

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial

Guilherme Mendes Gonçalves

**ANÁLISE ESPACIAL E MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE
CAMPOS DE MURUNDUS NO SEMIÁRIDO MINEIRO E BAIANO (BRASIL)**

Belo Horizonte

2019

Guilherme Mendes Gonçalves

**ANÁLISE ESPACIAL E MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE
CAMPOS DE MURUNDUS NO SEMIÁRIDO MINEIRO E BAIANO (BRASIL)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Geografia.

Orientador: Dr. Henrique Paprocki

Área de concentração: Meio ambiente

Belo Horizonte

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

G635a	Gonçalves, Guilherme Mendes Análise espacial e modelagem de distribuição potencial de campos de murundus no semiárido mineiro e baiano (Brasil) / Guilherme Mendes Gonçalves. Belo Horizonte, 2019. 89 f. : il. Orientador: Henrique Paprocki Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial 1. Relevo (Geografia). 2. Solos. 3. Mapeamento geomorfológico. 4. Análise espacial (Estatística). 5. Paisagens. I. Paprocki, Henrique. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial. III. Título. CDU: 551.4
-------	---

Ficha catalográfica elaborada por Renata Diniz Guimarães de Oliveira - CRB 6/2646

Guilherme Mendes Gonçalves

**ANÁLISE ESPACIAL E MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE
CAMPOS DE MURUNDUS NO SEMIÁRIDO MINEIRO E BAIANO (BRASIL)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Geografia.

Área de concentração: Meio ambiente

Prof. Dr. Henrique Paprocki – PUC Minas (Orientador)

Prof. Dr. Sandro Laudares – PUC Minas (Banca Examinadora)

Prof. Dr. Fernando Verassani Laureano – PUC Minas (Banca Examinadora)

Prof. Dr. Tadeu José de Abreu Guerra – UFMG (Banca Examinadora)

Belo Horizonte, 27 de março de 2019.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser luz nos momentos difíceis, por sempre me dar mais forças para continuar, por direcionar e trilhar o caminho junto comigo, e por me conceder tantas conquistas.

Aos meus pais, Jaime e Maria de Lourdes, minha essência, que me ensinaram a melhor forma de viver a vida, sempre me apoiaram, se preocuparam, e ofereceram amor.

Aos meus irmãos e cunhadas, Adriano e Giselle, Rodrigo e Thaís, pelo carinho, companheirismo, suporte e aconchego de família.

Aos meus sobrinhos, André e Breno, pela compreensão nos momentos de ausência nas brincadeiras e nas partidas de videogame.

A minha avó, Dona Ana, o maior exemplo da família, que incentiva os meus estudos desde sempre e é uma verdadeira guerreira.

A todos os familiares que sempre apoiaram e perguntavam como estava o mestrado, afinal, “família veio ao mundo para cuidar de família”.

Ao Professor Dr. Henrique Paprocki, pela orientação, pelo direcionamento para finalizarmos juntos este trabalho, pelo incentivo à ciência, pela compreensão nos momentos de desespero e pela tranquilidade em sempre tratar tudo com muita cautela e sensatez.

Aos membros da banca de qualificação, Dr. João Henrique Rettore Totaro e Dr. Sandro Laudares, pelo cuidado em auxiliar com sugestões o desenvolvimento da pesquisa.

Aos membros da banca de defesa, Dr. Sandro Laudares, Dr. Fernando Verassani e Dr. Tadeu Guerra que se dispuseram em ler e participar desse momento de finalização, oferecendo os melhores conselhos.

Ao corpo docente do PPGG-TIE, pela excelência em ensinar.

Aos funcionários do PPGG-TIE, em especial a Tatiane, Sirlane, Beth e Matheus.

Ao meu amigo Rafael Inácio, por ter me incentivado e aconselhado durante o percurso, por ser minha base. Amigo/irmão que agradeço tanto pela amizade.

Ao meu melhor amigo e irmão, Gustavo Paraguai, simplesmente por ser o melhor, por vibrar as conquistas junto comigo, por aguentar os momentos de desabafo e desespero. E claro, agradeço também a minha afilhada, Ludmila, que sempre esteve na torcida.

Aos meus amigos do “Povo Bonito”: Jeneffer Almeida, Elisa Yara e Mariana Moreira, que começamos juntos na graduação e permanecemos na certeza de uma amizade eterna.

Aos amigos do EJC, que gostaria de agradecer a cada um individualmente, que são verdadeiros presentes de Deus, por estarem presentes e se preocuparem comigo.

Aos colegas da turma de mestrado, em especial o Zé Henrique, pelas ajudas nas aulas e nos momentos difíceis e por compartilharem tantas experiências.

Ao CNPq, pela bolsa de mestrado.

Por fim, agradeço a todos que estiveram na torcida, que contribuíram e que de alguma forma se envolveram durante o meu mestrado.

“A geografia tem suas raízes na busca e no entendimento da diferenciação de lugares, regiões, países e continentes, resultante das relações entre os homens e entre estes e a natureza.”

Roberto Lobato Corrêa (1987)

RESUMO

Parte da região norte de Minas Gerais e da região centro-sul do estado da Bahia encontra-se coberta por grandes cupinzeiros fósseis, localmente denominados de “murundus”. Constituem estruturas biogênicas de forma cônica que apresentam entre 2 e 4 metros de altura e vários metros de diâmetro basal. Estes murundus (ou termitaria) formam expressivos campos na paisagem que recobrem um território da ordem de 112.000 km².

Os objetivos desta pesquisa buscam avançar no conhecimento sobre a ocupação pretérita e atual e o contexto ambiental de uma extensa termitaria que ocorre no centro-sul da Bahia e norte de Minas Gerais. Objetivou-se mais especificamente o mapear, através de técnicas de sensoriamento remoto e imagens de satélite do Google Earth Pro, os campos de cupinzeiros na área de pesquisa e a análise de distribuição potencial de campos de murundus, através do *software* Maxent.

A estratégia de investigação utilizou o georreferenciamento e a contagem de murundus em parcelas aleatórias sorteadas em um levantamento de grade na área de pesquisa. Além disso, foram correlacionadas as ocorrências dos termiteiros com 27 variáveis bioclimáticas e ambientais, através do *software* ArcGis. A Caatinga (e uma área de amortecimento de 250km) foi usada como recorte geográfico para a modelagem de distribuição potencial de campos de murundus, executada pelo programa Maxent.

Os resultados obtidos indicaram que o alcance de distribuição dos grandes cupinzeiros é muito maior do que o indicado pelos registros de ocorrência apontados na literatura. Também foi apontado que as variáveis de temperatura, precipitação e vegetação, dentre as utilizadas, podem ser as principais preditoras da distribuição de cupinzeiros no semiárido mineiro e baiano. A validação externa demonstrou de fato a existência dos murundus nas áreas presumidas pelo modelo.

Esta pesquisa é primeira parte de um projeto maior, sendo que nas etapas posteriores, tem-se a expectativa o trabalho de campo e a datação com ¹⁴C de amostras coletadas de murundus, para fins de obtenção de idades radiométricas.

Palavras chave: Campos de Murundus; Modelagem Espacial; Semiárido; Geoprocessamento.

ABSTRACT

Part of the northern region of Minas Gerais and the south-central region of the state of Bahia is covered by large fossil termites, locally called murundus. They are congeneric biogenic structures that are between 2 and 4 meters in height and several meters in basal diameter. These murundus (or termites) form expressive fields in the landscape that cover a territory of the order of 112,000 km².

The objectives of this research are to advance the knowledge about the past and present occupation and the environmental context of an extensive termite that occurs in the center-south of Bahia and north of Minas Gerais. The objective was to map, through remote sensing techniques and satellite images of Google Earth Pro, the termite fields in the research area and the analysis of potential distribution of murundus fields, through Maxent software.

The research strategy used the georeferencing and murundus counts in random plots randomly selected in a grid survey in the research area. In addition, the occurrence of the termites with 27 bioclimatic and environmental variables was correlated through ArcGis software. The Caatinga (and a 250km damping area) was used as geographic clipping for the modeling of potential distribution of murundus fields, executed by the Maxent program.

The results indicate that the distribution range of large termite mounds is much larger than that indicated by the records of occurrence indicated in the literature. It was also pointed out that the variables of temperature, precipitation and vegetation, among those used, may be the main predictors of termite distribution in the Minas and Bahia semi - arid regions. External validation has actually demonstrated the existence of murundus in the areas presumed by the model.

This research is the first part of a larger project, and in the later stages we have the expectation of fieldwork and ¹⁴C dating of samples collected from murundus, in order to obtain radiometric ages.

Keywords: Fields of Murundus; Spatial Modeling; Semi-arid; Geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Fotografias de murundus do semiárido nordestino	35
FIGURA 2 – Ilustração de exemplo do processo de erosão na gênese de murundus.....	38
FIGURA 3 – Fotografias de montes tipo mima em uma área natural preservada em Washington (EUA).....	41
FIGURA 4 – Fotografias de montes tipo heuweltjies da África do Sul	42
FIGURA 5 – Mapa de localização da área desta pesquisa baseada na delimitação por Funch (2015).....	46
FIGURA 6 – Recorte de uma parcela (ponto 8) (1000 x 1500m) da grade de amostragem sobreposta na área de pesquisa.....	51
FIGURA 7 – Mapa dos pontos aleatórios sorteados para análise da espacialização de murundus	52
FIGURA 8 – Exemplo de mapeamento dos murundus em uma parcela sorteada (ponto 8) ...	53
FIGURA 9 – Localização da área de modelagem.....	58
FIGURA 10 – Localização das parcelas com ocorrências de murundus	63
FIGURA 11 – Pontos selecionados pela rarefação simples.....	67
FIGURA 12 – Modelo de distribuição potencial de murundus	70
FIGURA 13 – Teste Jackknife de ganho	73
FIGURA 14 – Exemplo das parcelas selecionadas para validação externa do modelo.....	76
FIGURA 15 – Parcelas selecionadas para validação externa do modelo	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Variáveis utilizadas para modelagem de adequabilidade de murundus	56
TABELA 2 – Informações sobre as imagens de satélite e a contagem de murundus	65
TABELA 3 - Contribuição (%) das variáveis ambientais usadas para modelar a distribuição geográfica potencial de murundus.....	71
TABELA 4 – Parâmetros para validação do modelo	74
TABELA 5 – Localização dos pontos externos de amostragem	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SIG – Sistema de Informação Geográfica

DF – Distrito Federal

EUA – Estados Unidos da América

BA – Bahia

MG – Minas Gerais

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

PPGG / TIE – Programa de Pós-Graduação em Geografia / Tratamento da Informação Espacial

KML – *Keyhole Markup Language*

AMBDATA – Variáveis Ambientais para Modelagem de Distribuição de Espécies

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PCA – *Principal Component Analysis* (Análise de Componentes Principais)

AUC – *Area Under Curve*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
2 REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1 Abordagem metodológica	29
2.1.1 <i>Abordagem Sistêmica</i>	29
2.1.2 <i>Abordagem Geossistêmica</i>	30
2.2 Cupins e suas edificações	31
2.2.1 <i>Syntermes dirus</i>	33
2.3 Campos de murundus	33
2.3.1 <i>Origem dos murundus</i>	36
2.3.1.1 <i>Gênese biótica.....</i>	36
2.3.1.2 <i>Gênese abiótica.....</i>	37
2.4 Outros tipos de montes de terra	39
2.4.1 <i>Montes Mima</i>	40
2.4.2 <i>Montes Heuweltjies</i>	41
2. 5 Estudos realizados com murundus do semiárido	43
3 METODOLOGIA.....	45
3.1 Caracterização da área de estudo	45
3.1.1 <i>Clima e hidrografia</i>	47
3.1.2 <i>Vegetação e fauna</i>	48
3.1.3 <i>Geologia</i>	48
3.1.4 <i>Relevo</i>	49
3.2 Materiais e técnicas	49
3.2.1 <i>Pesquisa bibliográfica.....</i>	49
3.2.2 <i>Geoprocessamento de imagens do Google Earth e seleção de pontos aleatórios</i>	50
3.2.3 <i>Eliminação de registros de ocorrência redundantes.....</i>	54
3.2.4 <i>Variáveis ambientais</i>	54
3.2.5 <i>Recorte ambiental para modelagem.....</i>	57
3.2.6 <i>Tratamento e padronização das variáveis</i>	58
3.2.7 <i>Elaboração do modelo.....</i>	59
3.2.8 <i>Avaliação da qualidade do modelo</i>	60

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1 Imagens selecionadas e contagem dos murundus	63
4.2 Rarefação simples	66
4.3 Análise de componentes principais (PCA) das variáveis bioclimáticas e ambientais	67
4.4 Modelo de distribuição potencial de murundus	68
4.5 Validação do modelo	73
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS	83

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é detentor da maior biodiversidade do planeta e sua distribuição no território brasileiro não é estática quando se considera fenômenos geológicos como a tectônica de placas e as mudanças climáticas (MMA, 2002; BUCKERIDGE, 2007). Nem mesmo quando a esta diversidade se sobrepõe as interferências antrópicas. Ademais, a compreensão de como a biodiversidade responde às pressões diversas, naturais ou não, constitui uma das principais ferramentas da humanidade na previsão de fenômenos e mudanças ambientais, traduzindo-se em técnicas e ações de diminuição dos efeitos globais derivados da supremacia antrópica no planeta (MARENGO, 2006).

O clima da América do Sul é reconhecidamente marcado por eventos oscilatórios que alteram o regime de chuvas na região central do Brasil. O mais famoso destes eventos é o *El Niño* que tem duração entre 2 e 6 anos e está associado à alterações da temperatura do Oceano Pacífico na costa do Peru. Contudo, o entendimento destes fenômenos no passado é limitado por um monitoramento de longo prazo cujos dados confiáveis não estendem mais do que uma centena de anos (GARREAUD et al., 2009).

Se por um lado, o avanço e recuo das geleiras no hemisfério norte geraram certa abundância de registros geológicos referentes às oscilações climáticas ocorridas dos últimos milhões de anos na Europa e na América do Norte, nos trópicos os registros são escassos. Grande parte dos avanços obtidos nas últimas décadas sobre a variação da pluviosidade nos últimos milhares de anos vem de estudos isotópicos realizados em espeleotemas, ou formações de cavernas (WANG et al., 2004; CRUZ JR et al., 2009).

Estes estudos mostram que existem associações entre variações de pluviosidade no Brasil central e os ciclos de escala orbital que desencadearam os avanços e recuos de geleiras no hemisfério norte, mas os eventos mais significativos de aumento da pluviosidade são na verdade resposta dos eventos de escala milenar, que promovem períodos super úmidos no nordeste brasileiro, onde atualmente predominam condições semiáridas a áridas. Entretanto, pouco se sabe como e com que intensidade tais eventos úmidos emolduraram transformações no ambiente (WANG et al., 2004; CRUZ JR et al., 2009).

A área de pesquisa deste estudo comporta parte da Caatinga e semiárido brasileiro, abrangendo a região norte de Minas Gerais (MG) e a região centro-sul do estado da Bahia (BA). Esta área encontra-se coberta por grandes cupinzeiros, localmente denominados de “murundus”. Se constituem de estruturas biogênicas com forma cônica que apresentam entre 2 e 4 metros de altura e cerca de 9 metros de diâmetro basal. Estes murundus formam expressivos

campos na paisagem que recobrem um território da ordem de 112.000 km², onde a densidade chega a ser superior a 40 ocorrências por hectare (FUNCH, 2015). A grande área de ocorrência destes campos de murundus sugere que os mesmos não estejam associados somente a fatores locais e evocam fenômenos ou processos de escala regional ou mesmo global.

Os cupins dominam a paisagem com suas edificações (ninhos ou termiteiros) em muitos ecossistemas tropicais e podem superar, em número de indivíduos ou biomassa, quase todos os outros grupos de insetos. Esse comportamento construtor, por consequência, modifica a estrutura dos solos, promovendo um aumento de porosidade e do transporte de partículas minerais para a superfície (OLIVEIRA-FILHO, 1992).

Dessa forma, os cupins destacam-se pela sua abundância e importância ecológica, sendo os maiores consumidores de folhas, madeiras e outros detritos em decomposição nas florestas tropicais (VASCONCELOS et al., 2005). Esses insetos são considerados “engenheiros de ecossistemas”, uma vez que suas atividades alteram a estrutura dos ecossistemas, podendo influenciar a disponibilidade de recursos para outros organismos de categorias tróficas diferentes (LAVELLE et al., 1997).

Estudos preliminares conduzidos por Funch (2015) indicam que a termitaria existente na área de estudo foi aparentemente erguida por cupins da espécie *Syntermes dirus* (Burmeister, 1939) (Isoptera, Termitidae) e, atualmente, encontra-se sobre o dossel de uma mata seca, ao longo de uma região onde predominam condições semiáridas. No entanto, nenhuma explicação detalhada ou evidência conclusiva foi apresentada pelo autor. Por outro lado, Silva e colaboradores (2010) argumentaram que no Brasil tais ocorrências encontram-se frequentemente na transição floresta-cerrado.

O ecótopo de campos de cupinzeiros, campos de murundus ou termitaria é conhecido em outras regiões do Brasil (RESENDE et al., 2004) e do globo (ROSS et al., 1968; COX et al., 1989; PICKER et al., 2007) e no entanto, não há consenso ou uma explicação única para sua gênese e evolução. Estudos apontam para fatores locais, nem sempre biogênicos, para sua perduração na paisagem como alterações na vegetação (RAHLAO et al., 2008), erosão diferencial (SILVA et al., 2010) e mesmo eventos sísmicos (BERG, 1990).

Estas extensas ocorrências no semiárido nordestino são derivadas de um único evento gerador? Elas estão associadas à mudanças climáticas passadas? A princípio, levanta-se a hipótese de que tais campos de murundus registrem mudanças de condições ambientais. Esta hipótese é, em parte, sustentada por estudos paleoclimáticos conduzidos no semiárido nordestino que mostram a ocorrência de eventos muito úmidos, quando as condições de pluviosidade nesta parte do território brasileiro eram bem diferentes da atual (WANG et al.,

2004; CRUZ JR. et al., 2009; 2009a). Tais eventos duraram entre algumas centenas e poucos milhares de anos e estão associados com excursões para o sul da Zona de Convergência Intertropical em resposta às interações oceano-atmosfera durante períodos de intensificação da deriva de icebergs no Atlântico Norte (BOND et al., 1992; BOND et al., 1993).

Há evidências de mudanças ambientais associadas a estes eventos úmidos. Auler e Smart (2001) reportam mudanças hidrológicas no sertão baiano. Auler et al. (2004) identificaram registros de uma fitofisionomia fóssil muito distinta da Caatinga que atualmente ocupa as bacias dos rios Jacaré e Salitre no interior da Bahia. Os autores sugerem uma possível expansão da Mata Atlântica em direção a Floresta Amazônica ao longo de uma área hoje incluída no polígono da seca.

A avaliação de como fatores naturais, como as mudanças climáticas globais, ou fatores antrópicos, como o desmatamento, afetam a distribuição da biodiversidade é atual e recorrente na literatura científica. Para além do entendimento dos fatores que levaram a uma possível explosão populacional de termiteiros, o estudo de caso de como uma paisagem foi modificada pelos cupins ajuda a esclarecer como estes processos podem atuar no futuro, contribuindo para elaboração de medidas mitigadoras e adaptativas que previnam extinções.

Embora apresentem uma distribuição regional, os campos de murundus, ainda carecem de investigações sistemáticas. Alguns estudos foram conduzidos no sentido de caracterizar sua distribuição e ocupação (OLIVEIRA, 2014; FUNCH, 2015, SOUZA e DELABIE, 2016; SOUZA e DELABIE, 2017). Além destas informações merecerem mais detalhamento, questões como as características ambientais que proporcionaram seu sucesso e as interações ecológicas desempenhadas por esta comunidade são desconhecidas. Existe, pois, um leque amplo de resultados que podem decorrer de sua investigação. Destaca-se a possibilidade de serem encontradas diferentes espécies envolvidas na construção e colonização dos edifícios e as condições que suportaram a comunidade a ocupar um território tão amplo.

