



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE ARQUEOLOGIA**

**PARA ONDE EU VOU? Análise de redes de caminhos de menor custo na região
da Serra Vermelha - PE**

João Rhannyé de Brito Araújo

Recife

2025

JOÃO RHANNYÉ DE BRITO ARAÚJO

PARA ONDE EU VOU? Análise de redes de caminhos de menor custo na região da Serra Vermelha - PE

TCC apresentado ao Curso de Arqueologia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Arqueologia.

Orientador(a): Dr. Demétrio da Silva Mützenberg

Coorientador(a): Dr. Lucas Bonald Pedrosa de Souza

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Araújo, João Rhannyé de Brito .

PARA ONDE EU VOU? Análise de redes de caminhos de menor custo na região da Serra Vermelha - PE / João Rhannyé de Brito Araújo. - Recife, 2025.

90 p. : il., tab.

Orientador(a): Demétrio da Silva Mützenberg

Coorientador(a): Lucas Bonald Pedrosa de Souza

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Arqueologia - Bacharelado, 2025.

Inclui referências.

1. Arqueologia. 2. Arqueologia Espacial . 3. Geoarqueologia . 4. Grafismos Rupestres . I. Mützenberg , Demétrio da Silva . (Orientação). II. Souza, Lucas Bonald Pedrosa de. (Coorientação). IV. Título.

560 CDD (22.ed.)

João Rhannyé de Brito Araújo

PARA ONDE EU VOU? Análise de redes de caminhos de menor custo na região da Serra Vermelha - PE

TCC apresentado ao Curso de Arqueologia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Arqueologia.

Aprovado em: 15/08/2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **DEMETRIO DA SILVA MUTZENBERG**
Data: 27/08/2025 11:08:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^o. Dr. Demétrio Mützenberg (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **BRUNO DE AZEVEDO CAVALCANTI TAVARES**
Data: 27/08/2025 11:10:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^o. Dr. Bruno Tavares (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **IGOR PEDROZA**
Data: 27/08/2025 12:07:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Igor Pedroza (Examinador Externo)
Universidade Federal Fluminense

AGRADECIMENTOS

Esse momento que está se realizando um sonho só foi possível devido a pessoas que me apoiaram e me incentivaram durante toda essa jornada.

Em especial, quero agradecer a minha mãe/avó, Sandra Marise, meu exemplo de força, coragem e dedicação, que com seu carinho, sabedoria e histórias, me ensinou valores que levarei por toda a vida. Obrigado por suas orações, pelo cuidado silencioso e pelo orgulho que sempre demonstrou, mesmo nas pequenas conquistas. Obrigado por acreditar em mim mesmo, quando eu duvidei, por me apoiar em cada decisão e por me lembrar, todos os dias, que o esforço vale a pena. Sua paciência, compreensão e amor incondicional foram o alicerce que sustentou esta caminhada.

Aos meus irmãos, Thayna Rhayane e Adrian Smith, que são parte de quem eu sou. Vocês foram minha força nos dias difíceis e minha alegria nos dias bons. Mesmo quando a distância, o cansaço ou o silêncio marcaram presença, eu sabia que podia contar com o apoio e o amor de vocês. Obrigado por acreditarem em mim quando eu mesmo duvidei, por me incentivarem a seguir em frente e por me lembrarem, de tantas formas, que não importa o tamanho do desafio, eu nunca caminho sozinho. Cada página deste trabalho carrega, escondido entre as linhas, um pedaço do afeto, das risadas e do apoio que vocês me deram. Este TCC também é de vocês, porque parte da minha conquista nasceu do amor que temos como irmãos.

