------------|-------------|-------|-------------|
| ordem2    | 0.18   | 0.35   | -0.19  | -0.12 | 0.16  | -0.01     | -0.07        | 0.03  | 0.32        | -0.06       | 0.45  | 0.1         |
| ordem3    |        | 0.23   | -0.31  | -0.1  | 0.08  | -0.21     | -0.05        | 0.27  | 0.08        | -0.03       | 0.47  | -0.1        |
| ordem4    |        |        | -0.49  | 0     | 0.24  | -0.2      | -0.11        | 0.16  | 0.1         | -0.14       | 0.18  | <b>0.84</b> |
| ordem5    |        |        |        | -0.28 | -0.01 | 0.26      | 0.39         | -0.26 | -0.15       | 0.25        | 0.05  | -0.57       |
| solar     |        |        |        |       | 0.02  | 0.33      | <b>-0.85</b> | 0.24  | 0.14        | -0.8        | -0.31 | 0.22        |
| tpi       |        |        |        |       |       | 0.4       | -0.22        | -0.02 | <b>0.75</b> | 0.02        | 0.46  | 0.29        |
| dir_decli |        |        |        |       |       |           | -0.36        | 0.09  | 0.37        | -0.35       | 0.1   | -0.06       |
| decli     |        |        |        |       |       |           |              | -0.24 | -0.34       | <b>0.82</b> | 0.19  | -0.31       |
| ndvi      |        |        |        |       |       |           |              |       | 0.29        | -0.07       | 0.15  | 0           |
| curva     |        |        |        |       |       |           |              |       |             | -0.06       | 0.54  | 0.14        |
| tri       |        |        |        |       |       |           |              |       |             |             | 0.3   | -0.25       |
| alt       |        |        |        |       |       |           |              |       |             |             |       | -0.03       |

Tabela 5. Resultados do teste de *Variance Inflation Factor* (VIF) para o segundo modelo. Devido ao resultado de  $VIF > 10$ , foram retiradas as variáveis de índice de radiação solar (*solar*) e a variável de massa d'água (*massa\_agua*), destacadas em negrito. As legendas para as siglas estão descritas no Quadro 1.

| 1º teste     |               | 2º teste          |               | 3º teste  |       |
|--------------|---------------|-------------------|---------------|-----------|-------|
| Variáveis    | VIF           | Variáveis         | VIF           | Variáveis | VIF   |
| <b>solar</b> | <b>39.481</b> | <b>massa_agua</b> | <b>16.413</b> | decli     | 9.111 |
| curva        | 25.342        | ordem4            | 10.371        | tri       | 7.932 |
| tri          | 18.890        | decli             | 9.149         | curva     | 5.141 |
| massa_agua   | 16.497        | tri               | 8.529         | ordem5    | 4.293 |
| decli        | 13.116        | ordem5            | 7.824         | ordem4    | 3.852 |
| ordem4       | 12.308        | curva             | 6.598         | tpi       | 3.785 |
| ordem5       | 9.864         | ordem3            | 6.330         | alt       | 3.118 |
| ordem3       | 7.260         | tpi               | 4.425         | ordem2    | 2.175 |
| tpi          | 6.355         | alt               | 4.396         | ordem3    | 1.791 |
| alt          | 5.499         | ordem2            | 3.088         | ndvi      | 1.776 |
| ndvi         | 3.306         | dir_decli         | 1.957         | dir_decli | 1.762 |
| ordem2       | 3.196         | ndvi              | 1.874         |           |       |
| dir_decli    | 2.926         |                   |               |           |       |

Tabela 6. Valores de AUC (normalizados em porcentagem) dos testes de contribuição e de permutação realizados pelo programa *MaxEnt* para o segundo modelo. Em negrito, foram retiradas da análise as variáveis ambientais de índice de rugosidade do terreno (*tri*), as de curvatura do terreno (*curva*) e de índice de posição topográfica (*tpi*).

| 1º teste <i>MaxEnt</i>   |                  |                | 2º teste <i>MaxEnt</i> |                  |                |
|--------------------------|------------------|----------------|------------------------|------------------|----------------|
| Variáveis                | Contribuição (%) | Permutação (%) | Variáveis              | Contribuição (%) | Permutação (%) |
| altimetria_longlat       | 35,4             | 26,7           | altimetria_longlat     | 34,7             | 6,3            |
| ordem_5_longlat          | 20,9             | 41,5           | ordem_5_longlat        | 25,5             | 45,7           |
| ndvi_longlat             | 15,8             | 11,9           | ndvi_longlat           | 13,6             | 11,7           |
| ordem_2_longlat          | 11               | 13,3           | ordem_2_longlat        | 11,1             | 10,6           |
| ordem_3_longlat          | 6,4              | 1,8            | ordem_3_longlat        | 5,3              | 19,4           |
| direcao_decli_longlat    | 4,3              | 0,8            | direcao_decli_longlat  | 3,6              | 0,5            |
| ordem_4_longlat          | 3,2              | 2,7            | declividade_longlat    | 3,1              | 1,1            |
| declividade_longlat      | 2,6              | 0,6            | ordem_4_longlat        | 3                | 4,7            |
| <b>tpi_norm_longlat2</b> | <b>0,4</b>       | <b>0,2</b>     |                        |                  |                |
| curvatura_longlat        | 0,1              | 0,5            |                        |                  |                |
| tri_longlat              | 0                | 0              |                        |                  |                |

Para o segundo modelo, foram utilizadas oito variáveis ambientais, sendo estabelecido, para o teste de validação, o uso de 25% da amostra de  $n = 20$  pontos de sítios. O modelo apresentou como resultados os valores de AUC para o *Training data* em  $AUC = 0.986$ , correspondente a  $n = 15$  pontos de sítios, e o *Test data* em  $AUC = 0.868$ , para  $n = 5$  pontos de sítios. Tais resultados forneceram valores elevados para a validação deste segundo modelo preditivo, apresentando as variáveis de altimetria e de distância de rios de 3ª ordem como as

de maior contribuição, devido ao fato de ter sido utilizada uma amostra mais homogênea e associada ao interflúvio, com sítios próximos a rios menores (Figuras 9 e 10).