Funch (2015) aponta que a capacidade de mapear mais precisamente estes campos de murundus, aumentou desde a melhoria das resoluções das imagens do Google Earth. O autor pôde constatar que a área de ocorrência central compreende aproximadamente 90 milhões de termitarias e ainda expressa que a capacidade de visualizar essas estruturas usando imagens de satélite de fonte aberta facilita grandemente pesquisas nessa área.

A informação contida nas imagens de satélite pode ser combinada com o Sistema de Informação Geográfica (SIG). E a utilização dos SIGs vem crescendo rapidamente em todo o mundo. Dentre várias definições, o SIG é um:

“conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e pessoas (usuário), perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada de sua aplicação” (FILHO & IOCHPE, 1996 apud TEIXEIRA, 95).

E o Google Earth, um dos principais aliados desta pesquisa, é um aplicativo que oferece ao usuário um globo virtual composto por imagens de satélite ou fotos aéreas de todo o planeta. Este aplicativo oferece navegação por imagens de alta resolução e exploração do planeta virtualmente. Além das imagens, o aplicativo também possibilita a sobreposição de camadas de um SIG (TORLAY e OSHIRO, 2011).

Tendo em vista os aspectos apresentados, a pesquisa proposta constitui o primeiro passo, de estudos mais amplos na direção de testar a hipótese de que os campos de cupinzeiros encontrados na área de pesquisa são testemunhos de mudanças ambientais e climáticas ocorridas em um passado geológico não muito distante. Para além da oportunidade de investigação acerca de condições ambientais vigentes no passado, os campos de murundus configuram muito provavelmente um ícone global dos processos de bioturbação (movimentação de componentes do solo por organismos) na emolduração da paisagem.

Assim sendo, esta pesquisa tem por objetivo geral avançar no conhecimento sobre uma extensa termitaria que ocorre no semiárido da região norte de Minas Gerais e centro-sul da Bahia. Mais especificamente, objetiva-se: **i** - Ampliar a área de amostragem e o número de murundus investigados; **ii** – Mapear, através de imagens de satélite do Google Earth Pro, os campos de cupinzeiros na área de pesquisa; **iii** – Correlacionar a área de ocorrência com variáveis ambientais já mapeadas e disponíveis na literatura como: relevo, solos, clima e vegetação; **iv** – análise de distribuição potencial de campos de murundus, através do *software* Maxent.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção é composta pelo plano de sustentação argumentativo, expressando os conteúdos de base necessários para o desenvolvimento do tema de pesquisa. Será apresentada a abordagem pela qual este estudo se orientará; um resumo sobre os cupins e a espécie formadora dos murundus em questão; as outras formas de edificações de térmites no mundo; as teorias de formação dos murundus; e outros estudos realizados na área de pesquisa.

2.1 Abordagem metodológica

A abordagem metodológica assumida nesta pesquisa consistirá na conexão de diversos elementos da paisagem, sendo assim, direcionada principalmente pelos métodos sistêmico e geossistêmico. Elementos estes, que compõem a paisagem do local de estudo, tais como fatores bióticos e abióticos.

Guimarães (2004) aponta que na descrição de uma paisagem como um todo, deve-se estabelecer uma abordagem integrada. Para se entender os componentes ambientais e a dinâmica das relações espaço-temporais da paisagem, a autora aponta a necessidade de desenvolvimento de uma análise sistêmica.

Em complemento mais específico a essa análise, a abordagem geossistêmica assume uma conduta de síntese da geografia física. Guimarães (2004) também reforça que “as concepções sobre o geossistema como unidade de análise são unânimes, por distinguir o caráter dinâmico das relações espaciais e as consequentes modificações expressas na paisagem”.

A fim de se averiguar as conexões e os fluxos espaciais e temporais correspondentes aos elementos componentes do sistema estudado, a abordagem metodológica foi dividida em etapas consecutivas e complementares. Os procedimentos vão desde a pesquisa bibliográfica de base, até a integração e discussão dos resultados.

2.1.1 Abordagem Sistêmica

O pensamento sistêmico sempre esteve presente no desenvolvimento da humanidade e consequentemente na evolução da ciência, mesmo que não exposto explicitamente. As grandes obras que unificaram o pensamento geográfico, tais como o movimento do Enciclopedismo (século XVIII), ou o *Atlas général Vidal-Lablache* (1984), são grandes exemplos de que a ideia sistêmica sempre foi fortemente influenciadora na produção da ciência.

Somente na década de 1950, o biólogo Ludwig von Bertalanffy (1901 – 1972) publicou seus trabalhos sobre a Teoria Geral dos Sistemas e a ideia foi explicitada cientificamente. O autor concentrou a produção de conceitos que exprimissem a integração das ciências naturais e sociais. Essa teoria manifesta uma forma sistêmica e científica de aproximação da realidade, permitindo sua adoção em diversos campos interdisciplinares (ARNOLD e OSORIO, 1998).

Arnold e Osorio (1998) apontam que “os sistemas representam conjuntos de elementos que guardam estreitas relações entre si, mantendo-se unidos e dinamicamente estáveis, cujo comportamento global se manifesta em direção a um objetivo”.

Em complemento a ideia anterior, pode-se tomar a conceituação de Durand *apud* Branco (1999), que indica que a abordagem sistêmica é regida por quatro conceitos principais. A interação entre os elementos é a ação que altera o comportamento deles próprios; a totalidade de um sistema implica em aparecimento de características emergentes, as quais não existiam nas partes; a organização consiste em um arranjo de relações entre elementos, sendo um dos principais fatores de um sistema; a complexidade exprime aquilo que identifica cada sistema e a riqueza de informações que ele contém (LOPES, SILVA e GOULART, 2015).

No contexto da presente pesquisa, a biogeografia, ciência responsável por estudar as características que determinam a distribuição da vida (BROWN e LOMOLINO, 2006) pode ser considerada uma proposta sistêmica de conhecimento. A biogeografia trata os elementos da biota ou bioma, de forma a ter como base a localização e evolução temporal deles através da relação com o meio, evidenciando a visão sistêmica (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003).

Em síntese, não se pretende aqui explicar sobre a Teoria Geral dos Sistemas, até mesmo por sua complexidade, mas sim abordar alguns conceitos introdutórios e norteadores dessa pesquisa. Convém destacar, portanto, a necessidade da utilização de um pensamento sistêmico, tendo em vista a capacidade que essa abordagem possui de analisar as partes, suas conexões e fluxos e o todo.

2.1.2 Abordagem Geossistêmica

De acordo com Monteiro (1986), “a escola alemã foi precursora da análise geográfica integradora propondo, ao longo das décadas de 60 e 70, um novo referencial teórico, representado pelo Geossistema, para nortear os estudos da paisagem”. Assim sendo, como um complemento mais específico da abordagem sistêmica supracitada, a perspectiva geossistêmica é essencial para desenvolvimento da metodologia desta pesquisa.

Dentre as abordagens sobre essa temática que mais influenciaram os estudos geográficos, foram as contribuições de Bertrand e de Sotchava (e de seus seguidores), por meio das pesquisas desenvolvidas, respectivamente, na região do Pirineus, a oeste da França e nas planícies siberianas da União Soviética (MONTEIRO, 1986).

Guimarães (2004) cita que “para Sotchava (1977) os geossistemas constituem-se em complexos essencialmente ‘dinâmicos, flexíveis, abertos e hierarquicamente organizados’. E para Bertrand (1971), os geossistemas definem unidades dinâmicas da paisagem resultante da combinação de fatores bióticos e abióticos peculiares, derivados de processos evolutivos semelhantes.”

Os dois autores, Sotchava (1977) e Bertrand (1971), convergem suas ideias ao apontarem que a noção para o entendimento de uma paisagem não está só em sua morfologia, mas principalmente na conexão entre seus elementos. Inclui-se a conexão da dinâmica e a estrutura funcional dos elementos bióticos, abióticos e antrópicos que configuram a paisagem um conjunto de características exclusivas.

O geossistema também pode ser incluído como elemento norteador dos estudos da geografia física aplicados à paisagem, referindo-se à um sistema organizado e estruturado. (DEMEK, 1978)

Considerando-se os aspectos apontados, espera-se que com as abordagens sistêmica e geossistêmica, sejam feitas as conexões entre os diversos elementos componentes deste estudo. Serão usadas condições bioclimáticas e elementos físicos da região semiárida nordestina, como a vegetação, clima, solo e demais componentes, a fim de relacionar este contexto ambiental com a ocupação dos campos de murundus.

2.2 Cupins e suas edificações

Os cupins são insetos sociais da ordem Isoptera, que contém cerca de 2750 espécies descritas no mundo. O Brasil, com sua vasta diversidade ecológica, tem uma das termitofaunas mais diversas do mundo, com registro de cerca de 290 espécies. Estes insetos são bem conhecidos por sua importância econômica como pragas de madeira, mas também por seu singular sistema social. Componentes da fauna de solo de regiões tropicais exercem papel essencial nos processos de ciclagem de nutrientes e decomposição (VASCONCELLOS, 2003).

Grande parte das espécies de térmitas vive nas regiões tropicais e subtropicais, com algumas poucas exceções encontradas em latitudes mais elevadas, raramente além de 40° norte

ou sul. A região Neotropical é a segunda em número de espécies conhecidas de cupins, ficando atrás apenas da região Etiópica (VASCONCELLOS, 2003).

De acordo com Vasconcellos (2003), a distribuição, abundância e diversidade de cupins em escala local e regional podem ser influenciadas por vários fatores antrópicos e naturais. Dentre os fatores antropogênicos podem ser citados o desmatamento, a fragmentação de habitat e a conversão de áreas em monocultura e pastagem. Entre os aspectos naturais, destacam-se a latitude e altitude, o clima, fatores históricos, o tipo e o estágio de sucessão da vegetação, as características físicas e químicas do solo, a competição inter e intraespecífica e por fim, a predação.

Cupins estão envolvidos em muitos processos ecológicos e desempenham funções importantes no ambiente (JOUQUET et al., 2014). Estudos teóricos demonstram que mudanças climáticas podem interferir no tamanho do território ocupado por cupins, bem como sua distribuição espacial (LEE e CHON, 2011).

Dias et al. (2012) encontraram um indicativo de que os cupins buscam condições de solo mais favoráveis para o estabelecimento de suas colônias. De acordo com os autores, “quanto maior a quantidade de areia no solo menor a possibilidade de serem encontrados cupinzeiros e quanto mais alta for a estabilidade de agregados do solo, maior é a chance de ocorrência de cupins”.

A vida colonial dos térmites gera a edificação de ninhos que abrigam os reprodutores e sua prole. Os ninhos de diferentes espécies possuem características estruturais (tipo de material e local de construção) diferentes (NOIROT, 1970). Dessa forma, os cupinzeiros podem ser:

- Ninho em madeira, onde os cupins vivem confinados no interior de sua fonte nutricional;
- Arborícolas, construídos sobre as árvores vivas ou mortas, não mantendo contato direto com a superfície do solo;
- Epígeos ou montículos, iniciados geralmente abaixo da superfície do solo, mas com o passar do tempo, ficam com uma porção aérea;
- Hipógeos ou subterrâneos, com estrutura inserida completamente no interior do solo.

2.2.1 *Syntermes dirus*

Conforme referenciado anteriormente, Funch (2015) considera como construtora dos murundus do semiárido mineiro e baiano, a espécie *Syntermes dirus*. Pertencente à família Termitidae, o gênero *Syntermes* está limitado às savanas e florestas tropicais da América do Sul. O autor Emerson (1945) descreve que “embora este gênero ou seu ancestral genérico imediato deva ter existido antes da dispersão cretácea dos gêneros derivados *Nasutitermes* e *Subulitermes*, parece provável que as barreiras bióticas impediram a extensão de seu alcance.”

De acordo com Emerson (1945), as espécies do gênero *Syntermes* geralmente têm seus ninhos inteiramente sob o solo, mas às vezes eles fazem montículos acima do solo. Esta informação é corroborada por estudos de Negrete e Redford (1982) que descrevem os montes dessa espécie encontrados no Distrito Federal como termitários de cúpula baixa, cujas partes principais estão abaixo do nível do solo (frequentemente a uma profundidade de 1,5m).

Redford (1984) também descreve os ninhos de *S. dirus* como baixos, em forma de cúpula e livres de vegetação; com média de 14,3 cm de altura e 178 cm de diâmetro máximo ao nível do solo. Este autor ainda completa, expondo que são restritos às áreas mais secas das pastagens, e sua densidade de montes de apenas 4,7 por hectare. Em complemento, Coles (1980) encontrou em seu estudo, ninhos de *S. dirus* abundantes em um tipo particular de vegetação aberta, como campo limpo e campo sujo.

Todos estes fatos expostos sobre as formas dos ninhos desta espécie e sua distribuição, tornam esta pesquisa ainda mais indagadora sobre a origem dos murundus do semiárido. Retoma-se o fato de que a descrição da formação dos ninhos de *S. dirus* é dada como subterrânea ou pouco acima do solo, mas em contrapartida, os termiteiros desta pesquisa possuem altura de até 4 metros acima do solo, sendo visíveis até por imagens de satélite (FUNCH, 2015).

2.3 Campos de murundus

“Murundu” é um nome brasileiro de origem africana dado a quase qualquer forma de terra pequena, arredondada e elevada, incluindo afloramentos rochosos, ninhos de cupins e montes de terra. O termo murundu foi empregado por Araújo Neto (1981) e Oliveira-Filho (1988) ao se referirem aos microrelevos presentes no Brasil central, e tornou-se um termo popular também no nordeste. Os chamados campos de murundus recebem essa denominação pelo fato dos murundus geralmente se apresentarem em padrões repetidos de dimensões e

espaçamento entre si (OLIVEIRA-FILHO, 1988; PONCE e CUNHA, 1993). Estes montes de terra encontrados no Brasil, recebem várias nomenclaturas regionais como, por exemplo: covais, monchões, cocorutos, morrotes, capõezinhos, capões, murundus ou macromontes (OLIVEIRA-FILHO, 1988; OLIVEIRA-FILHO e FURLEY, 1990; PONCE e CUNHA, 1993).

Montes de terra similares aos brasileiros, de morfologia convexa circular ou elipsoidal, são encontrados também em outras partes do mundo, como na savana africana e nos Estados Unidos (PONCE e CUNHA, 1993). No Brasil, estes montes de terra são encontrados no Pantanal mato-grossense, em algumas regiões de Minas Gerais, como no Triângulo Mineiro e Norte, e ainda nos relevos de chapada do Brasil central, como no estado de Goiás (OLIVEIRA-FILHO, 1992; AUGUSTIN, 2009).

Os campos de murundus geralmente estão associados à presença de água no solo, localizados em (JESUS, 2017):

depressões; topos de baixa declividade; próximo a cabeceiras de drenagem e áreas brejosas (mesmo que sua saturação hídrica não seja permanente); ou acompanhando o percurso da drenagem. Isso contribui diretamente na configuração da vegetação presente nos campos de murundus. Nas depressões do entorno dos murundus é comum a presença de vegetação herbácea, dentre gramíneas, ciperáceas e outras espécies rasteiras adaptadas às épocas de saturação hídrica. Já as partes mais elevadas dos murundus tendem a apresentar vegetação lenhosa, com espécies arbóreas típicas do Cerrado.

As espécies vegetais do Cerrado não se caracterizam por serem tolerantes a solos encharcados, no entanto, como os murundus estão livres da saturação hídrica, podem se desenvolver espécies vegetais do Cerrado sobre os murundus (OLIVEIRA-FILHO e FURLEY, 1990; PONCE e CUNHA, 1993).

No Brasil, os campos de murundus são encontrados em uma ampla variedade de classes de solos, as quais possuem diversas peculiaridades (físicas, químicas, mineralógicas e biológicas), que influenciam nas respostas da fitofisionomia. Alguns exemplos da ocorrência, são em solos como Latossolos Vermelho-Amarelos, Plintossolos Háplicos e Neossolos Quartzarênicos (EPAMIG, 1976). Dessa forma não é possível generalizar uma unanimidade de tipos de solos em que os campos se desenvolvem. No Planalto dos Parecis (Mato Grosso), Walter (2006) relata Latossolos Vermelho-Amarelo distróficos, Gleissolos Háplicos distróficos, Plintossolos Argilúvicos distróficos e Neossolos Quartzarênicos órticos.

No sudoeste de Goiás, os campos de murundus estão associados a Plintossolos Háplicos, que representam em torno de 10 % da área total da região. Simões (2012) expressa que o

processo de pedoperturbação realizado por térmitas no passado e os processos de pedogênese aconteceram na mesma intensidade nos solos e nos murundus.

Silva et al. (2010), em estudos no Planalto Central brasileiro, encontraram campos de murundus em Latossolos. Nas áreas de campos de murundus do sudoeste de Goiás, os solos de maior ocorrência são os Plintossolos Háplicos, constituindo ambientes extremamente frágeis por estarem intimamente relacionados à função de recebimento, armazenamento e manutenção de água para a microbacia onde estão inseridos e à formação de petroplintita, quando drenados (ANJOS et al., 2007).

Furley (1986) evidencia a existência de dois tipos de murundus: “aqueles diretamente influenciados pela saturação hídrica nos solos, podendo ocorrer nas cabeceiras, nas encostas e nos fundos dos vales; e aqueles limitados ao escoamento superficial, típicos de interflúvios, consequentemente, com solos bem drenados”.

Os autores Oliveira-Filho e Furley (1990) ainda completam a informação, classificando os murundus em duas categorias: os murundus de pantanal que se desenvolvem em um terreno aluvial plano cujos solos permanecem com uma fina camada de água, e os murundus de encosta onde se desenvolvem espécies vegetais de Cerrado e servem como refúgio para espécies de animais subterrâneos.

Os termiteiros do semiárido nordestino (Figura 1) são descritos por Funch (2015) como sólidos e extremamente rígidos, geralmente cozidos no sol, encontrados em ambientes secos e comumente cobertos por vegetação (e penetrados por raízes). Assim sendo, eles sofrem apenas erosão muito limitada por vento ou chuva e são presumivelmente bastante antigos.

Figura 1 – Fotografias de murundus do semiárido nordestino



Fonte: Funch, 2015.

2.3.1 Origem dos murundus

As origens desses montes de terra são controversas, em parte porque diversos processos abióticos e bióticos podem produzir padrões semelhantes de montes em diferentes ambientes. O fato de que os montes possam persistir em paisagens por milhares de anos complica ainda mais a explicação de sua gênese. Dentre as explicações para a formação dos murundus estão (FANNING e FANNING, 1989; PONCE e CUNHA, 1993):

- Agentes faunísticos, como roedores fossoriais (vivem em baixo da terra) e cupins;
- Padrões de vegetação espacial acoplados a deposição eólica e hidráulica e erosão diferencial.
- Mecanismos abióticos (por exemplo, congelamento/descongelamento, expansão/retração de argilas, eólica, sísmica);

2.3.1.1 Gênese biótica

Os montes na América do Sul têm sido comumente atribuídos à atividade de cupins, embora também tenha havido a sugestão da ação de roedores fossoriais na Argentina e humanos no Brasil (CRAMER & BARGER, 2014). Os campos de murundus brasileiros também têm sido referidos como formações de cupins e savanas (RATTER et al., 1973) porque a esses murundus é atribuída a ação de gerações de cupins (COLE, 1960).

A hipótese do fator biótico está relacionada à atividade de formigas, tamanduás, tatus, esquilos, mas são os cupins que exercem o papel fundamental; estas espécies são chamadas de “*mound builders*” (construtoras de montes) (FANNING e FANNING, 1989; OLIVEIRA-FILHO e FURLEY, 1990). Oliveira-Filho e Furley (1990) os comparam com os termiteiros encontrados na savana da África. Os autores explicam que diferentes espécies de cupins ocupam ou formam os murundus. Isso está relacionado ao desenvolvimento dos murundus e as fases de encharcamento do solo.

Algumas espécies de cupins toleram mais a umidade do solo, outras menos (OLIVEIRA-FILHO e FURLEY, 1990). É comum que as colônias de cupins migrem e criem novos murundus (FANNING e FANNING, 1989), assim, os murundus podem ser colonizados por outras espécies de cupins ou invadidos por formigas e minhocas, por exemplo (OLIVEIRA-FILHO e FURLEY, 1990).