Às minhas amadas amigas, Marcela, Kimberly, Giovanna, Thaysa, Isabela, Izabela e Ana, quero dedicar palavras que jamais conseguirão expressar plenamente a imensidão da gratidão e do carinho que sinto por cada uma de vocês. Vocês foram a luz que iluminou meus dias mais escuros, o abraço silencioso que me confortou nas horas de angústia, e a força invisível que me impulsionou a seguir adiante quando a caminhada parecia longa demais. Cada riso, cada palavra de incentivo, cada gesto de cuidado se tornaram alicerces essenciais para que eu não desistisse. Nos momentos em que a dúvida ameaçava me vencer, era a lembrança da nossa amizade, do nosso apoio mútuo e da certeza de que não caminhava sozinho, que me devolvia a coragem. Vocês estiveram presentes não apenas nos momentos de festa e alegria, mas, principalmente, nas dificuldades, ouvindo minhas inseguranças, compartilhando meus medos e celebrando, com um coração gigante, cada pequena conquista. Mais do que amigas, vocês foram e são irmãs escolhidas pelo coração, companheiras fiéis que me

ensinaram o valor da empatia, da solidariedade e da presença genuína. Sem vocês, essa jornada teria sido solitária e incompleta; com vocês, ela se transformou numa experiência rica em afeto, aprendizado e crescimento. Este trabalho, esta vitória, não são só meus, são frutos da nossa cumplicidade, do nosso amor e da força que construímos juntos. Por tudo isso, minha eterna gratidão e todo meu amor a cada uma de vocês.

Aos meus orientadores, Demétrio Mützenberg e Lucas Bonald por suas orientações para a construção deste trabalho.

Ao meu amigo/professor, Bruno Tavares por todo apoio e incentivo durante essa jornada, cuja presença foi muito além da sala de aula. Obrigado por ser um exemplo de dedicação, ética e paixão pelo conhecimento, mas também por ser um amigo leal, capaz de oferecer apoio nos momentos mais difíceis e compartilhar as vitórias como se fossem suas.

Ao meu amigo, Rafael Araújo, que esteve ao meu lado nos momentos desta caminhada. Obrigado por cada conversa, cada palavra de incentivo e cada gesto de apoio que me ajudou a seguir em frente quando o cansaço parecia vencer.

A todos os professores do Departamento de Arqueologia, meu agradecimento por toda a formação adquirida ao longo da minha formação acadêmica.

Aos amigos que, de perto ou de longe, ofereceram palavras de encorajamento, apoio emocional e companhia nos intervalos necessários.

A Isabela Maia, Izabela Ingrid, Marcela Vitoria, Bruno Tavares, Rafael Araújo, Thaysa Araújo, que me ajudaram durante o trabalho de campo.

A seu Antônio, morador da região que se dispôs a ajudar durante o trabalho de campo.

A todos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a execução deste TCC, deixo aqui meu profundo agradecimento.

RESUMO

A presente pesquisa busca contribuir acerca da ocupação indígena antiga na região da Serra Vermelha – PE. Nesse sentido, este trabalho busca entender as relações entre as características ambientais dos abrigos onde estão inseridos os sítios arqueológicos com grafismos rupestres e as rotas de deslocamentos com os grupos responsáveis pela sua realização na região da Serra Vermelha. Para realizar tal análise, foi feita a caracterização das morfologias dos abrigos que contêm grafismos rupestres e criado um modelo de rotas de deslocamento desses grupos, onde são chamados Caminhos de Menor Custo (CMC). A metodologia adotada envolveu a pesquisa bibliográfica, visitas de campo, construção de SIG e a criação das redes de CMC. Os resultados obtidos nesta pesquisa criam um modelo de deslocamento indígena na Serra Vermelha, o qual deve depois ser testado com dados empíricos. O modelo propõe que os deslocamentos possivelmente não eram apenas seguindo a variável do relevo, mas como resultado de decisões intencionais e estratégias de ocupação que articulam morfologia dos abrigos, visibilidade, acessibilidade e expressão simbólica.

Palavras-chave: Arqueologia Espacial; Caminhos Ótimos; Grafismo Rupestre.