O mapa do segundo modelo detalha as características da segunda amostra de sítios, semelhantes ao Cipoal do Araticum. É interessante notar o adensamento de locais

com alta probabilidade de ocorrência em áreas de interflúvio, o que reflete a mudança de amostra e também das variáveis utilizadas, que possuem resultado bastante promissor nas discussões sobre a construção de modelos preditivos e as inferências sobre o uso do espaço por populações pretéritas na Amazônia (Figura 11).

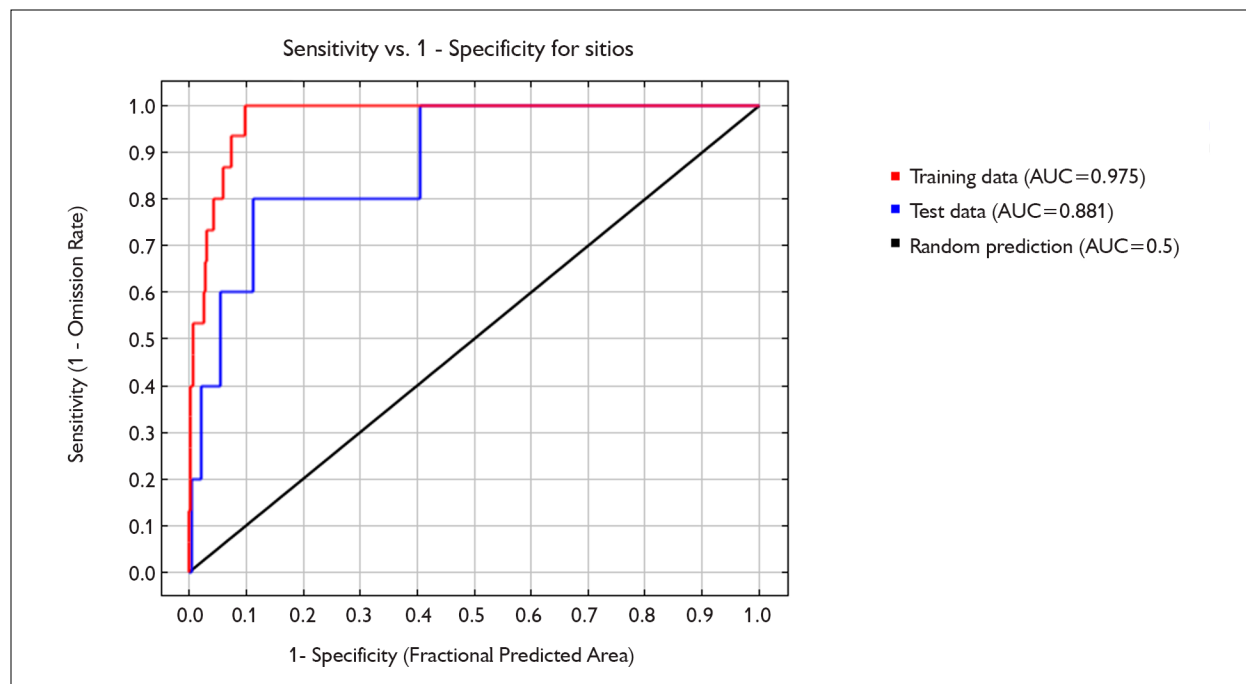


Figura 9. Valores de AUC para o segundo modelo criado, indicando resultados aceitáveis para a composição do modelo.

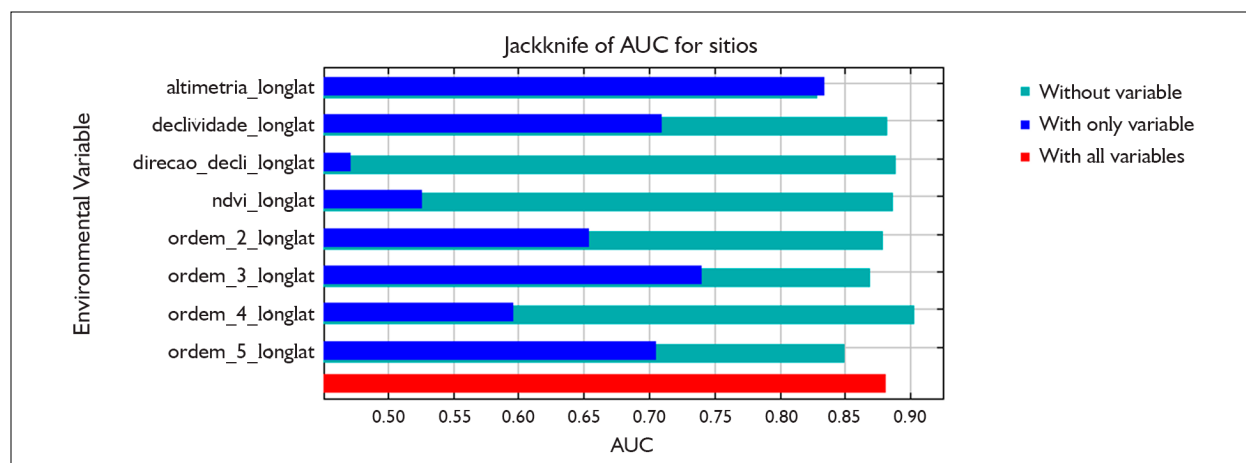


Figura 10. Valores de ganho de AUC para o teste *Jackknife*. As variáveis com maiores contribuições no segundo modelo foram a de altimetria e de rios de 3ª ordem, o que reflete uma amostra situada em locais de interflúvio, em cotas altimétricas mais elevadas e próxima de rios menores.