Em murundus estudados em Cuiabá por Oliveira-Filho e Furley (1990) relata-se como uma evidência da participação dos cupins na formação daqueles murundus as propriedades químicas e granulométricas ali encontradas. Elas são “(...) semelhantes às dos cupinzeiros, com textura mais fina e teor de sais minerais mais elevado que os solos dos campos ou das elevações circundantes.” A explicação é que os cupins preferem as partículas mais finas do solo para se estabelecerem, e o solo é enriquecido com nutrientes minerais provenientes dos alimentos vegetais que são trazidos pelos cupins.

Ponce e Cunha (1993) relatam, no entanto, que em alguns daqueles murundus estudados no Pantanal Matogrossense não há clareza quanto à construção ativa, parcial ou em sua totalidade, por parte dos cupins, existindo a possibilidade de terem sido, os murundus, posteriormente ocupados por eles.

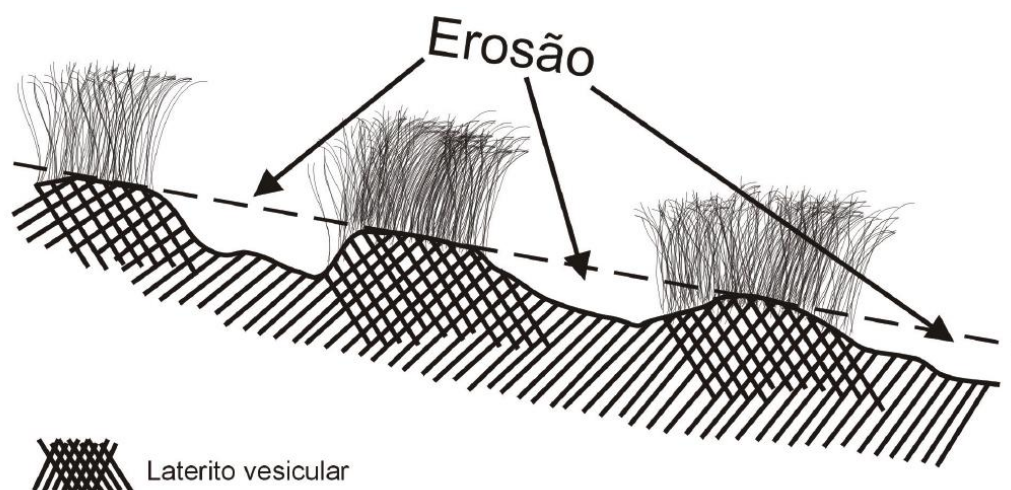
2.3.1.2 *Gênese abiótica*

A diversidade da morfologia dos montes é provavelmente ditada por fatores ambientais (por exemplo, edáfico, geomorfologia, clima e vento) e propriedades da vegetação. Assim, embora não seja raro, a formação de montículos é um fenômeno especial que exige padrões estáveis de vegetação e erosão e / ou deposição.

Araújo Neto et al. (1986), citados por Oliveira-Filho e Furley (1990) e Ponce e Cunha (1993), concluíram que em muitos murundus não havia ocupação de cupins nem tampouco evidências pedológicas que indicassem uma ocupação anterior. No processo de formação abiótico a influência fundamental é exercida pela água por meio de erosão. Os autores atribuem os murundus como produtos residuais de erosão diferencial.

Os mesmos autores propuseram uma teoria na qual mesmo com a participação de cupins a principal razão para o acúmulo dos volumes de terra seria a erosão seletiva em decorrência do escoamento superficial da água (Figura 2). Desta forma, configurar-se-iam as zonas deprimidas em zonas que há cerca de dez mil anos eram recobertas por vegetação do Cerrado, mas que o clima atual favorece o desenvolvimento de zonas brejosas e a consequente retração do Cerrado (OLIVEIRA-FILHO e FURLEY, 1990).

Figura 2 – Ilustração de exemplo do processo de erosão na gênese de murundus



Fonte: Baptista et al. 2013 (Adaptado de Resende et al., 1997).

Em zonas mais declivosas, nas partes mais elevadas da encosta, os autores encontraram canais formados pelo escoamento superficial indicando erosão diferencial como processo dominante. Para eles, o mesmo processo pode atuar nas áreas de murundus em áreas brejosas. Para os autores, “os grandes montes de terra do Pantanal mato-grossense, conhecidos como ‘capões’ e ‘cordilheiras’ têm certamente nas correntezas, (fluxos locais de velocidade da água) as principais responsáveis por sua formação” (OLIVEIRA-FILHO e FURLEY, 1990).

Além dos efeitos da infiltração, o afloramento do lençol freático e o movimento das águas subterrâneas como um todo atuam no processo de remoção erosiva. Logo, “os murundus seriam relictos não só do relevo e do solo primitivo, mas também da distribuição primitiva do Cerrado” (OLIVEIRA-FILHO e FURLEY, 1990).

Nas zonas brejosas estudadas na fazenda Água Limpa (DF), os autores Oliveira-Filho e Furley (1990) encontraram muitos murundus sem colônias de cupins e naqueles nos quais elas foram constatadas, os ninhos encontravam-se em profundidade não superior a 75 cm da superfície do murundu. Relatam que não foram visualizados traços de galerias e as análises químicas e físicas do solo corroboraram isso por não indicarem atividade anterior de cupins. Neste estudo os autores “sugerem, juntamente com as evidências geomorfológicas e hidrológicas, que esses murundus são, na atualidade, mais frequentemente ocupados que formados por animais”.

Neste caso a erosão pela água exerce um papel fundamental, podendo ser o escoamento superficial predominante, ou as correntezas das águas de inundação, ou ainda o afloramento de águas subterrânea em conjunto com escoamento superficial. Os processos de formação, no entanto, não se excluem, inclusive estarem relacionados simultaneamente (OLIVEIRA-FILHO e FURLEY, 1990; PONCE e CUNHA, 1993).

2.4 Outros tipos de montes de terra

Funch (2015) descreve os montículos do semiárido mineiro e baiano como muito diferentes das estruturas de engenharia descritas para algumas termitarias da África e Austrália, com seus complexos projetos de arquitetura para troca eficiente de gases e/ou controle de temperatura (DANGERFIELD et al., 1998).

Assim sendo, o autor relata que os montes se parecem superficialmente com alguns dos montes "mima" encontrados nos Estados Unidos (EUA) e "heuweltjies" no sudoeste da África, embora esses termos sejam genéricos e não específicos e sejam aplicados à estruturas de biogênicos (roedores, térmitas e possivelmente aceleração vegetativa-eólica) (CRAMER E BARGER, 2014) e origens puramente geológicas (BERG, 1990; SILVA et al., 2010). Os termos regionais murundus e heuweltjies são retidos para os montes sul-americanos e sul-africanos, respectivamente, para diferenciá-los de montes similares aos mimas nos EUA, apesar de ser afirmado que estes são essencialmente parecidos com mima em sua gênese.

Cramer e Barger (2014) apontam que existem evidências suficientes para sugerir que a gênese dos mimas, heuweltjies e murundus pode ser em grande parte consequência de interações vegetação/erosão. A diversidade da morfologia dos montes é provavelmente ditada por fatores ambientais (por exemplo, edáfico, geomorfologia, clima e vento) e propriedades da vegetação.

De acordo com os mesmos autores a formação de montículos é um fenômeno especial que exige padrões estáveis de vegetação e erosão e/ou deposição. Apesar de argumentarem que a padronização espacial da vegetação é o fator inicial na formação de monte, eles complementam ao dizer que a fauna é pelo menos ocupante secundária e contribui para o desenvolvimento de montes de terra.

2.4.1 Montes Mima

Washburn (1988), citado por Cramer e Barger (2014), nomeou os montes não-eólicos encontrados nos EUA de tipo “mima”. O termo mima, derivado do nome do local (Pradaria Mima) onde os montes impressionantes ocorrem no estado de Washington (EUA), tem sido usado para se referir a montículos nos EUA e em outras partes do mundo e é comumente entendido.

O material do montículo consiste em cascalhos e pedriscos não estratificados de cor escura (geralmente pretos) dentro de uma matriz franco-arenosa sobrejacente a uma camada externa glacial de cor mais clara, próxima ou na superfície entre montes. O cascalho forma 58% e 49% do solo dos montes e entroncamentos, respectivamente. A matriz do solo é composta de 80% de areia, 16% de silte e 4% de argila (WASHBURN, 1988 apud CRAMER E BARGER, 2014).

Os montes na pradaria Mima (Figura 3) variam de 2,5 a 12 m de diâmetro e 0,3 a 2 m de altura e ocorrem em densidades de 20 a 25 montes/ ha. Os montes são geralmente elípticos e ocorrem em terrenos planos e em encostas (WASHBURN, 1988 apud CRAMER E BARGER, 2014). Os montículos, em sua maioria, sem árvores, são cobertos de vegetação de pradaria, compreendendo gramíneas, musgos e líquens (DEL MORAL & DEARDORFF, 1976).

Figura 3 – Fotografias de montes tipo mima em uma área natural preservada em Washington (EUA)



Na primeira, montes de uma área natural preservada e na segunda, a visualização pelo Google Earth.

Fonte: Cramer e Barger, 2014.

2.4.2 Montes Heuweltjies

Heuweltjies (Figura 4) ocorrem no oeste e no sul do Cabo da África do Sul em uma zona de clima mediterrânico caracterizada por vegetação arbustiva de baixa estatura. Estes montes comumente têm camadas significativas de calcrete, sendo datado de 3970-5590 anos AP

(MOORE & PICKER, 1991), mas Midgley et al. (2002) relataram idades de 20000 a 30000 AP no mesmo local.

O solo do monte no local relatado por Cramer et al. (2012) é composto de 72% de areia, 11% de silte e 17% de argila. Em relação as medidas, os montes têm em média 17 m de diâmetro e 1,45 m de altura (MOORE & PICKER, 1991). A densidade de montes varia de 3 a 8 ha

Os montes são dispersos não aleatoriamente com um R, em uma grande variedade de locais, de 1,7. A vegetação nos montes varia regionalmente, mas é comumente distinta da vegetação entre montículos (CRAMER E BARGER, 2014).

Figura 4 – Fotografias de montes tipo heuweltjies da África do Sul



Na primeira, vista *in loco* de um monte heuweltjies e na segunda, a visualização pelo Google Earth.

Fonte: Cramer e Barger, 2014.

2. 5 Estudos realizados com murundus do semiárido

A principal publicação motivadora desta pesquisa, foi o artigo de Funch (2015), onde o autor descreve que as imagens de satélite de fonte aberta permitiram a visualização e mapeamento de números notáveis de grandes montes de cupins cobrindo vastas áreas na região semiárida do Nordeste do Brasil, revelando dezenas de milhões de termitarias regularmente espaçadas. O autor sugere que a razão de seus grandes volumes pode ser relacionada à proteção contra a predação (por grandes, mas agora extintos, ou localmente extintos, predadores de mamíferos), a dessecação, inundações ocasionais. Além disso, podem refletir seus períodos de vida extremamente longos e ocupação contínua e/ou sequencial, combinada com a competição de curto alcance (ou combinações desses fatores).

Oliveira e Funch (2014) publicaram sobre um levantamento de pólen nos murundus da região da Chapada Diamantina (BA). Mas os autores consideraram que os murundus estudados não são favoráveis à preservação de pólen, devido ao baixo número de grãos registrados e estado ruim de conservação desses grãos, impedindo o uso dos cupinzeiros como ferramenta de estudos paleopalinológicos desses ambientes.

Em 2016, Souza e Delabie adotaram em seus estudos uma abordagem baseada em mapeamento (com imagens de satélite de fonte aberta) e modelagem espacial para determinar a distribuição geográfica atual e potencial de murundus, sendo esta abordagem usada também como base para esta pesquisa. Os autores geraram modelos preditivos para testar a congruência geográfica destes murundus com seis espécies de cupins, resultando em uma forte congruência geográfica para quatro espécies: *Cornitermes bequaerti*, *C. silvestrii*, *Syntermes dirus* (espécie apontada também por Funch, 2015) e *S. wheeleri*. Eles concluem que a formação de murundus no domínio semiárido pode ser uma resposta adaptativa de cupins construtores de montículos a determinadas condições ambientais regionais.

Mais recentemente, Souza e Delabie (2017) publicaram um novo estudo, baseado no mapeamento de ocorrências pontuais usando imagens de satélite do Google Earth, em escala fina. Os resultados sugeriram que a distribuição dessas estruturas dentro de áreas densamente compactadas é regulada por mais de um processo atuando ou interagindo em múltiplas escalas espaciais: os murundus densamente compactados apresentaram uma distribuição regular significativa na escala de distância de até 50m radialmente e uma distribuição completamente aleatória em todas as outras escalas de distância superior.

Dessa forma, foi sugerido que o padrão regular pode ser resultado da competição por territórios de forrageamento entre diferentes colônias de cupins durante o processo de formação

de murundus e o padrão aleatório em escalas de distância maiores pode ser atribuído às preferências de seleção de habitat por espécies de cupins construtores de murundus mediadas por recursos e condições ambientais locais (isto é, disponibilidade de recursos alimentares e nidificação e habitat aberto) (SOUZA e DELABIE, 2017).

Com base em correlações lineares significativas, os autores sugerem que a densidade de murundus está fortemente relacionada ao regime de temperatura local com o tipo de solo influenciando nas densidades de murundus (SOUZA e DELABIE, 2017).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa é parte de um projeto maior e constitui-se de etapas consecutivas e complementares, sendo que esta primeira fase tem a proposta de ampliar a caracterização da termitaria e as variáveis ambientais de sua área de ocorrência, de forma a subsidiar maior segurança na interpretação dos resultados. Paralelamente foi construído um banco de dados georreferenciado, de forma a correlacionar a distribuição espacial dos campos de murundus do semiárido do norte mineiro e centro-sul baiano às condições bioclimáticas e físicas e fazer modelamento de ambientes capazes de suportar a existência de murundus.

As próximas fases do projeto, não abrangidas nessa pesquisa, terão como foco o trabalho de campo e a datação com ^{14}C de exoesqueletos e/ou de grãos de quartzo presentes nos murundus, para fins de obtenção de idades radiométricas.

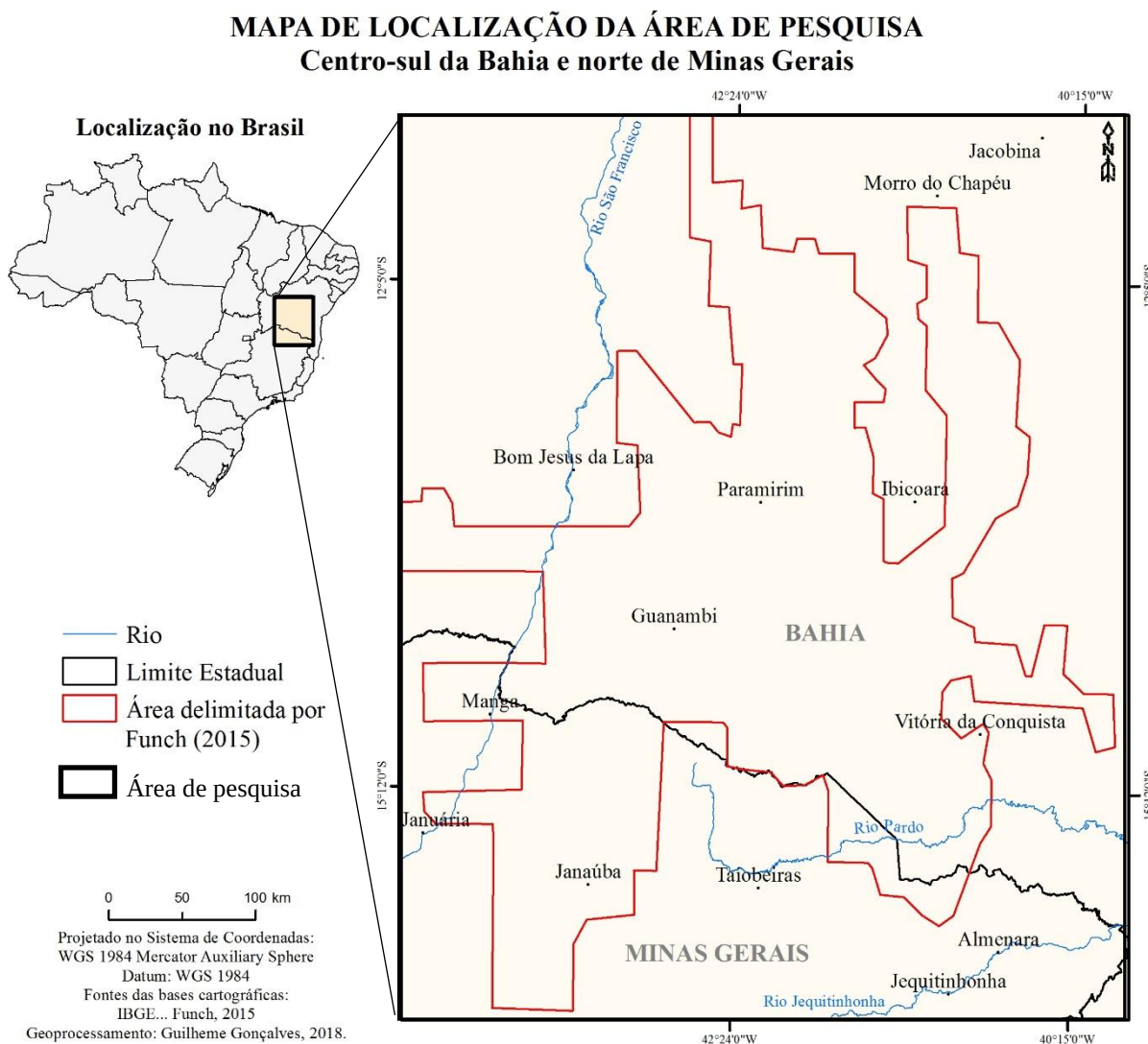
3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo foi delimitada baseando-se na pesquisa de Funch (2015), que fez um levantamento de grade, usando o Google Earth, no centro da Bahia e norte de Minas Gerais e identificou uma área de ocorrência central dos murundus do semiárido. A partir dessa delimitação, foi gerada a área desta pesquisa, que abrange a região de ocorrência central e o entorno, conforme observado na Figura 5.

A região Nordeste do Brasil, com 1,56 milhão de km (18,2% do território nacional), comporta a maior parte do semiárido brasileiro, que se localiza na porção central dessa região, abrangendo os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte do norte do estado de Minas Gerais (Região Sudeste) (SILVA et al., 2010a).

A região semiárida compreende uma área de 982.563,3 km² e comporta 1133 municípios. Pode-se destacar nesta área a presença do Parque Nacional da Chapada Diamantina (situado no centro do Estado da Bahia) ocupando uma área de aproximadamente 152.400ha que abrange os municípios de Andaraí, Ibicoara, Itaetê, Lençóis, Mucugê e Palmeiras (MMA, 2007). Além disso, a relevância do rio São Francisco que devido às suas características hidrológicas, adquire uma significação especial para as populações ribeirinhas e da zona do Sertão.

Figura 5 – Mapa de localização da área desta pesquisa baseada na delimitação por Funch (2015)



Fonte: Funch, 2015; IBGE, 2015. Adaptado pelo autor.

O semiárido brasileiro apresenta uma precipitação anual máxima de 800 mm, temperaturas médias anuais de 23°C a 27°C e umidade relativa do ar média em torno de 50%. Assim sendo, caracteristicamente, apresenta forte insolação, temperaturas relativamente altas e regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações em um curto período, em média, de três a quatro meses, apresentando volumes de água insuficientes em seus mananciais para atendimento das necessidades da população (SILVA et al, 2010a).

A região semiárida do Brasil não é homogênea quanto às condições ambientais e de paisagens, totalizando 17 grandes unidades de paisagens, que, por sua vez, são subdivididas em 105 unidades geoambientais, de um total de 172 unidades de todo o Nordeste, sendo elevado o número de espécies da vegetação de Caatinga nessas unidades geoambientais (CUNHA et al., 2010).

3.1.1 Clima e hidrografia

Mendes (1997) destaca que o clima é uma das características mais importantes do semiárido, principalmente devido à ocorrência das secas estacionais e periódicas, determinantes do sucesso (ou não) das atividades agrícolas e pecuárias e, conseqüentemente, da sobrevivência das famílias, com grande influência sobre os condicionamentos de ordens ecológica, botânica e fitogeográfica, dentre outros.