ABSTRACT

This research seeks to contribute to the study of ancient Indigenous occupation in the Serra Vermelha region of Pernambuco. In this sense, it seeks to understand the relationships between the environmental characteristics of the shelters where archaeological sites with rock art are located and the displacement routes of the groups responsible for their construction in the Serra Vermelha region. To conduct this analysis, the morphologies of the shelters containing rock art were characterized and a model of these groups' displacement routes, known as Least Cost Paths (LCP), was created. The methodology adopted involved bibliographic research, field visits, GIS development, and the creation of Least Cost Path networks. The results obtained in this research create a model of Indigenous displacement in the Serra Vermelha region, which should then be tested with empirical data. The model proposes that displacements were likely not simply driven by terrain variables, but rather the result of intentional decisions and occupation strategies that combine shelter morphology, visibility, accessibility, and symbolic expression.

Keywords: Spatial Archaeology; Last Cost Patch; Rock Art

Lista de Tabelas

Tabela 1: Classificação do relevo.....	27
Tabela 2: Comparações entre as funções de custo.....	48

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Declividade da Serra Vermelha - PE.	26
Figura 2: Mapa das microrregiões do Sertão do Moxotó e do Sertão do Pajeú.	28
Figura 3: Mapa da mesorregião do Sertão Pernambucano.	29
Figura 4: Mapa hipsométrico com os sítios arqueológicos da região da Serra Vermelha – PE.....	33
Figura 5: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Serra Vermelha – PE.....	36
Figura 6: Equipes de campo.	40
Figura 7: Período de estiagem na Serra Vermelha.	41
Figura 8: Período de chuvas na Serra Vermelha.	42
Figura 9: Fotos de contexto dos sítios visitados.	43
Figura 10: Movimentos na construção de uma rede de caminhos de menor custo.	46
Figura 11: Morfologia Site de front de cuesta.	49
Figura 12: Pinturas do sítio arqueológico Serra Vermelha I.	50
Figura 13: Morfologia Paroi de grande taille sans surplomb.....	50
Figura 14: Pinturas e gravuras do sítio arqueológico Pedra do Tamanduá.	51
Figura 15: Morfologia Abri de fond de vallée.....	52
Figura 16: Pinturas e gravura do sítio arqueológico Furna do Pau D’arco.....	53
Figura 17: Morfologia Paroi de grande taille avec surplomb.	54
Figura 18: Pintura e gravuras do sítio arqueológico Pedra da Letra do Sabá I.....	54
Figura 19: Morfologia Paroi de grande taille sans surplomb.....	55
Figura 20: Gravuras do sítio arqueológico Pedra do Bidó	55
Figura 21: Morfologia Massif isolé.....	56
Figura 22: Gravuras do sítio arqueológico Mundo Novo I.....	56
Figura 23: Rede de caminhos ótimos da função de custo Herzog com grade de 10km e resolução de 100.	59
Figura 24: Rede de caminhos ótimos da função de custo Herzog com grade de 5km e resolução de 100.	61
Figura 25: Rede de caminhos ótimos da função de custo Herzog com grade de 2km e resolução de 50.	63
Figura 26: Rede de caminhos ótimos da função de custo Langmuir com grade de 10km e resolução de 100.	65
Figura 27: Rede de caminhos ótimos da função de custo Langmuir com grade de 5km e resolução de 100.	67
Figura 28: Rede de caminhos ótimos da função de custo Langmuir com grade de 2km e resolução de 50.	69
Figura 29: Rede de caminhos ótimos da função de custo Tobler com grade de 10km e resolução de 100.	71
Figura 30: Rede de caminhos ótimos da função de custo Tobler com grade de 5km e resolução de 100.	73
Figura 31: Rede de caminhos ótimos da função de custo Tobler com grade de 2km e resolução de 50.	75