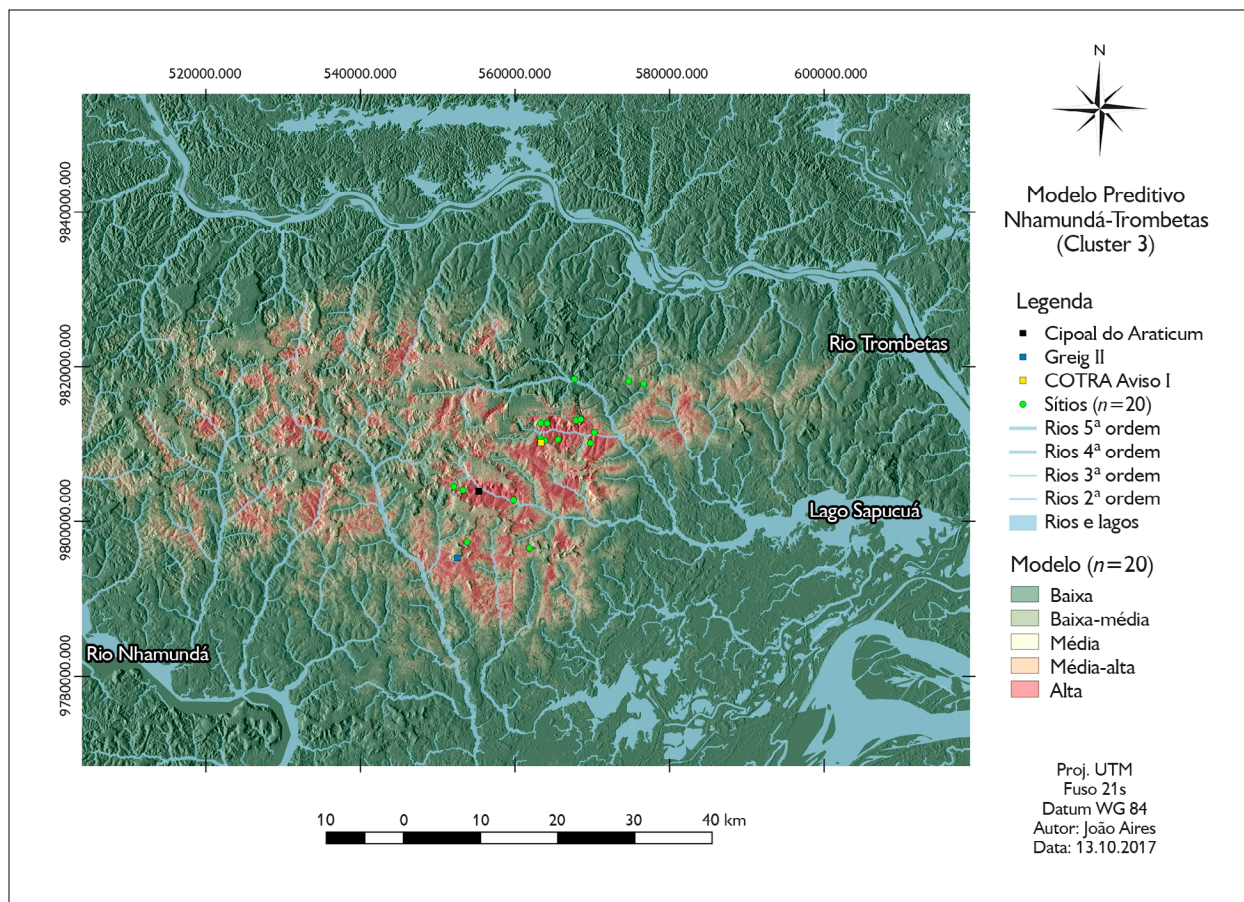


Figura 11. Segundo modelo preditivo criado com uma amostra de sítios ( $n = 20$ ) que compartilham características ambientais aproximadas. Nele, o sítio Cipoal do Araticum e áreas do entorno estão relacionados a locais com alto potencial de ocorrência de sítios arqueológicos em área de interflúvio. Mapa: João Aires da Fonseca (2017).

## ANÁLISES

O primeiro modelo preditivo possui uma configuração das áreas com alto potencial, as quais se encaixam perfeitamente nas inferências já bastante conhecidas da arqueologia amazônica: a de que os principais sítios com grandes extensões, com terra preta arqueológica e alta frequência de vestígios cerâmicos e líticos ocorrem ao longo dos principais rios e lagos, em alguns trechos de forma contínua e em outros de forma intercalada (Meggers, 1977, 1990).

Ao observarmos o mapa do primeiro modelo (Figura 6), existem grandes manchas indicando áreas com altos potenciais, situadas ao longo do rio Trombetas e

do lago do Sapucuí. De fato, este modelo representa a realidade de vários sítios arqueológicos com terra preta e fragmentos cerâmicos e líticos nestes locais. Contudo, deve-se considerar o fato de que, ao longo de mais de cinquenta anos de pesquisas arqueológicas na região, os registros de sítios foram realizados, em sua maioria, exatamente neste tipo de ambiente: nas proximidades dos rios Nhamundá e Trombetas e dos lagos principais. Poucos registros de sítios ocorreram em áreas do interior, de interflúvio destes rios, ressaltando que o sítio Cipoal do Araticum foi descoberto somente no ano de 2009, devido à expansão das atividades mineradoras e à necessidade de pesquisas arqueológicas em áreas ainda não levantadas.