Nas regiões das Caatingas, o tipo climático é o semiárido muito quente, com predomínio de precipitações pluviométricas médias anuais entre 400 mm e 650 mm, com chuvas irregulares e concentradas em 2 a 3 meses do ano, ocorrendo, por vezes, chuvas intensas (120 mm a 130 mm) num período de 24 horas. O período seco varia de 6 a 8 meses, podendo atingir até 11 meses sem chuvas nas áreas de aridez mais acentuadas (SILVA et al, 2010a).

Com relação ao comportamento mensal da temperatura média, são os meses de maio a agosto os que apresentam valores mais baixos, principalmente na porção central, enquanto que nas proximidades do equador, os valores da temperatura são mais elevados durante todo o ano (SILVA et al, 2010a).

A precipitação pluviométrica do semiárido é marcada pela variabilidade interanual, que, associada aos baixos valores totais anuais de chuva, contribui, como um dos principais fatores, para a ocorrência dos eventos de “secas”. De acordo com estudo de Marengo (2006), o Semiárido brasileiro sempre foi acometido por grandes secas ou grandes enchentes.

A ocorrência de veranicos e a própria variabilidade interanual da precipitação são, em muitos casos, decorrentes de fenômenos meteorológicos de grande escala, como o *El Niño*. No entanto, há anos em que se verifica a ocorrência de secas sem que se tenha registro deste fenômeno. Assim, a variabilidade interanual da pluviometria nesta região, também, está associada a variações de padrões de temperatura da superfície do mar (TSM) sobre os oceanos tropicais (Atlântico e Pacífico), os quais afetam a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico e influenciam na ocorrência das precipitações, em sua quantidade, intensidade e frequência (NOBRE e MELO, 2001).

3.1.2 Vegetação e fauna

O documento da Embrapa elaborado por Silva e colaboradores (2010a) retrata que no semiárido, os fatores climáticos são mais marcantes que outros fatores ecológicos, na definição da cobertura vegetal. Por isso, a vegetação da zona semiárida é composta por espécies xerófilas, lenhosas, decíduas, em geral espinhosas, com ocorrências de plantas suculentas e áfilas, de padrão tanto arbóreo quanto arbustivo.

A Caatinga (floresta tropical sazonalmente seca) é o tipo de vegetação adaptada às condições de aridez, que cobre a maior parte da região semiárida do Brasil, podendo ser hipoxerófica ou hiperxerófica, de acordo com a maior ou menor disponibilidade hídrica (CUNHA et al, 2010).

Com relação à fauna, esta é diversificada e rica em endemismo, e assim como as plantas, os animais também desenvolveram adaptações às condições climáticas da região, a exemplo de hábitos noturnos e comportamento migratório.

A heterogeneidade ambiental associada à singularidade de certos locais permite supor a possibilidade de a fauna de invertebrados da Caatinga ser riquíssima em diversidade e endemismo. Entre os insetos, as abelhas, as formigas e os cupins são os representantes mais estudados, onde a apifauna da Caatinga está representada por cerca de 190 espécies, sendo registrada uma predominância de abelhas raras e elevado percentual de endemismo (SILVA et al, 2010a).

3.1.3 Geologia

A geologia no ambiente semiárido é bastante variável, porém com predomínio de rochas cristalinas, seguidas de áreas sedimentares. Em menor proporção, encontram-se áreas de cristalino com cobertura pouco espessa de sedimentos arenosos ou arenoargilosos.

Além do clima, a geologia e o material de origem exercem grande papel na formação dos solos do Semiárido, em função da grande diversidade litológica. Segundo Brasil (CUNHA et al., 2010), destacam-se na região:

“áreas do cristalino, com predomínio de gnaisses, granitos, migmatitos e xistos e áreas do cristalino recoberto por materiais arenosos ou argilosos; áreas sedimentares com sedimentos aluviais recentes, relacionados ao período Holoceno; sedimentos predominantemente arenosos e calcários relacionados ao período cretáceo ou mais recente; sedimentos arenosos e arenoargilosos e capeamentos de materiais da mesma

natureza relacionados ao Terciário; arenitos e mistura destes com sedimentos mais argilosos relacionados ao Devoniano médio e inferior e ao Siluriano”.

Em consequência da diversidade de material de origem, de relevo e da intensidade de aridez do clima, verifica-se a ocorrência de diversas classes de solo, os quais se apresentam em grandes extensões de solos jovens e, também, solos evoluídos e profundos. Quatro ordens de solo (Latosolos - 19%; Neossolos Litólicos - 19%, Argissolos - 15% e Luvisolos - 13%), de um total de 15 tipos de solo, ocupam 66% das áreas sob caatinga, embora estejam espacialmente fracionadas (CUNHA et al., 2010).

3.1.4 Relevo

Topograficamente, a região semiárida é bastante variável, caracterizando-se por apresentar relevo variando de plano a forte ondulado. A altitude média varia entre 400 m e 500 m, podendo atingir 1.000 m, como, por exemplo, no planalto da Borborema (CUNHA et al., 2010).

Também, podem ser verificadas outras superfícies de menor extensão, como bacias sedimentares (Jatobá-Tucano) com relevo suave ondulado; superfícies cársticas (Irecê, chapada do Apodi, norte de Minas Gerais e sul da Bahia); superfícies dissecadas (Vale do Rio Gurgueia); tabuleiros costeiros com relevo plano ou suave ondulado; baixadas aluviais, maciços, serras, serrotes e inselbergues dispersos na região (CUNHA et al., 2010).

Cerca de 37% da área é de encostas com 4% a 12% de declive e 20% das encostas apresentam inclinação maior do que 12%, determinando presença marcante de processos erosivos nas áreas antropizadas (SILVA et al., 2010a).

3.2 Materiais e técnicas

3.2.1 Pesquisa bibliográfica

Como base, uma ampla e sistemática pesquisa bibliográfica foi realizada e três alvos foram especialmente importantes:

i – Estudos preliminares conduzidos por Funch (2015) indicam que a termitaria existente na área de estudo foi aparentemente erguida por cupins da espécie *Syntermes dirus*, portanto foram investigadas suas características funcionais e ambientais;

ii – registros de campos de murundus em outras localidades do planeta e suas relações com a dinâmica ambiental;

iii – condições abióticas do semiárido baiano e mineiro.

A pesquisa foi realizada em periódicos e bases de pesquisa nacionais e internacionais disponíveis, como o site da biblioteca da PUC Minas com o sistema CAPES, o *Science Direct*, Google Acadêmico, *sites* governamentais, entre outros. Essa busca contempla palavras-chave, como murundu, térmitas, caatinga, semiárido, mudanças climáticas, dentre diversas outras (em português e inglês).

3.2.2 Geoprocessamento de imagens do Google Earth e seleção de pontos aleatórios

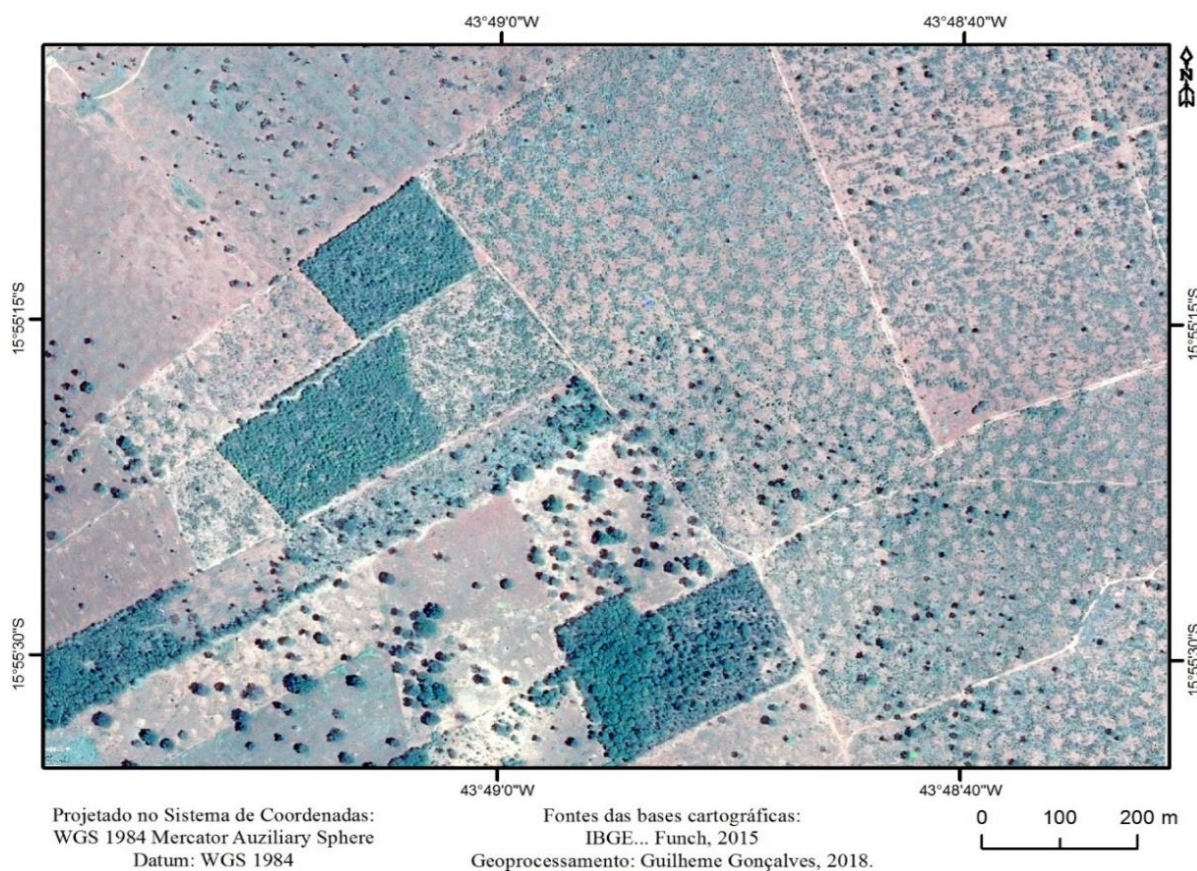
As imagens de satélite disponíveis pelo software gratuito Google Earth Pro (versão 7.3) são de alta resolução, sendo estas, portanto, escolhidas para trabalhar neste estudo. O *software* utilizado no geoprocessamento das imagens é a plataforma ArcGis (versão 10.5), disponível nos laboratórios do Programa de Pós Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial da PUC Minas. Visto que o Google Earth Pro usa o Datum WGS 1984, o mesmo foi mantido para o tratamento das imagens e arquivos deste trabalho.

O primeiro passo, foi a transposição da área delimitada por Funch (2015) para o ArcGis. Não há disponibilização do arquivo pelo autor, então a imagem foi copiada do artigo original, vetorizada e georreferenciada no programa.

A partir da delimitação de Funch (2015) da área de ocorrência central dos campos de murundus, foi feita uma grade retangular sobre a área e no seu entorno. Após avaliação aleatória de algumas ocorrências dos murundus (são montes de terra grandes e visíveis, relativamente fáceis de localizar visualmente), foi estabelecida manualmente uma altitude ocular (distância aérea) adequada para visualização satisfatória dos mesmos no Google Earth Pro, sendo de 300 metros.

Cada parcela da grade possui 1000 x 1500m (Figura 6), refletindo o tamanho da imagem salva nessas medidas citadas.

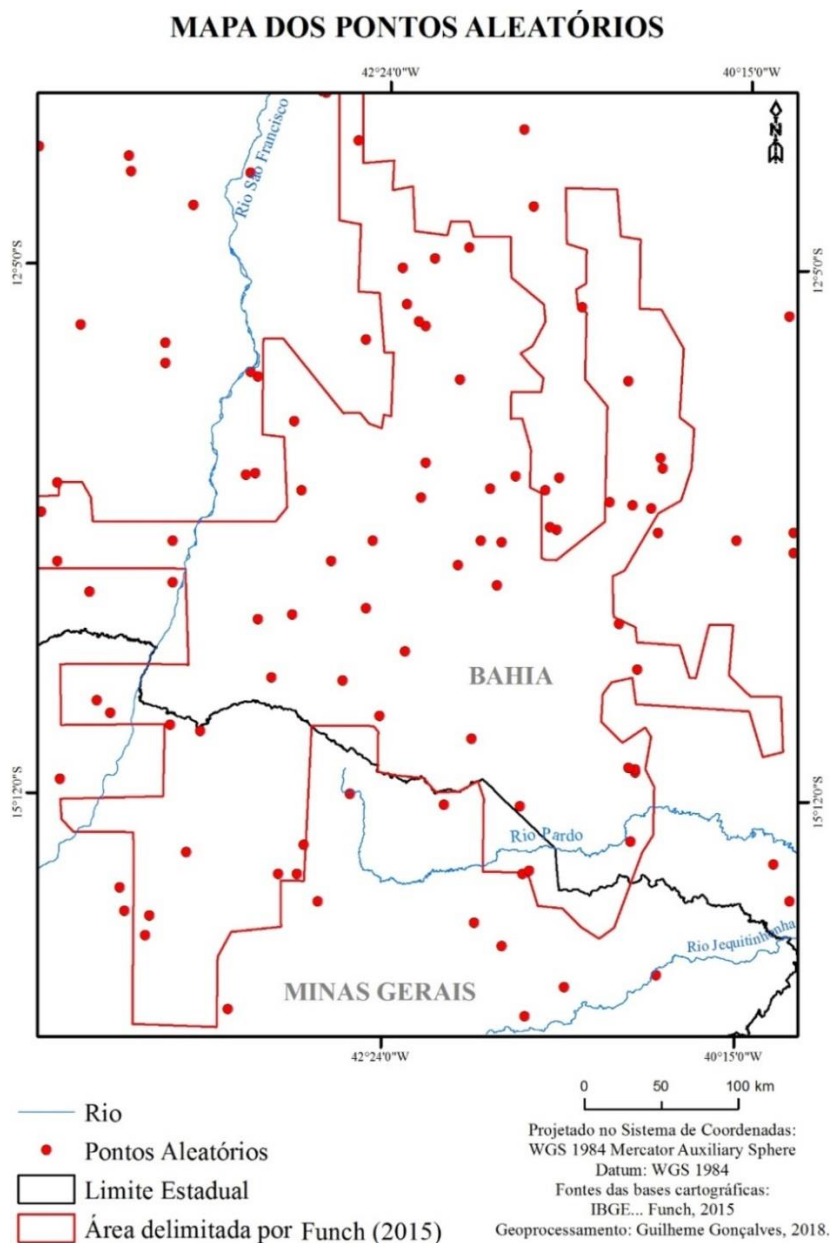
Figura 6 – Recorte de uma parcela (ponto 8) (1000 x 1500m) da grade de amostragem sobreposta na área de pesquisa



Fonte: Google Earth Pro, 2018. Elaborado pelo autor.

A grade foi primeiro gerada no ArcGis em forma de *shapefile* e posteriormente transformada em KML para visualização no Google Earth Pro. O objetivo desta grade é de serem selecionados pontos aleatórios dentro da área total de pesquisa e por conseguinte, a averiguação da presença ou ausência de murundus. Foram sorteadas por uma própria função do ArcGis, 100 parcelas aleatórias, numeradas de 1 a 100. Os pontos que representam as parcelas sorteadas podem ser observados na figura 7.

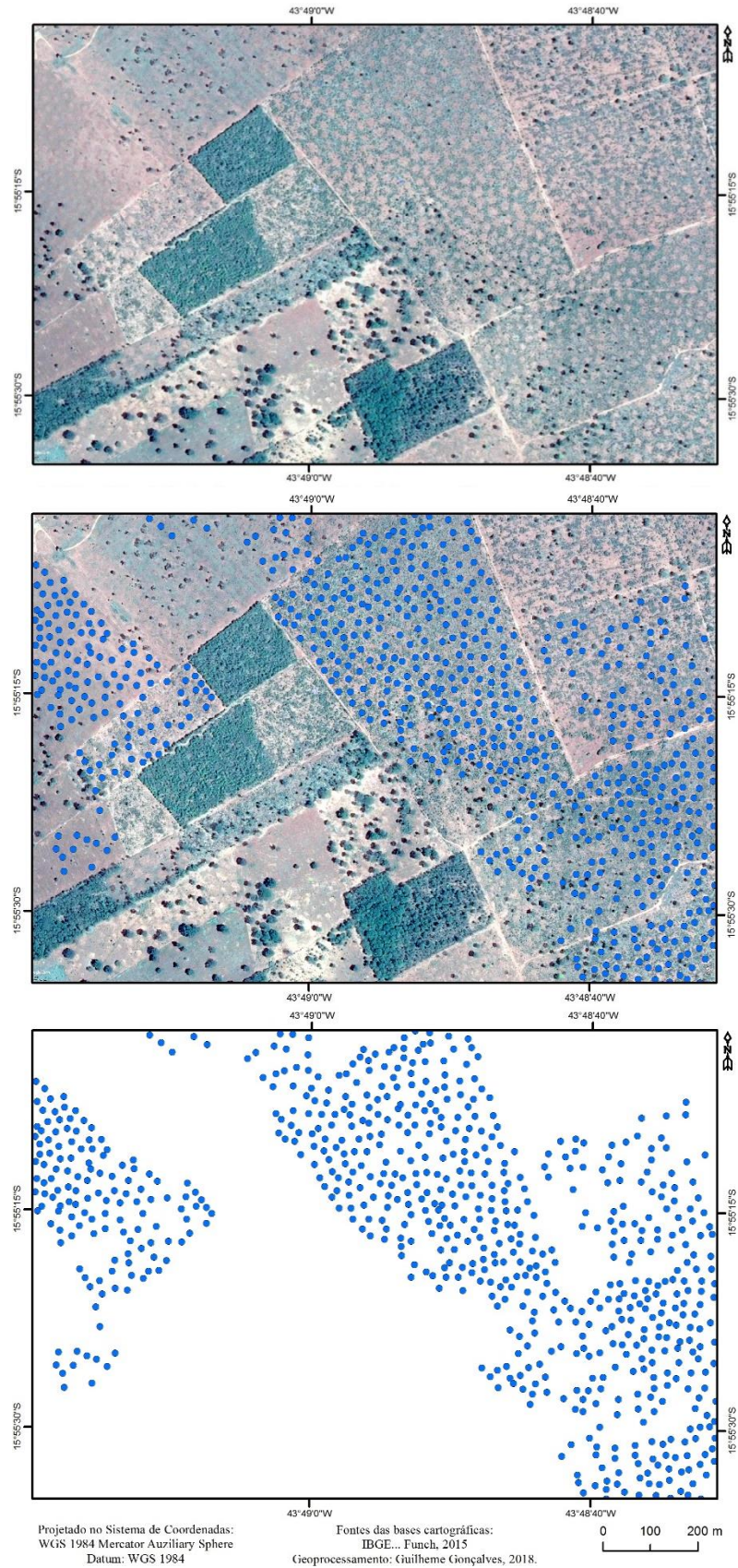
Figura 7 – Mapa dos pontos aleatórios sorteados para análise da espacialização de murundus



Fonte: IBGE, 2015; Funch, 2015. Elaborado pelo autor.

Caso o ponto sorteado tenha sido uma imagem que não apresentava os grandes cupinzeiros, a imagem foi salva e reservada (mas não foi utilizada nos procedimentos). Para as imagens em que foi claramente visível a existência dos murundus (foram considerados os murundus em que se era possível individualizá-los e os que geraram um grau de incerteza sobre a sua presença não foram levados em consideração), as mesmas foram salvas e georreferenciadas no ArcGis. A partir de então, foi realizada a contagem e a marcação manual da quantidade de murundus presentes na parcela, afim de se ter as coordenadas geográficas destes registros. Um exemplo deste procedimento pode ser observado na figura 8.

Figura 8 – Exemplo de mapeamento dos murundus em uma parcela sorteada (ponto 8)



Fonte: Google Earth Pro, 2018. Elaborado pelo autor.