SUMÁRIO

1 Introdução.....	13
2 Fundamentação Teórica.....	15
2.1 Arqueologia.....	15
2.2 Arqueologia Espacial.....	17
2.3 Ecologia Cultural.....	18
2.4 Geoarqueologia.....	20
2.5 Grafismo Rupestre	21
2.6 Sistema de Informação Geográfica (SIG)	23
3 Contexto Ambiental.....	27
4 Contexto Arqueológico	37
5 Metodologia.....	39
5.1 Campo.....	39
5.2 Caminhos de Menor Custo	44
6 Resultados.....	49
7 Considerações Finais	79
8 Referências Bibliográficas	81

1 Introdução

Esta pesquisa é uma investigação da ocupação indígena antiga na Serra Vermelha, uma região geográfica significativa que serve como divisor de drenagem entre as bacias hidrográficas do Pajeú e Moxotó, localizadas no Sertão Pernambucano.

Nesse sentido, a pesquisa em tela será analisada sob uma perspectiva da Ecologia Cultural e da Arqueologia Espacial. Segundo Clarke (1997), a escala macro, na análise espacial, busca encontrar relações que vão além de um único sítio arqueológico, abrangendo todo um contexto ambiental e social de “inter-relações” entre diversos sítios. Esse tipo de análise pode ser caracterizada dentro de uma perspectiva regional, pois visa compreender as estratégias de ocupação e exploração econômica do ambiente pelos grupos pretéritos.

A Ecologia Cultural é uma abordagem que busca entender as relações dinâmicas entre o ser humano e seu ambiente (Oliveira e Ferreira, 2019), enquanto a Arqueologia Espacial se concentra na compreensão dos padrões espaciais e das relações entre os locais arqueológicos e o ambiente ao redor (Clarke, 1997). Logo, será proposta uma análise espacial em escala macro do contexto arqueológico e ambiental na Serra Vermelha (PE), buscando as relações entre as morfologias dos abrigos identificados, as rotas de deslocamento e sua ocupação e utilização pelos grupos indígenas autores dos grafismos rupestres no local.

Os Vestígios predominantes até o momento na Serra Vermelha são os grafismos rupestres, que estão distribuídos por toda região. Segundo Souza (2018), a Arte Rupestre é um indicador fiável do deslocamento e dispersão de grupos humanos que os produziram. As diversas técnicas e expressões deixadas nos paredões rochosos são indicadores de atividades humanas, podendo ser de períodos históricos distintos.

Os grafismos rupestres possuem um caráter comunicativo, considerados como manifestação e comunicação de grupos culturais, onde é necessário entender que cada comunidade tem o seu próprio modo de comunicação (Pessis; Cisneiros; Mützenber, 2018). É possível identificar os modos de comunicação, mas para isso, existem diferentes procedimentos. Segundo Pessis; Cisneiros; Mützenber (2018), um deles é identificar o que representam as figuras/cenas desenhadas nos paredões rochosos, sendo: as características temáticas e técnicas.

Os problemas norteadores desta pesquisa são: “qual a relação entre os sítios de grafismos rupestres e as rotas de deslocamento dos grupos indígenas que os fizeram?” e “Quais características ambientais podem ser observadas em relação a este tipo de sítio arqueológico?”

Com os pontos levantados acima chegam-se as seguintes hipóteses: As características ambientais dos abrigos utilizados pelos grupos indígenas autores dos grafismos rupestres na região está diretamente relacionada às rotas de deslocamento desses grupos, uma vez que abrigos com características específicas (como boa visibilidade, proteção natural e acesso a recursos) tendem a estar localizados estrategicamente ao longo de rotas tradicionais de mobilidade, funcionando como pontos de parada, acampamento temporário ou locais de referência territorial; Os grupos indígenas autores dos grafismos rupestres da região, preferiam abrigos em áreas mais elevadas da Serra, onde se encontram a maior quantidade de sítios trabalhados nessa pesquisa.

Para desenvolver as hipóteses é necessário compreender a função do relevo, a posição geográfica relativa da região, o gasto calórico, a velocidade/tempo e a declividade. Também levar em consideração as morfologias dos abrigos rochosos.