Assim sendo, o sítio Cipoal do Araticum, dentro da amostra de  $n = 76$  sítios utilizada nesta pesquisa, possui uma posição espacial fora da média de ocorrência de sítios na região. Estatisticamente, ele é considerado um *outlier*, sendo que a sua representação em um modelo arqueológico preditivo pode ser mascarada ou 'mal interpretada' (Figura 6). Estes  $n = 76$  pontos de sítios ocorrem em diversas paisagens na área de estudo. Como o algoritmo de máxima entropia utiliza a média de ocorrência destes pontos em relação às variáveis ambientais, uma amostra que contenha coleta concentrada em determinado ambiente apresentará tendência de maiores concentrações no ambiente onde se tem o número mais expressivo de pontos coletados.

Isto é evidente ao observarmos a Figura 1, pois nela existe apenas a indicação de alguns pontos com alto potencial em áreas de interior, mas, em sua maioria, o interflúvio apresenta correlação de média para baixa probabilidade de sítios arqueológicos, incluindo o sítio Cipoal do Araticum, o que põe em dúvida a eficácia do modelo criado. Como seria possível um sítio com terra preta arqueológica e com dimensões de 400 x 600 m não fazer parte de indicativos de áreas com alta probabilidade de ocorrência de sítios?

A proposta do presente artigo incide justamente em modelar a paisagem onde o sítio Cipoal do Araticum está inserido, assim como busca verificar se existem outras áreas semelhantes. A saída encontrada para evitar o viés amostral descrito acima foi classificar a amostra de sítios por proximidade de valores das variáveis ambientais associadas. Assim, tem-se como hipótese de que certos ambientes foram escolhidos para um determinado uso por antigas ocupações humanas, havendo, atualmente, a localização de vestígios arqueológicos em compartimentos ambientais específicos: sítios situados ao longo das margens dos grandes rios e lagos; sítios situados em áreas intermediárias, próximos aos platôs da região, onde as grandezas dos rios são menores e ocorrem outros tipos de fauna e flora; e sítios situados no topo dos platôs, nas cotas altimétricas mais elevadas, onde existem as cabeceiras de rios ou nenhum curso de rio.

Dessa forma, estima-se que, para se compreender a distribuição de sítios arqueológicos em áreas de interflúvio, seja necessária a utilização de amostras e de variáveis relacionadas aos interflúvios. Como descrito anteriormente, este procedimento foi realizado com a classificação dos  $n = 76$  pontos compondo grupos que contivessem valores aproximados das variáveis ambientais, sendo selecionada a amostra do grupo onde está situado o sítio Cipoal do Araticum. Os resultados do segundo modelo apresentam um mapa no qual claramente a porção central onde está localizado o sítio Cipoal do Araticum possui grandes concentrações de áreas com alto potencial de locais favoráveis à ocorrência de sítios (Figura 11).

Sobre esse aspecto, é importante ressaltar que a utilização de modelos preditivos – e no caso da aplicação de modelos de distribuição de espécies, como o *MaxEnt*, as indicações de áreas com alto potencial de ocorrências de sítios – são correlações estabelecidas entre o ponto de sítio informado e os valores das variáveis ambientais. Dessa maneira, as áreas em vermelho no mapa (Figura 11) indicam locais muito próximos da topografia do terreno como sendo planos, distantes em torno de 400 m de algum trecho de rio, com cotas altimétricas por volta de 70 a 100 m em relação ao nível do mar, assim como observado no sítio Cipoal do Araticum. Nesta porção central, existem diversos espaços com estas características, onde não necessariamente estão situados sítios arqueológicos. Eles, todavia, representam a média dos valores das variáveis ambientais informadas e, por mais que em alguns trechos não venham a ser identificados vestígios arqueológicos, em muito se assemelham aos locais dos sítios informados na amostra.

Contudo, a variável de vegetação classificada através de *ndvi* pode vir a apresentar uma relação de causa e efeito. Ao considerarmos que a presença humana em um determinado lugar tenha alterado a composição da floresta, através de derrubada da vegetação para plantações ou para assentamentos, podemos arguir que a causa de uma vegetação específica, desenvolvida

posteriormente ao abandono do sítio, está associada às atividades humanas registradas nestes locais.

Tendo isso em mente, os levantamentos botânicos na área do sítio Cipoal do Araticum registraram a existência de um tipo de vegetação específica, contendo presença de lianas, um dossel mais baixo da vegetação em relação à floresta circundante e concentração de espécies vegetais úteis, com resinas e plantas medicinais, definindo-se, assim, uma floresta antropizada (Junqueira, 2010). Esta característica é tão evidente que é possível observá-la em imagens *Landsat 5* (Aires da Fonseca, 2013), sendo uma importante variável para a identificação de sítios em áreas florestadas, como no caso Floresta Nacional (FLONA) Saracá-Taquera, localizada na área de estudo deste artigo.

Outras evidências que suscitam florestas antropizadas nesta área de interflúvio do baixo curso dos rios Nhamundá e Trombetas são os resultados do levantamento botânico realizado por Salomão (2009), ao ter identificado alta concentração de castanheiras (*Bertholletia excelsa* H. & B.) no topo do platô Almeidas. No total, foram registradas 1.140 espécies, com abundância de 1,5 árvore/ha, enquanto que no platô Aviso, distante alguns quilômetros do Almeidas, foram observadas apenas sete espécies de castanheiras, com abundância 294 vezes inferior à registrada no Almeidas. De acordo com este autor, esse padrão espacial de distribuição de castanha é incomum, havendo a possibilidade de se considerar sua origem antrópica em decorrência da incidência de sítios arqueológicos na região (Figura 12).