3.2.3 Eliminação de registros de ocorrência redundantes

Os resultados obtidos pela técnica descrita no tópico anterior serão discutidos adiante, mas a planilha com os dados de ocorrência pode possuir informações redundantes, sendo recomendável a aplicação de filtros espaciais para escolher os registros que melhor representem a amostra (DALAPICOLLA, 2016b). O mesmo autor destaca que os filtros têm a “função de excluir pontos próximos e que tenham pouca variação nos valores das camadas ambientais, assim não há tanta perda de informação, nem há tendência de se dar mais peso a certos valores ambientais que se repetem”.

As formas de reduzir o viés amostral ou autocorrelação espacial dos registros, recomendadas por Dalapicolla (2016a) são a rarefação simples e a rarefação por heterogeneidade ambiental. Ambas as ferramentas criam um *buffer* do tamanho pedido e se houverem dois ou mais pontos dentro desse *buffer*, elas escolherão aleatoriamente um deles e o restante é descartado. A diferença é que a rarefação por heterogeneidade ambiental leva em consideração as camadas ambientais: primeiro é gerado um mapa com os 3 primeiros componentes principais das variáveis, e se dois ou mais pontos que estão dentro do mesmo *buffer* estiverem em zonas ambientais diferentes, os dois pontos serão mantidos (porque mesmo estando próximos, esses pontos representam regiões ambientais diferentes e eles são importantes para o modelo).

Dalapicolla (2016a) indica que o *buffer* (que representa a distância de ocorrência) normalmente tem a distância de 5km ou 10km. Ambas as técnicas e ambas as distâncias do *buffer* foram testadas e os pontos selecionados foram utilizados para modelagem.

3.2.4 Variáveis ambientais

De acordo com Dalapicolla (2016b), as variáveis mais usadas para a modelagem são as disponíveis no *site* WorldClim (FICK e HIJMANS, 2017), que são 19 variáveis bioclimáticas, derivadas dos valores mensais de temperatura e precipitação.

O *site* disponibiliza quatro tamanhos para as camadas: 10min; 5min; 2,5min e 30seg. O tamanho escolhido para *download* foi de 2,5min (representando uma resolução espacial de aproximadamente 5km), em formato *.tiff*, pois de acordo com Giannini e colaboradores (2017), para se realizar uma modelagem em nível de bioma ou continente, as camadas de 2,5min são suficientes.

Além das 19 variáveis disponíveis no WorldClim, seguindo o modelo de Costa (2017), também foram utilizadas outras 8 variáveis ambientais disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através do portal AMBDATA (Variáveis Ambientais para Modelagem de Espécies) (AMBDATA, 2018). Estas últimas, são acessíveis somente no formato *.asc*, e para utilização destas camadas no ArcGis, as mesmas foram transformadas em *.tiff*. O conjunto das 27 variáveis utilizadas estão descritas na tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis utilizadas para modelagem de adequabilidade de murundus

Código	Nome	Fonte
Alt	Altitude	AMBDATA (2018)
Dec	Declividade	
Ori	Orientação de vertentes	
Solo	Mapa de solos	
Veget	Mapa de vegetação	
PCArbo	Porcentagem de cobertura arbórea	
HAND	Distância vertical à drenagem mais próxima (<i>Height Above the Nearest Drainage</i>)	
DenDre	Densidade de drenagem	WorldClim (FICK e HIJMANS, 2017)
Bio1	Temperatura média anual	
Bio2	Variação diurna média	
Bio3	Isotermalidade	
Bio4	Sazonalidade de temperatura	
Bio5	Temperatura máxima no mês mais quente	
Bio6	Temperatura mínima no mês mais frio	
Bio7	Variação da temperatura anual	
Bio8	Temperatura média no trimestre mais úmido	
Bio9	Temperatura média no trimestre mais seco	
Bio10	Temperatura média no trimestre mais quente	
Bio11	Temperatura média no trimestre mais frio	
Bio12	Precipitação anual	
Bio13	Precipitação no mês mais úmido	
Bio14	Precipitação no mês mais seco	
Bio15	Sazonalidade da precipitação	
Bio16	Precipitação no trimestre mais úmido	
Bio17	Precipitação no trimestre mais seco	
Bio18	Precipitação no trimestre mais quente	
Bio19	Precipitação no trimestre mais frio	

Fonte: Adaptado de Costa (2017).

3.2.5 Recorte ambiental para modelagem

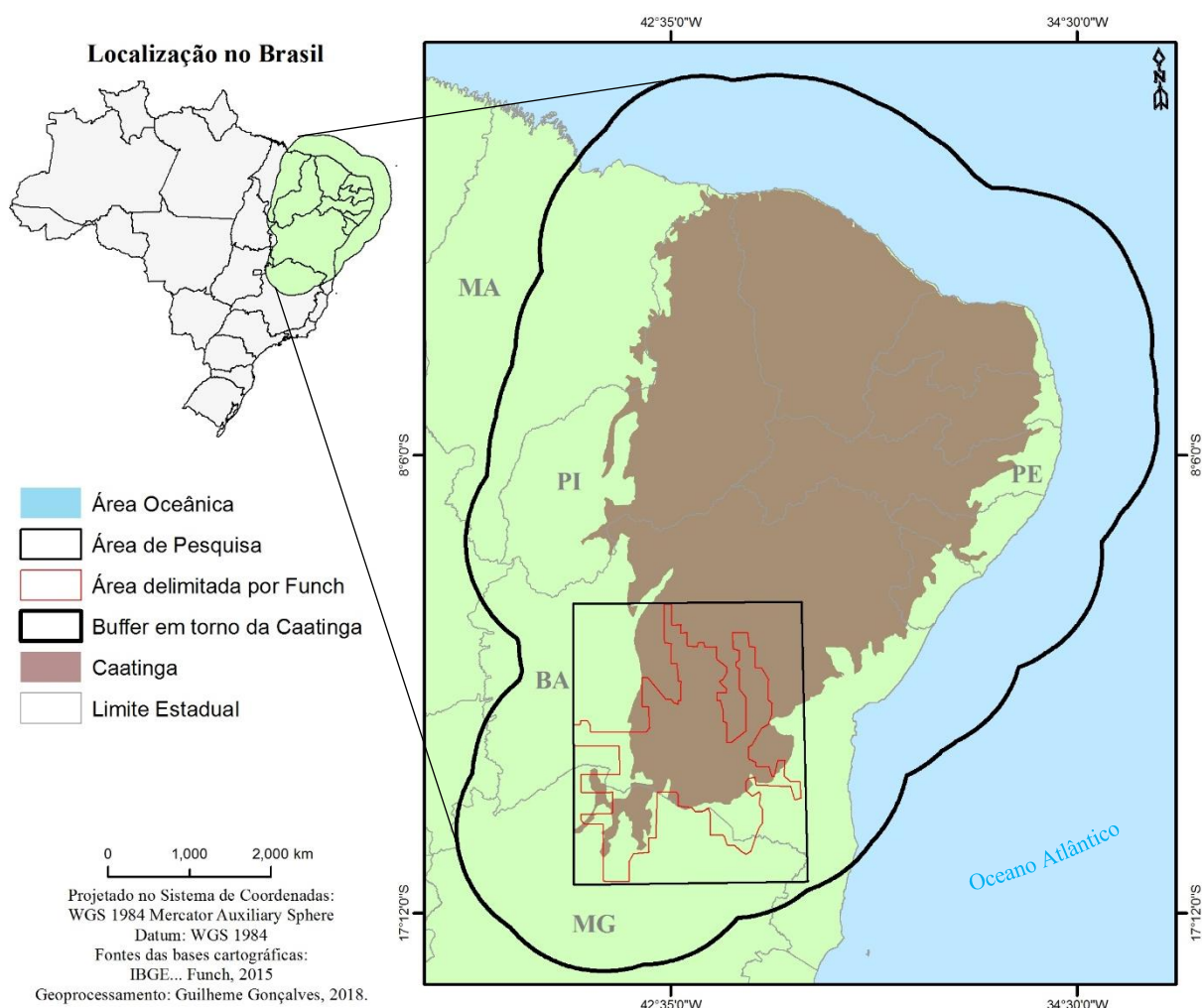
As variáveis concedidas pelo WorldClim estão em escala mundial, e as do AMBDATA estão em escala continental (América do Sul) ou somente para o Brasil. Assim sendo, foi necessário cortá-las no ArcGis para restringi-las à área de interesse.

Dalapicolla (2016a) recomenda que se evite a modelagem utilizando divisões políticas como recorte (estados, países etc.), uma vez que a distribuição de espécies não segue essas divisões. O autor aponta que é preferível a utilização de divisões naturais (como biomas) para as modelagens e além disso, recomenda a criação de uma área de amortecimento (*buffer*), para além da área definida, afim de alargar suas bordas, visto que as espécies também não seguem os limites impostos pelo ser humano, aos biomas.

Souza e Delabie (2016) descrevem, a partir do mapeamento baseado em imagens de satélite que a atual distribuição geográfica do murundus na região semiárida do Brasil é majoritariamente na região centro-sul do bioma Caatinga (floresta tropical sazonalmente seca), principalmente nas ecoregiões Complexo da Chapada Diamantina e Depressão Sertaneja Sul.

A proposta deste estudo, portanto, foi de fazer a modelagem de ambientes capazes de suportar a existência de murundus para o bioma da Caatinga. Porém, a área proposta por Funch (2015) e a área delimitada para esta pesquisa (Figura 5) abrangem regiões além da Caatinga, e levando-se isso em consideração, foi criado um *buffer* de 250km em torno do *shapfile* da Caatinga (disponibilizado por IBGE, 2015), de forma que o recorte geográfico para modelagem abrangesse toda a área de pesquisa também (Figura 9).

Figura 9 – Localização da área de modelagem



Fonte: IBGE (2017). Elaborado pelo autor.

3.2.6 Tratamento e padronização das variáveis

Costa (2017) e Dalapicolla (2016a) apontam que para se executar a modelagem, as variáveis ambientais devem estar todas padronizadas, quanto ao sistema de coordenadas, a resolução de *pixels*, quantidade de linhas e colunas do *raster* etc. Para a execução dessa padronização, Dalapicolla (2016a) recomenda uma ferramenta auxiliar do ArcGis, uma ArcToolbox chamada SDMTtoolbox (<http://sdmttoolbox.org/>; Brown 2014), que foi utilizada nesta pesquisa.

As variáveis então foram adicionadas ao ArcGis, recortadas para a área de modelagem, e usando uma variável como modelo padrão para os parâmetros supracitados, as demais foram ajustadas de acordo com ela.

O tutorial de Dalapicolla (2016b), indica a necessidade de escolha das variáveis mais importantes para o conjunto de pontos de ocorrência: deve-se escolher as que estão menos correlacionadas entre si (“variáveis que não influenciam outra variável, que sejam independentes”). “Remover as variáveis ambientais correlacionadas diminui a generalidade, criando modelos que tendem para erros de omissão em relação aos modelos construídos com um conjunto maior de variáveis”. O autor ainda ressalta que a técnica mais usada é a Análise de Componentes Principais (*Principal Component Analysis* - PCA).

Portanto, para a seleção das variáveis mais importantes para a área de modelagem, foi utilizada nesta pesquisa a PCA, através de funções do programa ArcGis e a ferramenta SMDToolbox. O *software* gera automaticamente uma lista com os principais componentes, além da tabela de correlação. E por fim, os *rasters* de todas as variáveis foram convertidos para o formato *.asc*, que é o aceito pelo programa de modelagem.

3.2.7 Elaboração do modelo

O modelo de distribuição foi criado usando o *software* Maxent (versão 3.4.1) (PHILLIPS, DUDÍK e SCHAPIRE, 2017). O Maxent é um programa de código aberto usado para modelar nichos e distribuições de espécies aplicando a técnica de modelagem de entropia máxima. A partir de um conjunto de grades ambientais (por exemplo, climáticas) e localidades de ocorrência georreferenciadas, o modelo expressa uma distribuição de probabilidade em que cada célula da grade tem uma adequação prevista de condições para a espécie (PHILLIPS, DUDÍK e SCHAPIRE, 2017). O modelo gerado é uma superfície contínua de valores entre zero e cem, onde valores mais altos indicam uma maior probabilidade de encontrá-lo em uma área de estudo (SOUZA e DELABIE, 2016).

Para a criação de um modelo de distribuição de espécie são necessários dois conjuntos de registros de ocorrência diferentes: um conjunto para ser usado na parte de treino (dados de calibração) do modelo e outra no teste (dados de avaliação). Em resumo, de acordo com Dalapicolla (2016b):

“A etapa que o Maxent constrói os modelos é chamada de treino ou calibração (calibração/*calibration* é mais usado para designar os parâmetros do algoritmo para executar o modelo, qual botão apertar na interface do Maxent por exemplo, mas tem autores que usam calibração como sinônimo para treino), enquanto a etapa de teste ou avaliação acontece com o modelo já pronto. No teste o programa verifica qual a taxa de acerto do modelo gerado no treino, com outro conjunto de pontos de ocorrência.”

Ainda segundo Dalapicolla (2016b), para a etapa de treino se usa a maior parte dos pontos (70-80%) enquanto para o teste são usados poucos pontos (30-20%). O Maxent faz essa divisão automaticamente: antes de criar o modelo ele divide os registros de ocorrência de forma que fique uma para treino e outra para o teste (as amostras usadas para a fase de treino e de teste do modelo são independentes e não correlacionadas).

Após o estabelecimento destes parâmetros, os registros de ocorrência (georreferenciados em graus decimais) selecionados após a rarefação simples e as variáveis ambientais e bioclimáticas apontadas pela PCA foram importados para o Maxent. Conforme supracitado, foi selecionado no *software* para que 30% dos pontos de ocorrência fossem usados na etapa de teste. As opções de criação de curvas de resposta e da realização do teste *Jackknife* também foram selecionadas para que o programa criasse um gráfico para cada variável mostrando o comportamento da probabilidade de ocorrência da espécie com o aumento do valor das variáveis e além disso, calculará a importância de cada variável para o modelo.

O modelo obtido pelo Maxent foi salvo em formato *.asc*, importado para o ArcGis e transformado em *raster* para tratamento da imagem.

3.2.8 Avaliação da qualidade do modelo

Após a geração do modelo, se faz necessária a avaliação dele através de testes estatísticos (ou outras formas de validação) para analisar se o modelo proposto é bom. A modelagem gerada pelo Maxent é um mapa feito de pixels, sendo que cada pixel terá um número que corresponderá à probabilidade da espécie-alvo ocorrer na área do pixel.

O Maxent gera também uma tabela com os resultados no *output* e Dalapicolla (2016a) descreve alguns parâmetros estatísticos para serem analisados nela. O autor aponta quais as colunas devem ser observadas e os valores de comparação para algumas delas:

- *Training samples*: Quantos pontos de ocorrência foram usados para criar os modelos.
- *Test samples*: Quantos pontos de ocorrência foram usados para validar os modelos.
- *Test AUC (area under curve)*: Valores abaixo de 0,7 são ruins, não podem ser usados e valores próximos a 0,7 também tem que ser melhorados, maior AUC, melhor o modelo.
- *AUC Standard Deviation*: desvio-padrão da AUC.

- **Nome da Variável* contribution*: A contribuição de cada variável para a criação do modelo (tem tantas colunas quanto forem as camadas ambientais usadas para a criação do modelo).
- *Minimum training presence logistic threshold*: Valor do *threshold* mínimo. O limite de corte, ou *threshold*, é o valor da probabilidade que se pode ser adotada para transformar o modelo em mapa binário, isto é, abaixo desse valor de corte a espécie com certeza não ocorrerá, e acima desse valor com certeza ela ocorrerá (DALAPICOLLA, 2016b). Aqui cabe destacar que a tabela gerada nesta pesquisa não apresentava esta coluna, mas de acordo com o manual do Maxent (PHILLIPS, DUDÍK e SCHAPIRE, 2017), os valores desta coluna e da coluna nomeada *Minimum training presence Cloglog threshold* são iguais, sendo esta última portanto, a utilizada.
- *Minimum training presence test omission*: erro de omissão do modelo para esse *threshold* (erro até 0,2 é aceitável, melhor próximo de 0,15 ou menor que isso).
- *Minimum training presence binomial probability*: p-valor do modelo (se esse valor for maior que 0,05, esse limite de corte mínimo deve ser descartado).
- *10 percentile training presence logistic threshold*: Valor do *threshold* de 10%. Aqui, como listado anteriormente, a tabela gerada não possui esta coluna, sendo usada então a coluna *10 percentile training presence Cloglog threshold*
- *10 percentile training presence test omission*: erro de omissão do *threshold*.
- *10 percentile training presence binomial probability*: p-valor do *threshold*.
- *Maximum test sensitivity plus specificity logistic threshold*: Valor do *threshold* máximo. Igualmente nos casos anteriores, pela tabela gerada no Maxent não ter essa coluna, foi usada como referência a coluna *Maximum test sensitivity plus specificity Cloglog threshold*.
- *Maximum test sensitivity plus specificity test omission*: erro de omissão do *threshold*.
- *Maximum test sensitivity plus specificity binomial probability*: p-valor do *threshold*.

Dalapicolla (2016a) ainda cita que podem ser necessários outras formas de validação, além da estatística e aqui, também foi realizada uma validação conforme Souza e Delabie (2016). Foram usadas imagens de satélite do Google Earth Pro, onde foi estendida a área de

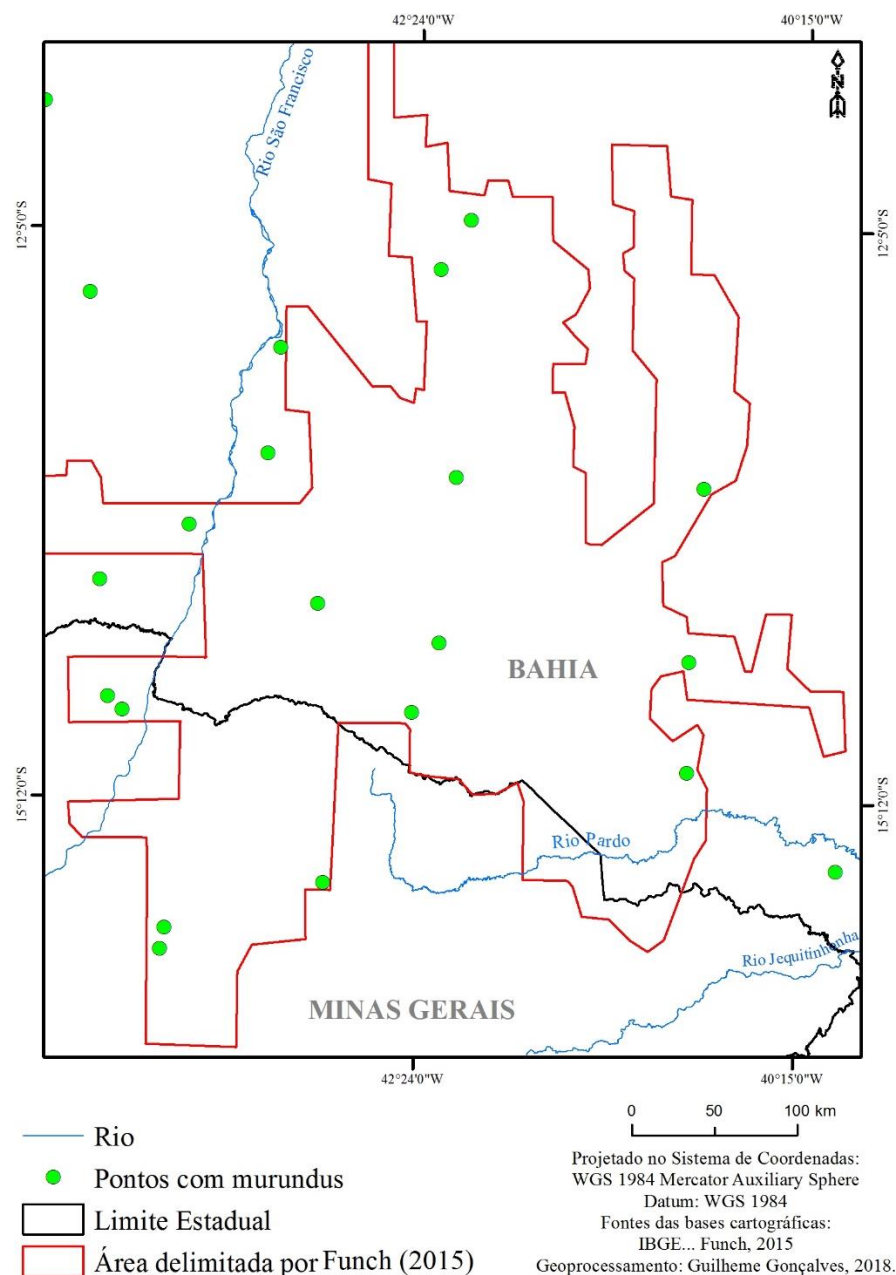
levantamento inicial (proposta por Funch 2015), em que foram observadas algumas regiões aleatórias estipuladas pelo modelo do Maxent, com alta probabilidade de ocorrência ($> 75\%$) de murundus. Esses dados foram retirados do modelo e transformados em KML, para serem visualizados no Google Earth Pro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Imagens selecionadas e contagem dos murundus

Após a averiguação das imagens de satélite das 100 parcelas sorteadas, foi constatada que 21 parcelas no total apresentaram visivelmente a ocorrência de murundus. A localização destas 21 parcelas pode ser observada na figura 10.