Nesse sentido, o objetivo principal do trabalho é entender a relação dos sítios abrigados, o ambiente e as possíveis rotas de deslocamentos dos grupos pré-coloniais na Serra Vermelha. Para tal, a pesquisa será baseada nas características ambientais dos abrigos onde estão inseridos os sítios arqueológicos e na identificação das rotas de deslocamento desses grupos a partir da identificação de caminho de menor custo (Herzog, 2014; Herzog, 2013; Langmuir, 1984; Tobler, W. 1993; Tomé & Havre, 2023; Souza, 2023; White & Barber, 2012; O'Sullivan, 2019; Branco & Barbeiro, 2012; Hildenborg, 2021). Assim sendo possível compreender se existiu uma rede de interações no local.

Ao entender como as relações do ambiente com esses grupos indígenas que ocuparam e utilizaram a Serra Vermelha, podemos obter insights sobre suas estratégias de sobrevivência, seu relacionamento com o ambiente e sua cultura material. Logo, os resultados poderão posteriormente ser aplicados em outras áreas, testando a validade do modelo, além de ajudar a contribuir significativamente para o nosso conhecimento da História Indígena de longa duração no Sertão Pernambucano.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Arqueologia

Muitas vezes a Arqueologia é vista e representada por uma figura (pessoa) aventureira que busca riquezas em civilizações que não existem mais, porém, ela está longe de ser essa ciência apresentada pela cultura pop.

Pereira (2021), diz que a Arqueologia consiste na ciência que estuda o antigo, sendo mais específico, a Arqueologia estuda as atividades ou comportamentos realizados por seres humanos pretéritos, no qual podem ser estudados pela cultura material. O autor enfatiza que:

A Arqueologia é a ciência que estuda o homem no tempo e no espaço pretérito por meio de elementos remanescentes da cultura material, como vasos cerâmicos, pontas de flechas, restos de fogueiras, edificações, enterramentos humanos, entre outros (Pereira, 2021).

Já Butzer (1982), defende a ideia de que o objetivo final da Arqueologia é determinar a inter-relação entre a cultura e o meio ambiente, assim, enfatizando as pesquisas arqueológicas, sendo voltadas para a compreensão da ecologia humana das comunidades de grupos indígenas, ou seja, entender a relação entre os grupos e o meio ambiente.

A Arqueologia pode ser entendida como uma disciplina que busca entender as interferências e interpretações do comportamento humano a partir de vestígios materiais (Sanjuán, 2005). Ela vai em busca da reconstrução do comportamento humano com base nos vestígios físicos gerados por todas as atividades humanas (Sanjuán, 2005). Esses vestígios podem ser classificados como diretos ou indiretos. Sanjuán (2005) diz que os vestígios diretos são aqueles deixados na litosfera, onde tiveram ações humanas. Já os vestígios indiretos são aqueles que foram produzidos como resultado de ações secundárias das atividades humanas. Ainda segundo o autor, a Arqueologia vai estudar o passado humano através de atividades e comportamentos culturais deixados pelos seres humanos, onde a maioria são depositados no subsolo.

Nesse sentido, a Arqueologia é uma ciência multidisciplinar, que vai procurar dialogar com outras ciências, como: biologia, química, física, matemática, geologia, geografia, entre outras áreas. Para Souza (2018) a Arqueologia é uma ciência a qual está ligada diretamente com a materialidade humana, no qual o arqueólogo vai ter nos sítios arqueológicos locais de busca

e obtenção de cultura material e imaterial. Sendo assim, a Arqueologia vai depender da materialidade humana para ser entendida. Sanjuán enfatiza que:

Um sítio arqueológico é um agrupamento espacialmente definido e funcionalmente significativo de vestígios materiais de atividades humanas desenvolvidas no passado (Sanjuán, 2005, p. 24. Tradução nossa).