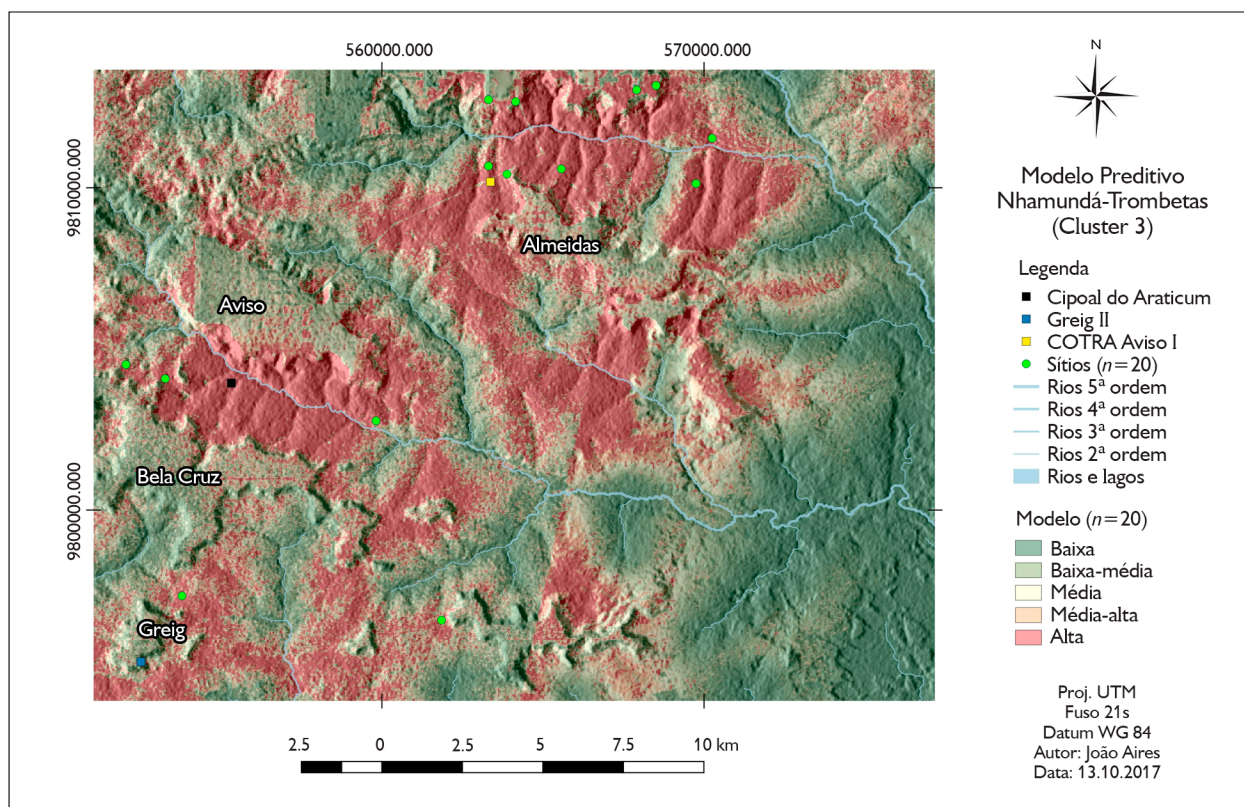


Figura 12. Detalhe do segundo modelo preditivo nos arredores dos platôs Almeidas, Aviso e Bela Cruz, indicadas como de alto potencial para incidência de sítios. No topo do platô Almeidas, foram registradas por Salomão (2009) mais de 1.100 espécies de castanheiras (*Bertholletia excelsa* H. & B.), suscitando a hipótese de influência humana devido a ocorrências de sítios arqueológicos nas proximidades. Mapa: João Aires da Fonseca (2017).



A possibilidade de uma origem antrópica dos castanhais identificados na região tem sido uma das principais abordagens científicas na arqueologia amazônica, na qual um dos enfoques incide em compreender em qual escala o homem pode ter manejado, ao longo de várias gerações, a composição das florestas e a formação de paisagens culturais (Balée, 1993; Clement et al., 2015).

Diante destes fatores, as indicações de áreas com alto potencial podem conter novos locais com sítios arqueológicos semelhantes ao Cipoal do Araticum. De acordo com o segundo modelo preditivo criado, existe clara disponibilidade de locais propícios à ocorrência de novos sítios no entorno do platô Almeidas e, com isso, possível dispersão de florestas antropizadas, provavelmente indicada pelos valores da variável ndvi. Ao considerarmos a incidência de um sítio com terra preta arqueológica em uma área de interflúvio, contendo datações que recuam 4.000 AP, estas áreas com alto potencial podem, hipoteticamente, ser classificadas como paisagens que evidenciam indigeneidade (Balée, 2008) ou espaços da cultura neotropical (Magalhães, 2013) (Figura 12).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da possibilidade de utilização de forma generalizada de modelos arqueológicos preditivos, abrangendo, por exemplo, a bacia do rio Amazonas inteira, acredita-se que, devido às especificidades dos sítios arqueológicos amazônicos e à heterogeneidade das paisagens que compõem as 'diversas Amazônia's', o uso da máxima entropia e a construção de modelos devem ser implementados a partir de parâmetros locais. Neste artigo, tomou-se como premissa a ideia de que determinados lugares na paisagem tiveram importante papel para antigos grupos indígenas, sendo estes espaços especificamente selecionados em razão das relações sociais e econômicas, como a possibilidade de manejo de espécies vegetais, a busca por caça ou por matérias-primas, aspectos estes imbuídos de significados, a exemplo de locais elevados na paisagem como exclusivos para práticas ritualísticas (Zedeño, 1997; Silva, 2013; Magalhães, 2013).