Figura 10 – Localização das parcelas com ocorrências de murundus



Fonte: IBGE, 2015; Funch, 2015. Elaborado pelo autor.

Como resultado da contagem manual de todos os murundus, obteve-se um total de 6072 pontos de ocorrência divididos nestas parcelas. Cabe destacar que as imagens disponíveis no Google Earth Pro são de fontes de diversos satélites, assim sendo, a tabela 2 sintetiza as informações das imagens das 21 parcelas que continham murundus: número de identificação da parcela, qual o satélite fonte, data da imagem e a quantidade de murundus registrados. Todas as imagens são provenientes dos satélites CNES/Airbus e Digital Globe, a imagem mais antiga é do ano de 2009 e a mais recente é de 2019.

Em observação durante a contagem dos cupinzeiros, pode ser constatado que os mesmos sempre foram encontrados densamente compactados em sua distribuição, conforme relatado também por Funch, 2015; Souza e Delabie, 2016; Souza e Delabie, 2017. As imagens apresentaram em média, uma quantidade de 289,19 murundus por parcela, sendo o desvio padrão de 238,05 (Tabela 2).

A heterogeneidade apontada pelo desvio padrão pode ser em decorrência de algumas imagens, por consequência do recorte dado pelo levantamento de grade, não abrangiam um campo de murundus em sua totalidade, mostrando apenas alguns trechos e por isso algumas parcelas apresentam pequena quantidade de murundus.

Tabela 2 – Informações sobre as imagens de satélite e a contagem de murundus

Número da parcela	Satélite	Data da Imagem	Quantidade de Murundus
6	CNES/Airbus	26/05/2017	440
8	CNES/Airbus	09/01/2017	713
14	CNES/Airbus	13/10/2016	342
17	Digital Globe	18/12/2012	274
25	CNES/Airbus + Digital Globe *	17/11/2018 - 27/10/2016 *	78
31	CNES/Airbus	12/07/2016	112
32	CNES/Airbus	26/02/2016	136
33	Digital Globe	21/11/2009	220
36	Digital Globe	21/09/2018	67
37	CNES/Airbus	22/11/2016	134
40	Digital Globe	29/06/2017	340
42	Digital Globe	06/11/2017 - 15/01/2010 *	230
50	Digital Globe	25/07/2018	109
59	Digital Globe	23/04/2012	808
62	Digital Globe	21/06/2018	210
69	CNES/Airbus	22/01/2019	70
77	Digital Globe	23/10/2018	863
83	Digital Globe	12/08/2017	297
87	CNES/Airbus	X **	463
89	CNES/Airbus + Digital Globe	29/11/2014 – X **	64
96	Digital Globe	23/10/2018	103
Média = 289,19			
Desvio Padrão = 238,05			

Fonte: Elaborado pelo autor.

* Algumas parcelas apresentaram a imagem referenciada por dois satélites e por isso apresentam também duas datas. No caso da parcela 42, a imagem geral era composta por duas imagens de datas de emissão diferentes, mas de um único satélite.

** A demarcação com o X significa que não foi disponibilizada a data de emissão da imagem.

4.2 Rarefação simples

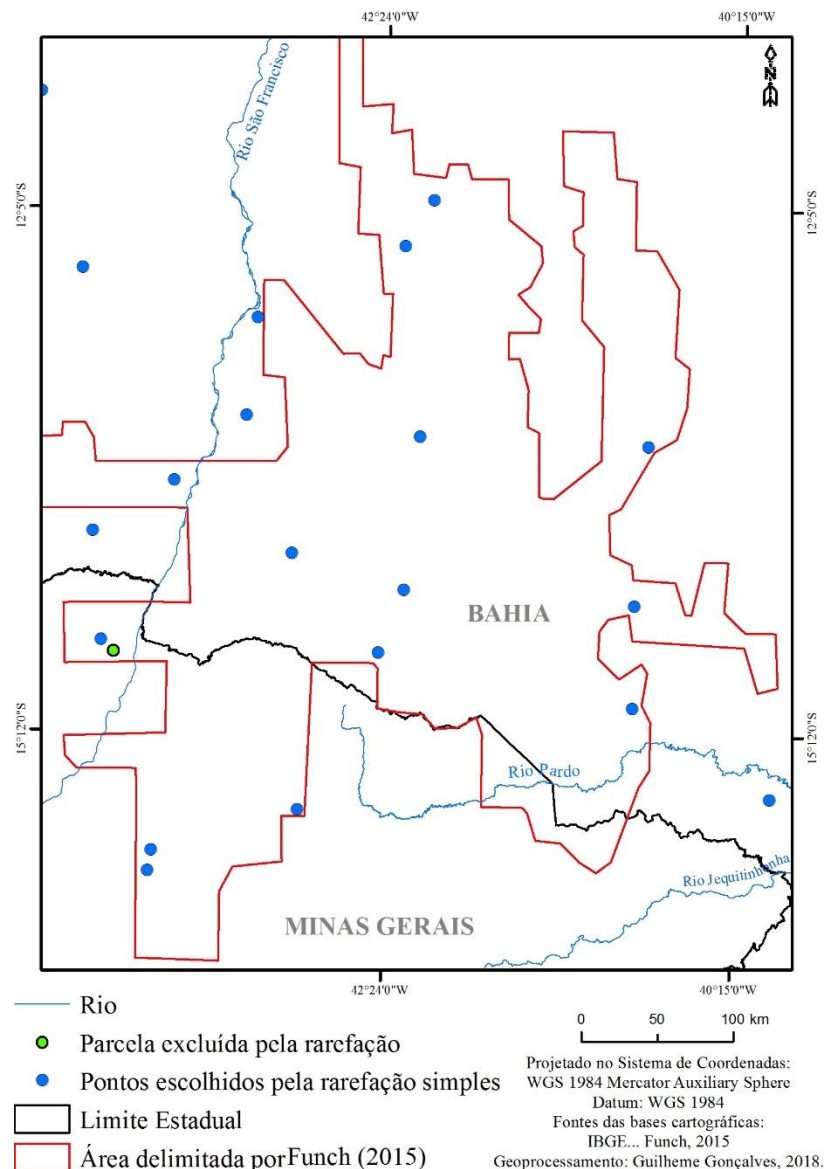
Ambos os procedimentos para a eliminação de ocorrências redundantes de murundus, rarefação simples e rarefação por heterogeneidade ambiental, foram testados e dentre os 6072 pontos de ocorrência, selecionaram apenas 20 e 19 pontos (não autocorrelacionados), respectivamente. Todos os pontos escolhidos pelas duas técnicas foram conferidos e comparados, e todos os 19 pontos são iguais, com exceção desse 1 excedente identificado pela rarefação simples.

De acordo com Dalapicolla (2016a), a quantidade ideal de registros de ocorrência para se trabalhar com o Maxent é entre 20 e 50, sendo portanto, a técnica de rarefação simples a escolhida para dar sequência aos demais processos. Entre os 6072 registros, esta ferramenta encontrou 10 pontos duplicados (com a mesma localização espacial), erro que por ter um tamanho total da amostragem exaustivo e 6042 pontos autocorrelacionados.

Os 20 pontos selecionados pelo procedimento, abrangem 20 das 21 parcelas que contem murundus, sendo consequentemente escolhido um registro em cada parcela, exceto por uma em que a rarefação não selecionou nenhum registro.

Em relação ao *buffer* de distância de ocorrência utilizado pela rarefação simples, foi determinada a distância de 10km, levando-se em consideração que Dalapicolla (2016a) aponta esta como a distância ideal. A figura 11 apresenta a localização dos registros selecionados e pode ser observado, que a maioria dos pontos estão concentrados na área de ocorrência central delimitada por Funch (2015).

Figura 11 – Pontos seleccionados pela rarefação simples



Fonte: IBGE, 2015; Funch, 2015. Elaborado pelo autor.

4.3 Análise de componentes principais (PCA) das variáveis bioclimáticas e ambientais

Dalapicolla (2016a) descreve que na PCA executada no ArcGis, deve ser estipulado o nível máximo de correlação permitido entre as variáveis. Não há consenso de qual valor é o melhor, mas o autor aponta que a maioria dos estudos aceitam até 0,7 de correlação máxima entre as camadas das variáveis: “se a correlação entre duas camadas for abaixo de 0,7, as duas camadas são selecionadas pelo algoritmo. Se a correlação for maior que 0,7 então uma das duas camadas será descartada e a outra será selecionada pelo algoritmo”.

Após a execução da PCA, o *software* apontou treze componentes que mais contribuem para o modelo, sendo estes os que foram usados para gerar o modelo no Maxent:

- **Bio19:** precipitação no trimestre mais frio
- **Dec:** declividade
- **Bio2:** variação diurna média
- **Dendre:** densidade de drenagem
- **Bio4:** sazonalidade de temperatura
- **HAND:** dist. vertical à drenagem mais próxima
- **Ori:** orientação de vertentes
- **Solo:** mapa de solos
- **Bio16:** precipitação no trimestre mais úmido
- **PCArbo:** porcentagem de cobertura arbórea
- **Bio17:** precipitação no trimestre mais seco
- **Veget:** mapa de vegetação
- **Bio9:** temperatura média no trimestre mais seco

Conforme citado anteriormente, a escolha das 27 variáveis foi baseada na metodologia de Costa (2017), mas Souza e Delabie (2016) realizaram a modelagem com outras variáveis. Os autores fizeram um modelo conceitual (através da literatura) dos fatores ambientais que controlam a distribuição de cupins construtores de montes, afim de identificar as principais variáveis preditoras dessa distribuição. Eles encontraram 5 variáveis principais, dentre as quais: temperatura média anual; precipitação média anual; evapotranspiração potencial anual; disponibilidade de nutrientes no solo; percentual de cobertura de árvores.

Dentre as 27 escolhidas nesta pesquisa, as que se repetem com as dos autores acima são três: temperatura média anual, precipitação média anual e porcentagem de cobertura arbórea. Dentre as quais, somente o percentual de cobertura de árvores foi selecionado pela PCA.

4.4 Modelo de distribuição potencial de murundus

A modelagem por fim, foi executada com os 20 registros de ocorrência, sendo que 14 foram selecionados para treino e 6 para teste. O modelo preditivo de distribuição

potencial (Figura 12) representa nas áreas com tons de vermelho uma maior probabilidade de ocorrência de murundus, enquanto as áreas em azul indicam o contrário.

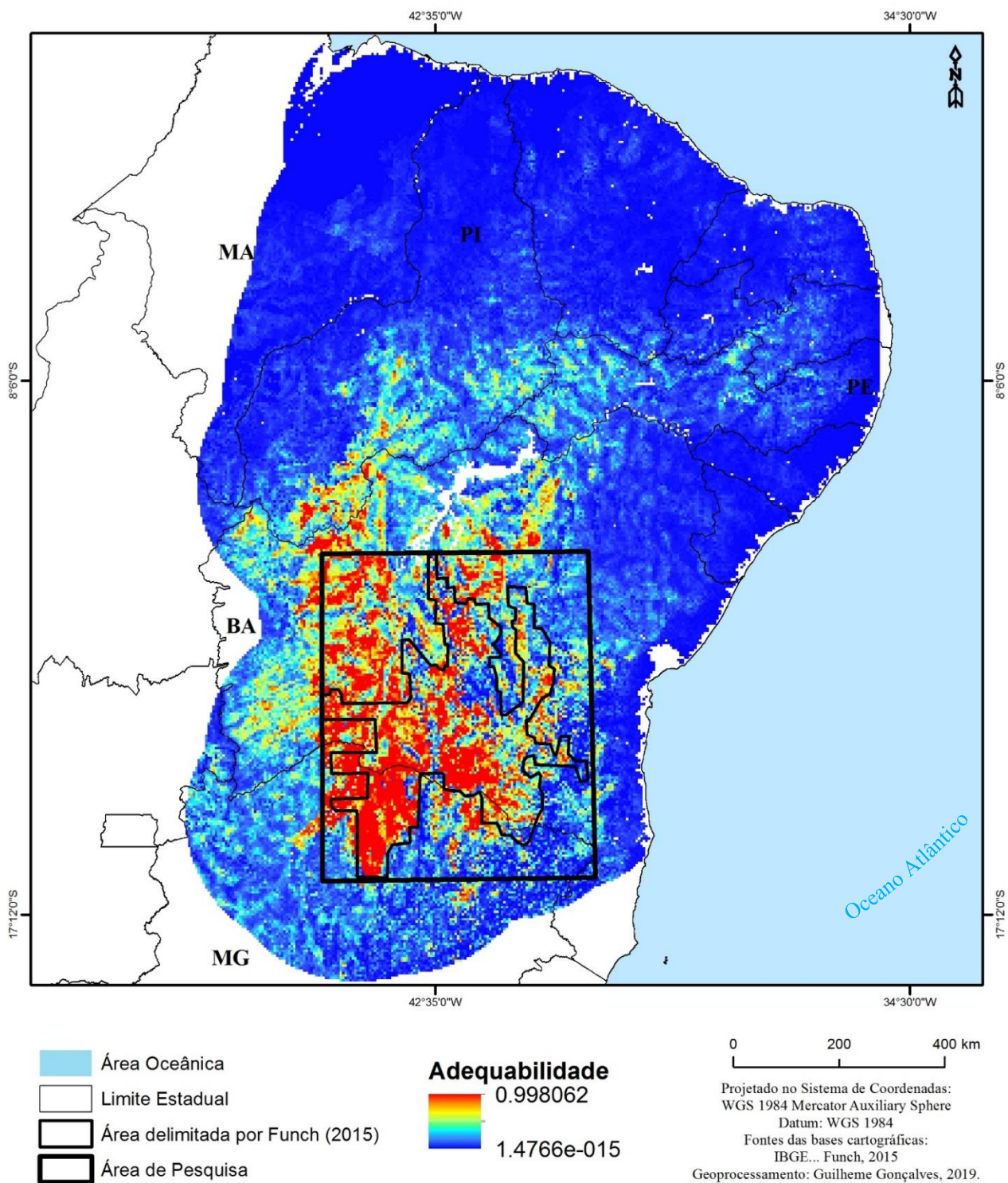
O modelo mostrou que além da área delimitada por Funch (2015) e da área em que foi feito o levantamento de grade nesta pesquisa, existem outras possíveis áreas de ocorrência de murundus na região semiárida do Brasil. Estas áreas se estendem para parte do sudoeste do estado do Piauí, para mais a norte e nordeste da área de pesquisa na Bahia e em pequenos fragmentados desarticulados no estado de Pernambuco e da Paraíba (Figura 12).

Cabe destacar que houve sobreposição com o modelo de Souza e Delabie (2016) para todas estas áreas supracitadas. Além disso, o modelo dos autores ainda contempla partes dos estados de Sergipe, Alagoas e aponta fortes indícios de possíveis ocorrências de murundus, na divisa do estado do Piauí com Ceará. Os pontos de maior probabilidade de ocorrência, principalmente no norte de Minas Gerais e no centro-sul da Bahia são coincidentes em ambos os modelos.

Essa diferenciação da extensão de predição dos modelos deve-se provavelmente às escolhas das variáveis. Souza e Delabie (2016) escolheram variáveis específicas, a partir de um modelo conceitual de fatores que condicionam a sobrevivência de espécies de cupins e por isso pode ter sido mais abrangente nas áreas de alta probabilidade de ocorrência. Por outro lado, nesta pesquisa, foram usadas as variáveis mais utilizadas para modelagem (DALAPICOLLA, 2016a), que apesar de não serem tão específicas para uma determinada espécie, resultaram em uma modelagem bastante semelhante à dos autores.

Por fim, Souza e Delabie (2016) ainda apontam que modelos de distribuição baseados em variáveis climáticas, podem fornecer evidências adicionais para interpretar os fatores subjacentes à distribuição geográfica e a possível origem dos murundus.

Figura 12 – Modelo de distribuição potencial de murundus



Fonte: Resultado da modelagem no Maxent. Elaborado pelo autor.

As variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo gerado foram a precipitação no trimestre mais frio (Bio19), a vegetação (Veget) e temperatura média no trimestre mais seco (Bio9) (Tabela 3).

Tabela 3 - Contribuição (%) das variáveis ambientais usadas para modelar a distribuição geográfica potencial de murundus

Variável Ambiental	Contribuição (%)
Precipitação no trimestre mais frio (Bio19)	32,5
Vegetação (Veget)	13,8
Temperatura média no trimestre mais seco (Bio09)	12,6
Densidade de drenagem (DenDre)	8,3
Declividade (Dec)	7,1
Solos (Solo)	6,9
Precipitação no trimestre mais seco (Bio17)	5,1
Distância vertical à drenagem mais próxima (Hand)	3,8
Orientação de vertentes (Ori)	3,1
Porcentagem de cobertura arbórea (PCArbo)	2,5
Variação diurna média (Bio02)	1,7
Sazonalidade de temperatura (Bio04)	1,5
Precipitação no trimestre mais úmido (Bio16)	1,1

Fonte: Resultado da modelagem no Maxent. Elaborado pelo autor.

Há evidências de que os cupins que edificam montes mantêm sua distribuição em equilíbrio de acordo com o clima (PICKER et al. 2007; DAVIES et al. 2014). A precipitação e a temperatura estão entre as que mais influenciaram na construção do modelo, corroborando com Harris (1956), Picker et al. (2007) e Davies et al. (2014), quando indicam que as variáveis climáticas, principalmente temperatura e precipitação, são provavelmente o fator principal na determinação da distribuição geográfica (densidade) das espécies de cupins em larga escala.

Quanto à vegetação, a segunda variável mais frequentemente associada à distribuição potencial desses montes, Deblauwe e colaboradores (2014) e Donovan e colaboradores (2007),

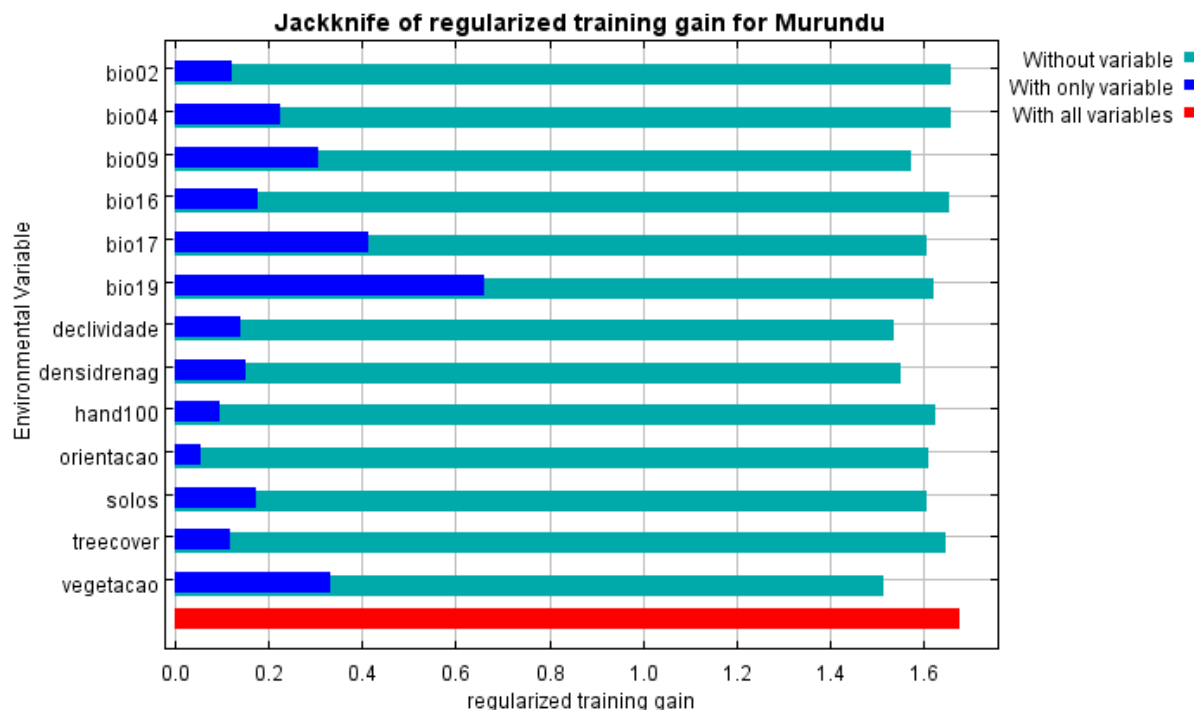
apontam que esta variável ambiental é uma das mediadoras das condições de micro-habitat (por exemplo, disponibilidade de alimentos e recursos de nidificação), as quais estão relacionadas a distribuição de cupinzeiros. Ou seja, os cupins dependem da disponibilidade de madeira para nidificarem.