A pesquisa contida neste artigo teve como direcionamento apenas a classificação dos sítios arqueológicos em relação às variáveis ambientais que foram adquiridas de maneira remota com SIG, utilizando-se de imagens de satélite e de radar. Não existem dúvidas de que as combinações de novas variáveis explicativas – advindas de dados de escavações e de trabalho de laboratório, detalhando as dimensões dos sítios, a presença ou a ausência de terra preta arqueológica, os estilos cerâmicos recorrentes ou de inventários botânicos – poderão construir modelos ainda mais robustos.

Desta forma, espera-se que o uso de modelos preditivos se torne mais recorrente no meio acadêmico, ou de contrato, seja para a modelagem de dados espaciais de sítios, para a otimização de levantamentos de campo ou, ainda, para o seu uso na gestão de recursos culturais (CRM), de forma que o patrimônio arqueológico brasileiro possa se tornar mais visível e protegido.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). Brasília, 2017. Disponível em: <[www2.ana.gov.br](http://www2.ana.gov.br)>. Acesso em: 30 set. 2017.
- AIRES DA FONSECA, João. Aspectos teóricos e metodológicos no uso de modelos arqueológicos preditivos: uma abordagem na Amazônia brasileira. In: MAGALHÃES, Marcos Pereira (Org.). **Amazônia antropogênica**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2016. p. 177-198.
- AIRES DA FONSECA, João. Levantamento regional na arqueologia amazônica: o uso de sistema de informação geográfica e sensoriamento remoto. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, v. 8, n. 3, p. 675-690, set.-dez. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-81222013000300012>.
- BALÉE, William. Sobre a indigeneidade das paisagens. **Revista de Arqueologia**, Pelotas, v. 21, n. 2, p. 9-23, sem. 2008.
- BALÉE, William. Indigenous transformation of Amazonian forests: an example from Maranhão, Brazil. **L'Homme**, Lyon, v. 33, n. 126-128, p. 231-254, année 1993. DOI: <http://dx.doi.org/10.3406/hom.1993.369639>.
- BAXTER, Mike. **Notes on quantitative archaeology and R**. [S.l.: s.n.], 2015. Available at: <<http://www.academia.edu/12545743/>>. Access in: 30 Sept. 2017.



BRASIL. Instrução Normativa n. 1, de 25 de março de 2015. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 26 mar. 2015. Seção 1, p. 11.

CALDARELLI, Solange Bezerra; SANTOS, Maria do Carmo Mattos Monteiro dos. Arqueologia de contrato no Brasil. **Revista USP**, São Paulo, n. 44, p. 52-73, trim. 1999.

CARLSON, David L. **An R companion to statistics for archaeologists by Robert Drennan**. Texas, 2012. Available at: <<http://people.tamu.edu/~dcarlson/quant/Drennan/StatisticsArchaeologistsR.pdf>>. Access in: 16 Mar. 2018.

CLEMENT, Charles R.; DENEVAN, William M.; HECKENBERGER, Michael J.; JUNQUEIRA, André Braga; NEVES, Eduardo G.; TEIXEIRA, Wenceslau G.; WOODS, William I. The domestication of Amazonia before European conquest. **Proceedings of the Royal Society B**, London, v. 282, n. 1812, p. 2-9, July 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.0813>.

DRENNAN, Robert D. **Statistics for archaeologists: a commonsense approach**. 2nd ed. London: Springer, 2009.

EBERT, James I. The state of the art in “inductive” predictive modeling: seven big mistakes (and lots of smaller ones). In: WESCOTT, Konnie L.; BRANDON, R. Joe (Ed.). **Practical applications of GIS for archaeologists: a predictive modeling toolkit**. Philadelphia: Taylor & Francis, 2000. p. 137-142.

EVANS, Jeffrey S. **Spatialeco: spatial analysis and modelling utilities**. Version 0.0.1-7. [S.l.: s.n.], 2017. Available at: <<https://CRAN.R-project.org/package=spatialEco>>. Accessed on: 16 Mar. 2018.

GUAPINDAIA, Vera Lúcia Calandrini; AIRES DA FONSECA, João. Metodologia de delimitação no sítio arqueológico Cipoal do Araticum na região do rio Trombetas, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências. Humanas**, Belém, v. 8, n. 3, p. 657-673, set.-dez. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-81222013000300011>.

GUAPINDAIA, Vera Lúcia Calandrini; AIRES DA FONSECA, João. **Relatório de atividades de campo**. Sítio PA-OR-127: Cipoal do Araticum. Belém: MPEG, 2012. 50 f.

GUAPINDAIA, Vera Lúcia Calandrini; LOPES, Daniel. Estudos arqueológicos na região de Porto Trombetas, PA. **Revista de Arqueologia**, Pelotas, v. 24, n. 2, p. 50-73, sem. 2011. DOI: <https://doi.org/10.24885/sab.v24i2.327>.

GUAPINDAIA, Vera Lúcia Calandrini. **Além da margem do rio: a ocupação Konduri e Pocó na região de Porto Trombetas**, PA. 2008. 186 f. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

HILBERT, Peter Paul. **A cerâmica arqueológica da região de Oriximiná**. Belém: Instituto de Antropologia e Etnologia do Pará, 1955. (Publicação, 9).

HILBERT, Peter Paul; HILBERT, Klaus. Resultados preliminares da pesquisa arqueológica nos rios Nhamundá e Trombetas, Baixo Amazonas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série, Antropologia**, Belém, n. 75, p. 1-11, 1980.

JUNQUEIRA, André. **Relatório de atividades de campo**. Levantamento florístico do sítio arqueológico Cipoal do Araticum, PA. Belém: MPEG, 2010. 26 f.

KIPNIS, Renato. O uso de modelos preditivos para diagnosticar recursos arqueológicos em áreas a serem afetadas por empreendimentos de impacto ambiental. In: CALDARELLI, Solange Bezerra (Org.). **Atas do Simpósio sobre Política Nacional do Meio Ambiente e Patrimônio Cultural: repercussões dos dez anos da resolução CONAMA n. 001/86 sobre a pesquisa e a gestão dos recursos culturais no Brasil**. Goiânia: Fórum Interdisciplinar para o Avanço da Arqueologia/IGPA-UCG, 1997. p. 34-40.

MACHADO, Christiane Lopes. Sítios arqueológicos registrados na área da Floresta Nacional de Saracá-Taquera, estado do Pará. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Mineração Rio do Norte: plano de manejo para uso múltiplo da Floresta Nacional de Saracá-Taquera**. Belo Horizonte: STCP Engenharia de Projetos, 2001. p. 1-21.

MAGALHÃES, Marcos Pereira. Território cultural e a transformação da floresta em artefato social. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, v. 8, n. 2, p. 381-400, maio-ago. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-81222013000200010>.

MCMICHAEL, C. H.; PALACE, M. W.; BUSH, M. B.; BRASWELL, B.; HAGEN, S.; NEVES, E. G.; SILMAN, M. R.; TAMANAHA, E. K.; CZARNECKI, C. Predicting pre-Columbian anthropogenic soils in Amazonia. **Proceedings of the Royal Society B**, London, v. 281, n. 1777, p. 2-9, Jan. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.2475>.

MEGGERS, Betty J. Reconstrução do comportamento locacional pré-histórico na Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série, Antropologia**, Belém, v. 6, n. 2, p. 183-203, 1990.

MEGGERS, Betty J. **Amazônia: a ilusão de um paraíso**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1977.

MORAES, Claide de Paula; NEVES, Eduardo Góes. O ano 1000: adensamento populacional, interação e conflito na Amazônia Central. **Amazonica**, Belém, v. 4, n. 1, p. 122-148, mar. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/amazonica.v4i1.884>.

NAIMI, Babak; HAMM, Nicholas A. S.; GROEN, Thomas A.; SKIDMORE, Andrew K.; TOXOPEUS, Albertus G. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? **Ecography**, Hoboken, v. 37, n. 2, p. 191-203, Feb. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x>.

PAWLEY, Steven. **r.tri: Terrain Ruggedness Index**. Version 7.2. Germany: Grass Development Team, 2017. Available at: <<https://grass.osgeo.org/grass7/manuals/addons/r.tri.html>>. Access in: 16 Mar. 2018.

- PELLINI, José Roberto. Movimento e GIS: uma percepção da paisagem. **Habitus**, Goiânia, v. 6, n. 1-2, p. 171-186, 2008.
- PHILLIPS, Steven J.; ANDERSON, Robert P.; SCHAPIRE, Robert E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, New York, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, Jan. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>.
- PHILLIPS, Steven J.; DUDÍK, Miroslav; SCHAPIRE, Robert E. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In: BRODLEY, Carla (Ed.). **Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning**. New York: Association for Computing Machinery, 2004. p. 655-662.
- PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.
- R PROJECT for Statistical Computing. Version 3.3.3. Vienna, Austria: R Foundation, 2017. Available at: <<https://www.R-project.org/>>. Access in: 16 Mar. 2018.
- SALOMÃO, Rafael de Paiva. Densidade, estrutura e distribuição espacial de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. & B.) em dois platôs de floresta ombrófila densa na Amazônia setentrional brasileira. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 4, n. 1, p. 11-25, jan.-abr. 2009.
- SCIENCE FOR A CHANGING WORLD (USGS). **Geological Survey (US)**. [201-]. Available at: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Access in: 30 Sept. 2017.
- SILVA, Fabíola Andrea. Território, lugares e memória dos Asurini do Xingu. **Revista de Arqueologia**, Pelotas, v. 26, n. 1, p. 28-41, sem. 2013. DOI: <https://doi.org/10.24885/sab.v26i1.366>.
- SIMÕES, Mario F.; ARAUJO-COSTA, Fernanda. **Áreas da Amazônia Legal brasileira para pesquisa e cadastro de sítios arqueológicos**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1978. (Publicações Avulsas, 30).
- STENBORG, Per; SCHAAN, Denise Pahl; LIMA, Marcio Amaral. Precolumbian land use and settlement pattern in the Santarém region, lower Amazon. **Amazônica**, Belém, v. 4, n. 1, p. 222-250, mar. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/amazonica.v4i1.886>.
- VERHAGEN, Philip. **Case studies in archaeological predictive modeling**. Amsterdam: Leiden University, 2007.
- VERHAGEN, Philip; WHITLEY, Thomas G. Integrating archaeological theory and predictive modeling: a live report from the scene. **Journal of Archaeological Method and Theory**, Perth, v. 19, n. 1, p. 49-100, Mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10816-011-9102-7>.
- ZEDENHO, María Nieves. Landscapes, land use, and the history of territory formation: an exemple from puebloan southwest. **Journal of Archaeological Method and Theory**, Perth, v. 4, n. 1, p. 67-103, Mar. 1997.