Na junção das condições de precipitação, vegetação e temperatura, Guiné, Korb e Linsenmair (1998) mostraram que o habitat aberto medeia o efeito da temperatura na densidade e distribuição de montículos construídos por cupins. Logo, Souza e Delabie (2016) pressupõem que como os tipos de vegetação relacionados ao bioma Caatinga são predominantemente arbustivos, é possível que mais habitats abertos neste bioma medeiassem o efeito da temperatura na densidade e distribuição dos murundus.

Apesar da altitude não ter sido selecionada pela PCA, cabe mencionar que Souza e Delabie (2016) descrevem que dentro de sua área geográfica, os murundus ocorrem tanto nas planícies quanto nas áreas mais montanhosas cobrindo um amplo gradiente de altitudes. No entanto, a maior prevalência de murundus densamente povoada ocorre em áreas de menor altitude, caracterizadas por colinas que circundam as serras e afloramentos rochosos que compõem a Serra do Espinhaço, especialmente nas regiões da Chapada Diamantina, Vale do Gorotuba e Vale do Jequitinhonha.

O “ganho” é basicamente uma probabilidade estatística utilizada para maximizar a probabilidade dos dados de ocorrência em relação à área de modelagem. Lidando com exclusões sucessivas, o teste de Jackknife permite que o efeito relativo que cada variável tenha no modelo de distribuição geral seja facilmente comparado (Souza e Delabie, 2016). O teste Jackknife revelou que a variável ambiental com maior ganho quando utilizada isoladamente foi a precipitação no trimestre mais frio (Bio19) (Figura 13). Por outro lado, a variável ambiental que fez com que o ganho diminuísse mais quando foi omitida foi a vegetação (Figura 13).

Figura 13 – Teste Jackknife de ganho



Fonte: Resultado da modelagem no Maxent.

4.5 Validação do modelo

Um dos meios de validação abordados na metodologia é de acordo com a análise de algumas estatísticas geradas após a criação do modelo. A tabela 4 apresenta as comparações propostas por Dalapicolla (2016a) e os resultados foram bastante satisfatórios, tendo em vista que quase todos os tópicos estão de acordo com os parâmetros indicados pelo autor.

Tabela 4 – Parâmetros para validação do modelo

Coluna	Valor de comparação	Resultado
<i>Test AUC</i>	Valores abaixo de 0,7 são ruins. Quanto maior AUC, melhor o modelo	0,9179
<i>Minimum training presence Cloglog threshold</i>	-	0,2873
<i>Minimum training presence test omission</i>	Até 0,2 é aceitável, melhor próximo de 0,15	0,1500
<i>Minimum training presence binomial probability</i>	<i>P – value</i> Para valor maior que 0,05, esse limite de corte mínimo deve ser descartado	0,0037
<i>10 percentile training presence Cloglog threshold</i>	-	0,5284
<i>10 percentile training presence test omission:</i>	Até 0,2 é aceitável, melhor próximo de 0,15	0,3333
<i>10 percentile training presence binomial probability</i>	<i>P – valor</i> Para valor maior que 0,05, esse limite de corte mínimo deve ser descartado	0,0032
<i>Maximum test sensitivity plus specificity Cloglog threshold</i>	-	0,3649
<i>Maximum test sensitivity plus specificity test omission</i>	Até 0,2 é aceitável, melhor próximo de 0,15	0,0667
<i>Maximum test sensitivity plus specificity binomial probability</i>	<i>P – value</i> Para valor maior que 0,05, esse limite de corte mínimo deve ser descartado	0,0002

Fonte: Dalapicolla (2016a) e resultado da modelagem no Maxent.

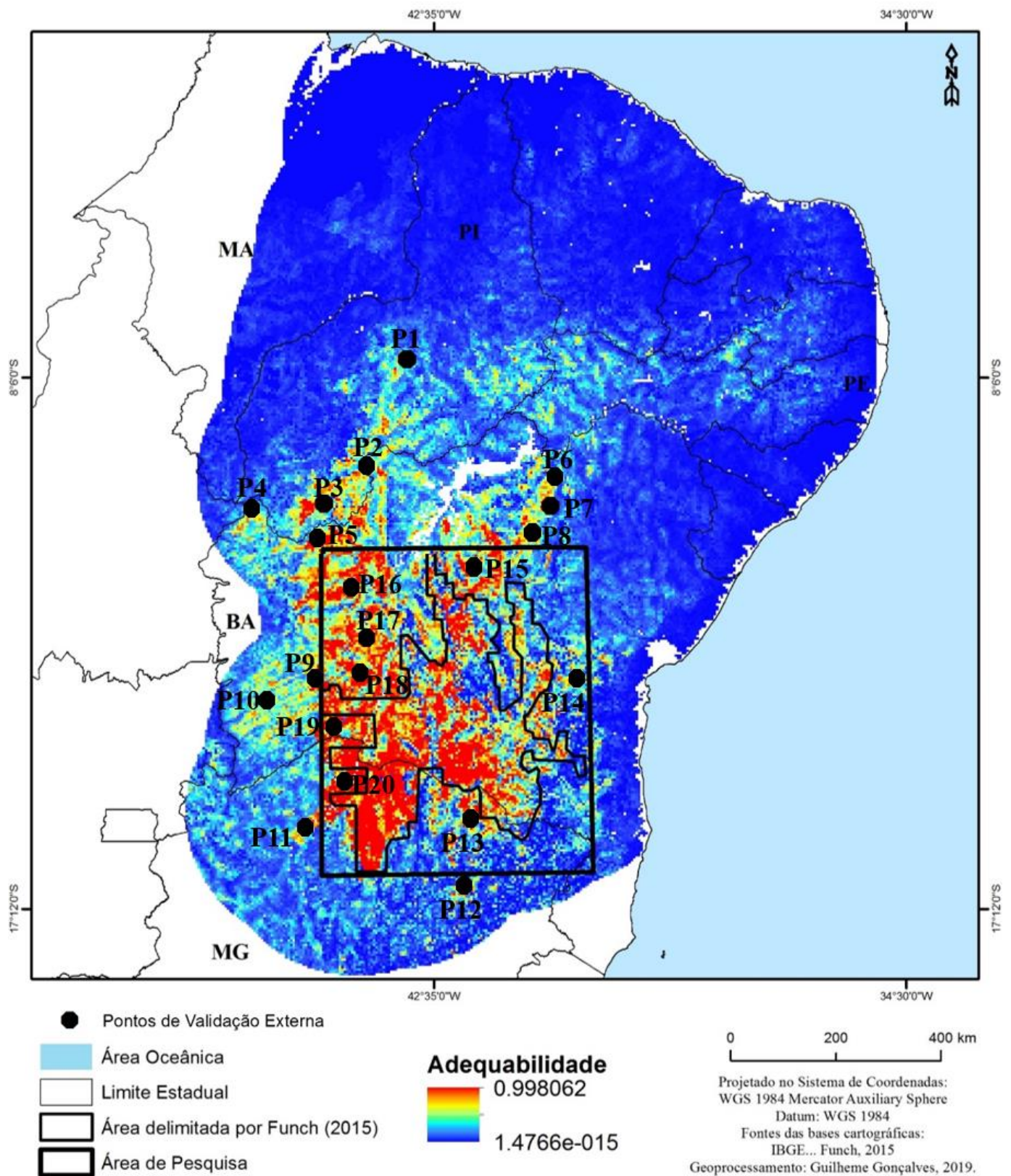
Além dessa validação proposta por Dalapicolla (2016a), outro meio de validação adotado é a utilização das próprias imagens de satélite do Google Earth Pro, para busca da existências de murundus nas áreas de alta probabilidade de ocorrência (Silva e Delabie, 2016).

Assim sendo, foram escolhidos 20 pontos (cada ponto é uma parcela) onde a adequabilidade é maior para esta verificação, usando as imagens de satélite. Foi possível encontrar a ocorrência de murundus em áreas onde a sua presença não era conhecida, como por exemplo, no centro e no sudoeste do estado do Piauí. Também foram encontrados mais desses montes de terra, mais a oeste e norte do estado da Bahia, fora da delimitação da área de estudo.

Dentre os 20 pontos, apenas em 6, não foram encontrados, sendo eles os pontos 4, 6, 8, 10, 11 e 14. Por exemplo, na predição dos fragmentos isolados no estado de Pernambuco, não foram encontrados murundus. Cabe levantar que em locais onde há atualmente agricultura intensiva, muitos murundus podem ser nivelados, cortados, durante o preparo do terreno para plantio.

A figura 14 apresenta a localização de pontos escolhidos pelo autor, para a verificação da ocorrência de murundus fora da área total de pesquisa e da área proposta por Funch (2015). Logo em seguida, é apresentada a tabela das localizações dos centroides das 20 parcelas (Tabela 5).

Figura 14 – Localização dos pontos de validação externa



Fonte: Elaborado pelo autor.

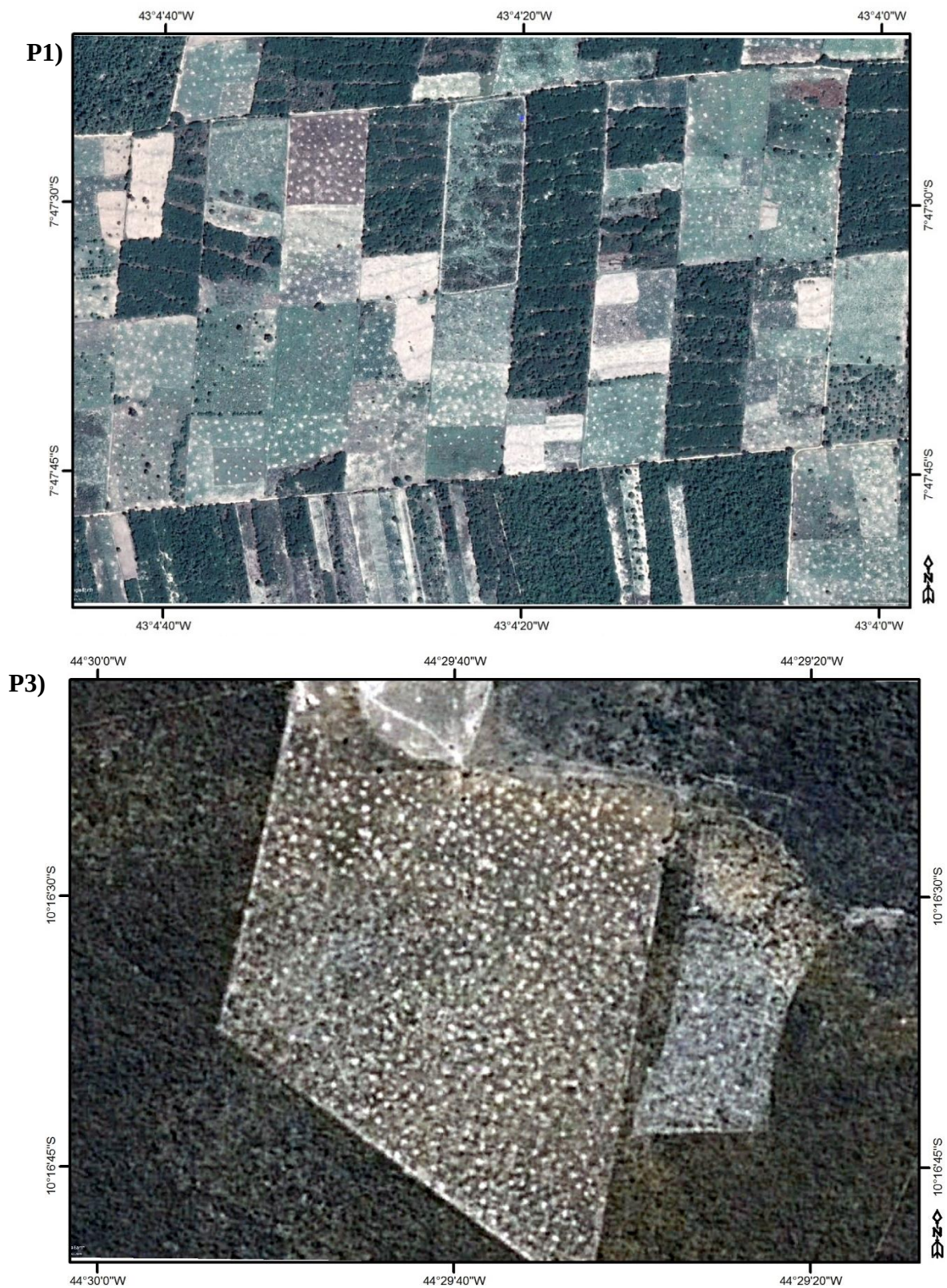
Tabela 5 – Localização dos pontos externos de amostragem

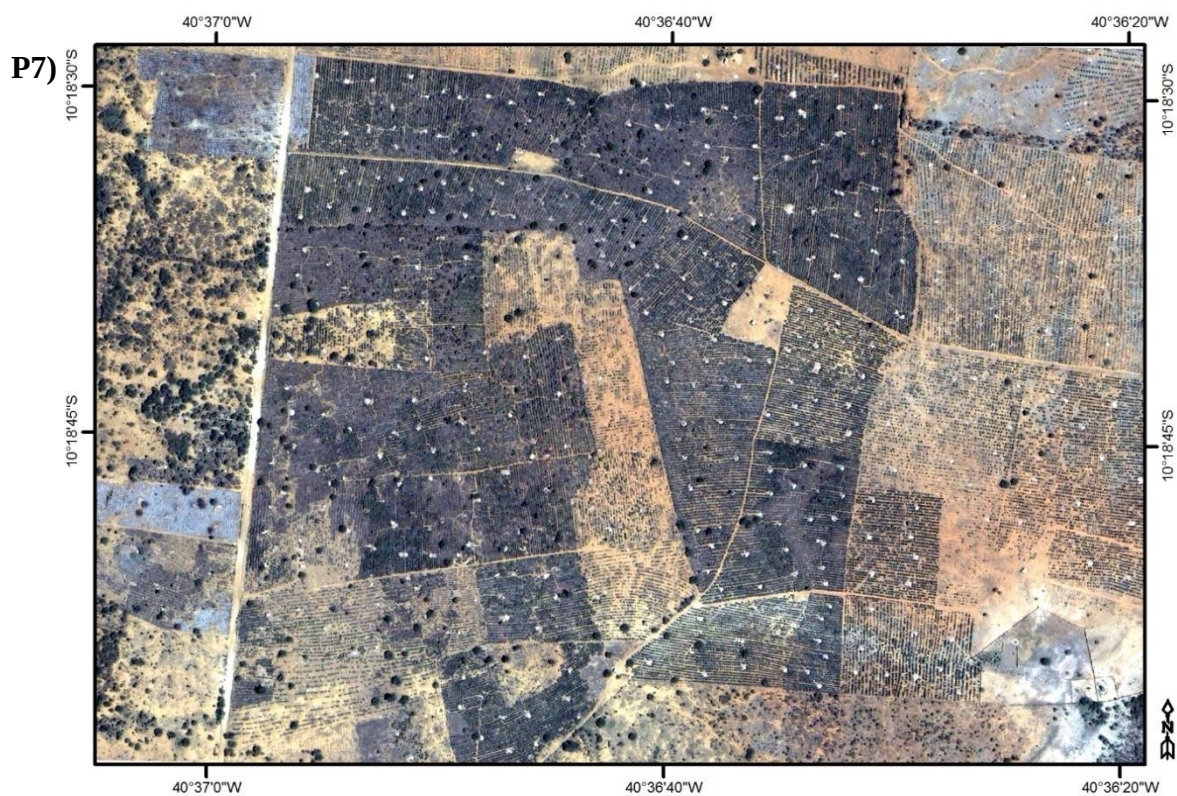
Identificação do ponto	Latitude	Longitude	Presença de Murundus
P1	7°47'35.86"S	43° 4'22.99"O	Sim
P2	9°39'25.85"S	43°42'52.18"O	Sim
P3	10°16'33.49"S	44°29'36.59"O	Sim
P4	10°25'40.83"S	45°38'55.65"O	Não
P5	11°41'28.32"S	44° 2'24.01"O	Sim
P6	9°48'7.79"S	40°33'13.40"O	Não
P7	10°18'42.76"S	40°36'43.65"O	Sim
P8	10°48'55.92"S	40°55'25.31"O	Não
P9	13°15'56.77"S	44°38'27.49"O	Sim
P10	13°33'36.64"S	45°31'11.41"O	Não
P11	15°46'59.42"S	44°49'59.68"O	Não
P12	16°52'48.10"S	42° 3'58.88"O	Sim
P13	15°44'12.11"S	42° 2'18.10"O	Sim
P14	13°21'29.13"S	40° 7'46.19"O	Não
P15	11°26'7.64"S	41°57'46.31"O	Sim
P16	11°41'28.32"S	44° 2'24.01"O	Sim
P17	12°35'23.85"S	43°47'48.48"O	Sim
P18	13°12'54.12"S	43°52'40.54"O	Sim
P19	14°11'30.46"S	44°21'28.87"O	Sim
P20	15° 4'39.47"S	44° 7'55.38"O	Sim

Fonte: Google Earth Pro. Elaborado pelo autor.

Para exemplificar alguns dos locais onde foram encontrados murundus, a figura 15 mostra os pontos P1, P3 e P7.

Figura 15 – Exemplo das parcelas selecionadas para validação externa do modelo





Fonte: Google Earth Pro. Elaborado pelo autor.

Ocorrência visível de murundus em alguns pontos selecionados para validação externa. P1) Parcela referente ao ponto localizado no centro do Piauí. P3) Parcela referente ao ponto localizado no sul do Piauí. P7) Parcela referente ao ponto localizado no norte da Bahia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A melhoria da resolução de imagens de satélite disponível via *software* de acesso livre permitiu a clara representação de murundus em extensas áreas da região semiárida do Brasil, indicando que o alcance de sua distribuição é muito maior do que o indicado pelos registros de ocorrência apontados por Funch (2015), por exemplo. Assim como em Souza e Delabie (2016), este estudo também mostra que, além de uma distribuição local, os murundus ocupam uma área geográfica representativamente grande na região semiárida do Brasil.

De acordo com Souza e Delabie (2016), a origem dos termiteiros na região semiárida do Brasil tem sido erroneamente vista como uma explicação evidente baseada apenas em analogias diretas com grandes murundus construídos por algumas espécies de cupins. Os autores sugerem, baseados em seus resultados, que a formação de murundus pode ser uma resposta adaptativa de espécies construtoras a determinadas condições ambientais regionais.

Como complemento à ideia mencionada, a presente pesquisa corrobora com a literatura, ao apontar as variáveis de temperatura, precipitação e vegetação, dentre as utilizadas, como principais preditoras da distribuição de cupinzeiros no semiárido mineiro e baiano.

Para melhor validação da modelagem nas novas áreas de grande probabilidade de ocorrência, será necessário um trabalho mais elaborado de geoprocessamento e análise metodológica desta distribuição. Esta etapa não foi abordada neste estudo, mas abre portas para mais estudos futuros.

Além disso, o *site* Worlclim também disponibiliza as variáveis ambientais em condições passadas (Holoceno Médio - cerca de 6000 anos atrás e Último Máximo Glacial - cerca de 22.000 anos atrás) e em projeções futuras. Uma proposta ainda dentro deste projeto, visto que os murundus perduram na paisagem por longos períodos (Funch, 2015), é fazer a modelagem para estas outras épocas e esclarecer como os processos de formação atuaram no passado e podem atuar no futuro, contribuindo para elaboração de medidas mitigadoras e adaptativas que previnam extinções.

Dentre as perspectivas futuras para este projeto, estão o trabalho de campo e o processamento de amostras coletadas. Será realizado então um trabalho de campo essencial para registros e amostragens que são elementos complementares à análise espacial descrita anteriormente. O roteiro de campo deverá garantir o máximo de cobertura da área de pesquisa, bem como a obtenção de registros e amostras nas mais diversas unidades mapeadas na modelagem de habitat.

Após a coleta de amostras em campo, elas serão processadas no Laboratório de Entomologia do Museu de Ciências Naturais da PUC Minas, sob supervisão do orientador Prof. Dr. Henrique Paprocki. Uma amostra preliminar já foi processada neste laboratório, onde elementos datáveis foram identificados, quais sejam, fragmentos de plantas, grãos de quartzo e fezes de insetos. Assim sendo, as amostras também serão enviadas para um laboratório especializado, para datação com C¹⁴.

Além do seu significado ambiental, os resultados obtidos nos estudos propostos permitirão destacar uma ocorrência de expressão global da atuação de processos biogênicos na formação da paisagem, permitindo uma análise temporal de um evento expressivo de bioturbação. Todas estas técnicas encadeadas com a literatura, geram a expectativa de dar mais um passo a mais na descoberta da origem, evolução e biogeografia dos murundus.

REFERÊNCIAS

- AMBDATA. **Variáveis Ambientais Para Modelagem De Distribuição De Espécies**. Grupo De Modelagem Para Estudos Da Biodiversidade - DPI/INPE. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/>>. Acesso em: Dezembro de 2018.
- ANJOS, L.H. C; PEREIRA, M. G; PÉREZ, D. V.; RAMOS, D. P. **Caracterização e classificação de Plintossolos no município de Pinheiro-MA**. R Bras Ci Solo. 2007.
- ARAUJO NETO, Mario Diniz de. **Solos, água e relevo dos campos de murundus na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado em Biologia) - Departamento de Biologia Vegetal, Universidade de Brasília, Brasília, 1981.
- ARNOLD, M.; OSORIO, F.. **Introducción a los conceptos básicos de la teoria general de sistemas**. Chile: Facultad de Ciencias Sociales/Universidad de Chile. Cinta de Moebio, 3, 1998.
- AUGUSTIN, Cristina Helena Ribeiro Rocha; MELO, Dirce Ribeiro de ; ARANHA, Paulo Roberto Antunes. **Aspectos geomorfológicos de veredas: um ecossistema do Bioma Cerrado, Brasil**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 10, n. 1, 2009.
- AULER, A. S., SMART, P. L. **Late Quaternary paleoclimate in semiarid northeastern Brazil from U-series dating of travertine and water-table speleothems**. *Quaternary Research*, v.55, p.159-167, 2001.
- AULER, A. S., WANG, X, EDWARDS, L., CHENG, H, CRISTALLI, P.S., SMART, P., RICHARDS, D. **Quaternary ecological and geomorphic changes associated with rainfall events in presently semi-arid northeastern Brazil**. *Journal of Quaternary Science*, v..19, p. 693–701, 2004.
- BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello; CORRÊA, Rodrigo Studart; SANTOS, Perseu Fernando dos. **Campos de murundus da fazenda Água Limpa da UNB: hipóteses de origem**. Revista do Ceam, 2013, v. 2, n.1.
- BERG, A.W. **Formation of Mima mounds: A seismic hypothesis**. *Geology*, v. 18, p. 281-284, 1990
- BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. Tradução Olga Cruz. São Paulo: IGEOG – Caderno de Ciência da Terra,13. USP, 1971.
- BOND, G., BROECKER, W., JOHNSEN, S., McMANUS, J., LABEYRIE, L., JOUZEL, J., BONANI, G., **Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice**. *Nature*, v. 365, p.143-147, 1993
- BOND, G., HEINRICH, H., BROECKER, W., LABEYRIE, L., McMANUS, J., ANDREWS, J., HUON, S., JANTSCHIK, R., CLASEN, S., SIMET, C. and TEDESCO, K. **Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic ocean during the last glacial period**. *Nature*, v. 360, p.245-249, 1992.
- BRANCO, Samuel Murgel. **Ecossistêmica: uma abordagem integradas dos problemas do meio ambiente**. São Paulo: Edgar Blucher, 1999.

BROWN, James H.; LOMOLINO, Mark V. **Biogeografia**. 2. ed. Ribeirão Preto, SP: FUNPEC, 2006.

BROWN, J. L. **SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses**. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(7), 694-700, 2014. Download disponível em: <http://sdmtoolbox.org/>.

BUCKERIDGE, Marcos Silveira. **Mudanças climáticas, biodiversidade e sociedade: como a teoria de redes pode ajudar a compreender o presente e planejar o futuro?** *Revista Multiciência*, Campinas - SP, no. 8, 2007.

COLE, M. M. **Cerrado, caatinga and pantanal; the distribution and origin of savanna vegetation of Brazil**. *Geogr. J.* 126, 168–179, 1960.

COLES, H. R. **Defensive strategies in the ecology of Neotropical termites**. Tese de Phd. Southampton University, 1980.

CORRÊA, Roberto Lobato. **Região e organização espacial**. 2ª edição. São Paulo: Ática, 1987.

COSTA, Alison Bramuth. **Análise espacial do modelo de adequabilidade de hábitat de *Campylocia burmeisteri* (HAGEN,1888) (Ephemeroptera:Euthyplociidae): identificação de áreas com potencial importância de conservação**. PUC Minas, Belo Horizonte, 2017.

COX, G.W., GAKAHU, C.G., WAITHAKA, J.M. **The form and small stone content of large earth mounds constructed by mole rats and termites in Kenya**. *Pedobiologia*, v. 33, p.307–314, 1989.

CRAMER, M.D., INNES, S.N., MIDGLEY, J.J. **Hard evidence that heuweltjie earth mounds are relictual features produced by differential erosion**. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 350–352, 189–197, 2012.

CRAMER, Michael D.; BARGER, Nichole N. **Are mima-like mounds the consequence of long-term stability of vegetation spatial patterning?** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 409, 72–83, 2014.

CRUZ JR., F. W., VUILLE, M., BURNS, S.J., WANG, X. CHENG, H. WERNER, M., EDWARDS, R.L., KARMANN, I., AULER, A.S., NGUYEN, H. **Orbitally driven east–west antiphasing of South American precipitation**. *Nature Geoscience*, v. 2., p.210-214, 2009.

CRUZ JR, F. W., WANG, X., AULER, A., VUILLE, M., BURNS, S. J., EDWARDS, L. R., KARMANN, I., CHENG, H. (2009). **Orbital and millennial-scale precipitation changes in Brazil from speleothem records**. In: VIEMAUX, F., SYLVESTRE, F., KHODRI, M. (eds.) *Past Climate Variability in South America and surrounding regions: from the Last Glacial Maximum to the Holocene*. Springer Netherlands, Amsterdã, p. 29-60, 2009a.

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F. de; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, M. S. L. da; ALVAREZ, I. A. **Principais solos do Semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo**. (Parte de Livro), Embrapa, 2010.

DALAPICOLLA, J. **Tutorial de modelos de distribuição de espécies: guia prático usando o MaxEnt e o ArcGIS 10**. Laboratório de Mastozoologia e Biogeografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016a. Disponível em: <<http://blog.ufes.br/lamab/tutoriais>>. Acesso em: Dezembro de 2018.

DALAPICOLLA, J. **Tutorial de modelos de distribuição de espécie: guia teórico**. Laboratório de Mastozoologia e Biogeografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016b. Disponível em: <<http://blog.ufes.br/lamab/tutoriais>>. Acesso em: Dezembro de 2018.

DANGERFIELD, J.M., McCarthy, T.S., Ellery, W.N.. **The mound-building termite *Macrotermes michaelseni* as an ecosystem engineer**. J. Trop. Ecol. 14, 507-520, 1998.

DAVIES, A. B.; LEVICK, S. R.; ASNER, G. P.; ROBERTSON, M. P.; VAN RENSBURG, B. J.; PARR, C. L. **Spatial variability and abiotic determinants of termite mounds throughout a savanna catchment**. Ecography. 37:852–862, 2014.

DEL MORAL, R., Deardorff, D.C.. **Vegetation of the mima mounds**, Washington State. Ecology 57, 520–530, 1976.

DEMEK, J. **The landscape as a geosystem**. Geoforum, Oxford, v.9, n.1, 1978.

DIAS, N. P.; MEDEIROS, L. R.; PAZINI, J. B.; SILVA, F. F. **Distribuição espacial de *Procornitermes* sp. (Isoptera: Termitidae) em função das propriedades físicas do solo em área de pastagem no município de São Borja, Rio Grande do Sul**. Rev. Bras. de Agroecologia. 7(2), 2012.

EMERSON, Alfred E. **The neotropical genus *Synetermes* (Isoptera: Termitidae)**. Bulletin of the American Museum of Natural History. Vol 83, article 7. Nova Iorque, 1945.

EPAMIG. **Levantamento de Reconhecimento com detalhes dos solos do distrito agroindustrial de Jaíba-Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1976.

FANNING, Delvin. Seymour; FANNING, Mary Christine Balluff. **Soil: morphology, genesis, and classification**. New York: John Wiley e Sons, 1989.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. **Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas**. International Journal of Climatology, 2017. Disponível em: <<http://worldclim.org/version2>>. Acesso em 03 dez 2018.

FILHO, Jugurta Lisboa; IOCHPE, Cirano. **Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados**. Apostila, 1996.

FUNCH, R.R. **Termite mounds as dominant land forms in semiarid northeastern Brazil**. Journal of Arid Environments, v. 122, p. 27-29, 2015.

FURLEY, P. A. **Classification and distribution of murundus in the Cerrado of Central Brazil**. Biogeogr. 1986.

GARREAUD, R.D., VUILLE, M., COMPAGNUCCI, R., MARENGO, J. **Present-day South American climate**. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 281, p. 180-195, 2009.

GIANNINI, T. C.; Siqueira, M. F.; Acosta, A. L.; Barreto, F. C. C.; Saraiva, A. M.; ALVES-DOS-SANTOS, I. **Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies.** Rodriguésia-Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 63, 2012.

GOOGLE EARTH. Google. Version PRO. 2018. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/>>. Acesso em: Abril de 2018.

GUIMARÃES, Regina Maia. **Seleção de geoindicadores para determinação de áreas de fragilidade face às pressões antrópicas: contribuição da análise geossistêmica e da ecologia da paisagem no Espinhaço Meridional.** Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2004.

HARRIS, W. V. **Termite mound building.** *Insectes Sociaux*.3:261–268, 1956.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base Territorial. Shapefiles, 2015.** Disponível em: <<https://downloads.ibge.gov.br/>>. Acesso em: Abril de 2018.

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS. **Shapes Estado. Universidade Federal da Bahia.** Disponível em: <<http://www.twiki.ufba.br/twiki/bin/view/IGeo/ShapesEstado>>. Acesso em: Abril de 2018.

JESUS, Grazielle Nogueira de. **Áreas úmidas com campos de murundus sobre a chapada Uberaba/Uberlândia (MG): estrutura espacial, caracterização de solos e considerações sobre sua gênese e evolução.** Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte, 2017.

JOUQUET, P., BLANCJART, E., CAPOWIEZ, Y. **Utilization of earthworms and termites for the restoration of ecosystem,** *Applied Soil Ecology*, v. 73, p.34-40, 2014.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D. & LAPAGE, M. **Soil function in changing world: the role of invertebrate ecosystems engineers.** *European Journal Soil Biology* 33(4):159-193, 1997.

LEE, H-S., CHON, T-S. **Effects of climate change on subterranean termites territory size: A simulation study.** *Journal of Insect Science*, v. 11, available online: insectscience.org/11.80. 2011.

LOPES, L. G. N; SILVA A. G.; GOULART, A.C.O. **A Teoria Geral do Sistema e suas aplicações nas ciências naturais.** *Natureza online* 13, 2015.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade:** caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, DF: MMA, 2006. 202 p. il. (Biodiversidade, 26).

MENDES, B. V. **Biodiversidade e desenvolvimento sustentável do Semiárido.** Fortaleza: SEMACE, 1997.

MIDGLEY, J.J., HARRIS, C., HESSE, H., SWIFT, A. **Heuveltjie age and vegetation change based on $\delta^{13}\text{C}$ and ^{14}C analyses.** *S. Afr. J. Sci.* 98, 2002.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros.** Brasília: MMA/SBF, 2002.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada Diamantina**. Versão Preliminar – Documento de Trabalho. Instituto Chico Mendes. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Brasília, 2007.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada Diamantina**. Versão Preliminar – Documento de Trabalho. Instituto Chico Mendes. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Brasília, 2007.

MONTEIRO, C.A.F. **Análises ambientais: perspectivas geográficas à interdisciplinaridade e problemas teórico-metodológicos**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE, 1, Recife. Anais. Recife, 1986.

MOORE, J.M., PICKER, M.D. **Heuweltjies (earth mounds) in the Clanwilliam district, Cape Province, South Africa: 4000-year-old termite nests**. *Oecologia* 86, 424–432, 1991.

NEGRET, Helen R. Coles de; REDFORD, Kent H. **The biology of nine termites species (Isoptera: Termitidae) from the Cerrado of Central Brazil**. Hindawi, 1982.

NOBRE, P.; MELO, A. B. C. **Variabilidade climática intrasazonal sobre o Nordeste do Brasil em 1998-2000**. *Revista Climanálise*, Cachoeira Paulista, v. 2, n. 1, p. 1-10, dez. 2001.

NOIROT, C. **The nests of termites**. *Biology of termites*, vol 2, pg 73 -125. Nova Iorque e Londres, 1970.

OLIVEIRA, P. P.; FUNCH, R. R.; SANTOS, F. A. R. **First pollen survey of murundus in the Chapada Diamantina region of the state of Bahia, Brazil**. *Acta Botanica Brasilica*. 28: 638–640, 2014.

OLIVEIRA-FILHO A. T. **Floodplain ‘murundus’ of central Brazil: evidence for the termite origin hypothesis**. *J Trop Ecol* 8:1–19, 1992.

OLIVEIRA-FILHO, Ary Teixeira de. **A vegetação de um campo de Monchões microrrelevo associados a cupins na região de Cuiaba (MT)**. Tese de doutorado, Instituto de Biologia Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 1988.

OLIVEIRA-FILHO, Ary Teixeira de; FURLEY, Peter A; **Monchão, Cocuruto, Murundu**. *Ciência Hoje*, janeiro/fevereiro, v. 11, n. 61, 1990.

OLIVEIRA-FILHO, Ary. Teixeira de. **The vegetation of Brazilian ‘murundus’: the islandeffect on the plant community**. *Journal of Tropical Ecology*, v. 8, n. 4, 1992.

PHILLIPS, Steven J.; DUDÍK, Miroslav; SCHAPIRE, Robert E. **[Internet] Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1)**. Disponível em: <http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/>. Acessado em janeiro de 2019.

PICKER, M.D., HOFFMAN, M.T., LEVERTON, B. **The density of *Microhodotermes viator* (Hodotermitidae) mounds in southern Africa in relation to rainfall and productivity gradients**. *Journal of Zoology*, v.271, p.37–44, 2007.

PONCE, Victor M.; CUNHA, Catia N. **Vegetated Earthmounds in Tropical Savannas of Central Brazil: A Synthesis: With Special Reference to the Pantanal do Mato Grosso.** *Journal of Biogeography*, v. 20, n. 2, 1993.

RAHLAO, S.J., HOFFMAN, M.T., TODD, S.W., McGRATH, K. **Longterm vegetation change in the Succulent Karoo, South Africa following 67 years of rest from grazing.** *Journal of Arid Environment*, v. 72, p.808–819, 2008.

RATTER, J.A., RICHARDS, P.W., ARGENT, G., GIFFORD, D.R. **Observations on the vegetation of northeastern Mato-Grosso: I. The woody vegetation types of the Xavantina– Cachimbo Expedition areas.** *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B* 266, 449–492, 1973.

REDFORD, Kent H. **The Termitaria of *Cornitermes cumulans* (Isoptera, Termitidae) and Their Role in Determining a Potential Keystone Species.** *Biotropica*, Vol. 16, No. 2, 1984.

RESENDE, I.L.M., ARAÚJO, G.M., Oliveira, A.P.A., OLIVEIRA, A.P., JÚNIOR, R.S.A. **A comunidade vegetal e as características abióticas de um *grassland* de murundu em Uberlândia, MG.** *Acta Botânica Bras.*, v.18, p. 9–17, 2004.

ROSS, B.A., TESTER, J.R., BRECKENRIDGE, W.J. **Ecology of Mima-type mounds in north-west Minnesota.** *Ecology*, v.49, p.172–177, 1968.

SILVA, L.C.R., VALE, G.D., HAIDAR, R.F., STENBERG, L da S.L. **Deciphering earth mound origins in central Brazil.** *Plant Soil*, v. 336, p.3–14, 2010.

SILVA, P. C. G. da; MOURA, M. S. B. de; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. de L.; PEREIRA, L. A.; SA, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. de C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES FILHO, C. **Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos.** (Parte de Livro), Embrapa, 2010a.

SIMÕES, F. F. S. **Pedogênese e propriedades físicas, químicas, morfológicas de solos e murundus no médio Jequitinhonha, Minas Gerais.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; 2012.

SOTCHAVA, V.B. Método em questão. **O estudo de geossistema.** Traduzido por Carlos Augusto Figueiredo Monteiro e Dora de Amarante Romariz, São Paulo: IG-USP, 1977.

SOUZA, Henrique Jesus de; DELABIE, Jacques Hubert Charles. **‘Murundus’ structures in the semi-arid region of Brazil: testing their geographical congruence with mound-building termites (Blattodea: Termitoidea: Termitidae).** *Ann. Soc. Entomol. Fr.* 52, 369–85, 2016.

SOUZA, Henrique Jesus de; DELABIE, Jacques Hubert Charles. **Fine-scale spatial distribution of murundus structures in the semi-arid region of Brazil.** *Austral Ecology* vol. 43, 268–279, 2017.

TORLAY, Roger; OSHIRO, Osvaldo T. **Obtenção de imagem do Google Earth para classificação de uso e ocupação do solo.** Campinas, SP, n°: 10502, 2011.

VASCONCELLOS, Alexandre. **Ecologia e biodiversidade de cupins (Insecta, Isoptera) em remanescentes de Mata Atlântica do Nordeste Brasileiro**. Tese de doutorado. João Pessoa, Paraíba, 2003.

VASCONCELLOS, Alexandre; MÉLO, Ana Cerilza S.; SEGUNDO, Eusébio de M. Vasconcelos; BANDERIA, Ademar G. **Cupins de duas florestas de restinga do nordeste brasileiro**. Iheringia, Sér. Zool., Porto Alegre, 95(2):127-131, 2005.

VICENTE, Luiz Eduardo. PEREZ FILHO, Archimedes. **Abordagem sistêmica e Geografia. Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 3, p. 323-344, set./dez. 2003.

WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: Síntese terminológica e relações florísticas**. Brasília: Universidade de Brasília; 2006.

WANG, X., AULER, A.S., EDWARDS, R. L., CHENG, H., CRISTALLI, P. S., SMART, P. L, RICHARDS D. A., SHEN C.C. **Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies**. *Nature*, v.432, p. 740-743, 2004.