**Apêndice.** Lista de sítios arqueológicos utilizados na pesquisa (Projeção UTM, Datum WGS 84, Fuso 21 S). Os nomes de alguns sítios compreendem o antigo sistema de cadastro de sítios arqueológicos empregados pelo Programa Nacional de Pesquisas Arqueológicas da Bacia Amazônica (PRONAPABA) (Simões; Araujo-Costa, 1978). A sigla PA-OR significa estado do Pará (PA) e a área de Oriximiná (OR), seguida da numeração do sítio arqueológico. A sigla COTRA corresponde à Correia Transportadora, em razão de os sítios terem sido identificados no local de instalação destas estruturas da empresa Mineração Rio do Norte (MRN), na região. (Continua)

|    | Sítios           | Leste  | Norte   |
|----|------------------|--------|---------|
| 1  | PA-OR-101        | 562739 | 9841830 |
| 2  | PA-OR-100        | 562946 | 9841718 |
| 3  | Perpétuo Socorro | 563411 | 9841675 |
| 4  | PA-OR-99         | 562911 | 9841193 |
| 5  | PA-OR-70         | 563368 | 9841236 |
| 6  | Maria Rama       | 563368 | 9841012 |
| 7  | PA-OR-93         | 566411 | 9839072 |
| 8  | PA-OR-63         | 567066 | 9838676 |
| 9  | PA-OR-114        | 567591 | 9838555 |
| 10 | PA-OR-111        | 564066 | 9833246 |
| 11 | PA-OR-110        | 564549 | 9834685 |
| 12 | PA-OR-109        | 565057 | 9835564 |
| 13 | PA-OR-79         | 568117 | 9834978 |
| 14 | PA-OR-68         | 572547 | 9837590 |
| 15 | PA-OR-84         | 572970 | 9837392 |
| 16 | PA-OR-105        | 571910 | 9835306 |
| 17 | PA-OR-94         | 572039 | 9833332 |
| 18 | PA-OR-83         | 573745 | 9832961 |
| 19 | PA-OR-81         | 573711 | 9832099 |
| 20 | PA-OR-78         | 574383 | 9831660 |
| 21 | Pantanal         | 574668 | 9831091 |
| 22 | PA-OR-66         | 574806 | 9831074 |
| 23 | PA-OR-104        | 573840 | 9830367 |
| 24 | PA-OR-85         | 574944 | 9832065 |
| 25 | PA-OR-82         | 574616 | 9832574 |
| 26 | JOCA             | 574349 | 9832901 |
| 27 | PA-OR-112        | 571539 | 9826325 |
| 28 | PA-OR-113        | 570737 | 9825868 |
| 29 | PA-OR-108        | 567678 | 9818378 |
| 30 | PA-OR-106        | 574711 | 9818128 |
| 31 | PA-OR-107        | 576641 | 9817783 |
| 32 | PA-OR-87         | 574857 | 9830091 |
| 33 | PA-OR-86         | 575409 | 9830841 |

Apêndice.

(Continua)

|    | Sítios             | Leste  | Norte   |
|----|--------------------|--------|---------|
| 34 | PA-OR-92           | 575926 | 9830703 |
| 35 | PA-OR-88           | 576857 | 9830177 |
| 36 | PA-OR-89           | 577581 | 9829988 |
| 37 | PA-OR-90           | 577840 | 9829919 |
| 38 | PA-OR-91           | 579003 | 9829557 |
| 39 | PA-OR-67           | 580011 | 9829135 |
| 40 | PA-OR-95           | 581141 | 9828997 |
| 41 | PA-OR-69           | 581934 | 9828764 |
| 42 | PA-OR-96           | 584106 | 9829738 |
| 43 | PA-OR-97           | 586157 | 9829402 |
| 44 | PA-OR-98           | 586648 | 9829453 |
| 45 | PA-OR-76           | 563308 | 9812733 |
| 46 | PA-OR-75           | 564153 | 9812672 |
| 47 | PA-OR-64           | 567910 | 9813034 |
| 48 | PA-OR-65           | 568514 | 9813172 |
| 49 | PA-OR-80           | 570255 | 9811534 |
| 50 | São Sebastião      | 569755 | 9810130 |
| 51 | PA-OR-77: Araticum | 559817 | 9802769 |
| 52 | PA-OR-115          | 558386 | 9787625 |
| 53 | PA-OR-116          | 558567 | 9785721 |
| 54 | PA-OR-59           | 582209 | 9797253 |
| 55 | PA-OR-60           | 581210 | 9797830 |
| 56 | PA-OR-61           | 581278 | 9798666 |
| 57 | PA-OR-58           | 583088 | 9797977 |
| 58 | PA-OR-57           | 589174 | 9798856 |
| 59 | PA-OR-56           | 585700 | 9802416 |
| 60 | PA-OR-55           | 590932 | 9801097 |
| 61 | PA-OR-54           | 599154 | 9804363 |
| 62 | PA-OR-53           | 603283 | 9803407 |
| 63 | PA-OR-50           | 607256 | 9803622 |
| 64 | PA-OR-52           | 611367 | 9802838 |
| 65 | PA-OR-51           | 614100 | 9801605 |
| 66 | COTRA Almeidas     | 565571 | 9810584 |
| 67 | COTRA Aviso III    | 563310 | 9810672 |
| 68 | COTRA Aviso II     | 563882 | 9810420 |
| 69 | COTRA Aviso I      | 563371 | 9810182 |



Apêndice.

(Conclusão)

|    | Sítios                        | Leste  | Norte   |
|----|-------------------------------|--------|---------|
| 70 | PA-OR-127: Cipoal do Araticum | 555326 | 9803939 |
| 71 | Bela Cruz II                  | 552054 | 9804510 |
| 72 | Bela Cruz I                   | 553272 | 9804073 |
| 73 | Greig I                       | 553795 | 9797334 |
| 74 | Greig II                      | 552517 | 9795288 |
| 75 | PA-OR-123: Aramã              | 561854 | 9796578 |
| 76 | PA-OR-127: Papagaio           | 565254 | 9819238 |