A cultura material pode ser compreendida de duas maneiras. Uma através do registro histórico e a outra através do registro arqueológico. O registro histórico é caracterizado pela presença de objetos ou artefatos cuja função mudou ao longo do tempo, mas permaneceu parte integrante da sociedade atual e fornece evidências do modo de vida passado. Já o registro arqueológico não é encontrado na atual sociedade, mas pode fornecer informações sobre o comportamento do homem pretérito (Schiffer, 1996 apud Souza, 2018).

Os artefatos arqueológicos estão inseridos em dois contextos, o sistemático e o arqueológico. No primeiro os artefatos participam diretamente de um sistema comportamental humano, já no segundo o artefato interage unicamente com o meio natural no qual está inserido, podendo, porém, mudar de contexto várias vezes ao longo de sua existência (Schiffer, 1996 apud Souza, 2018).

Existem dois tipos de formação do registro arqueológico, um é o cultural, onde o agente de transformação é a capacidade humana, o outro são os fatores não culturais, os quais são formados a partir de agentes naturais presentes no meio ambiente (Souza, 2018). Nesse sentido, existem os processos naturais que podem retirar o material do seu contexto primário, ou seja, o local onde foram usados pela primeira vez, e serem transportados para outro depósito, ou contexto secundário, devido a fatores ambientais como a chuva, ventos ou gelo (Souza, 2018). Bicho (2006) denomina esse tipo de processo como “processos geomórficos”, que são os processos gerais da história sedimentar em contextos arqueológicos. Segundo Stein (2001b:10) apud Bicho (2006), essa história sedimentar é dividida em quatro fases: a origem dos sedimentos, o meio de transporte, o ambiente de deposição e os fenômenos de alteração pós-deposicional. É importante ressaltar que os processos de formação do registro arqueológico podem ser muito diferentes dependendo do ambiente de deposição.

2.2 Arqueologia Espacial

A análise espacial é uma abordagem bastante importante para estudos arqueológicos. Segundo Clarke (1977), a Arqueologia espacial constitui uma abordagem metodológica e teórica voltada à compreensão das formas pelas quais os grupos humanos organizavam, ocupavam e transformavam o espaço ao longo do tempo. Para o autor, as distribuições espaciais de vestígios arqueológicos não devem ser vistas apenas como registros estáticos de ocupações passadas, mas como expressões materiais de sistemas sociais, econômicos, culturais e simbólicos. Nesse sentido, Clarke propõe que o espaço seja concebido como uma dimensão ativa e estruturante da cultura, sendo, portanto, essencial à interpretação dos processos arqueológicos. A análise espacial, segundo ele, deve incorporar múltiplas escalas, do local ao regional e considerar a interação entre fatores ambientais, tecnológicos e sociais, utilizando ferramentas quantitativas e modelos analíticos que permitam a construção de inferências robustas sobre as dinâmicas passadas.

Para Clarke (1977), existem três escalas de análise do espaço, o micro, o semi-micro e a macro escalas. A escala macro, no contexto da análise espacial, dedica-se à investigação das relações extra-sítio, considerando as interações entre os sítios arqueológicos e o ambiente ao seu redor. Trata-se, portanto, de uma abordagem ao nível regional, logo a ênfase recai sobre as estratégias de ocupação do território, os modos de exploração econômica dos recursos naturais e as formas de territorialidade, bem como sobre as possíveis relações e dinâmicas entre diferentes grupos culturais. A escala semi-micro, por sua vez, opera no nível das agregações de estruturas e contextos arqueológicos associados a práticas coletivas e atividades grupais. Nessa dimensão analítica, os fatores sociais e culturais tornam-se perceptíveis por meio da organização espacial dos vestígios materiais, refletindo padrões de convivência, uso do espaço e dinâmicas internas dos grupos sociais. E por fim, a escala micro tem como foco analítico a identificação da dimensão espacial, seja funcional ou simbólica de vestígios materiais restritos a estruturas individuais. Nesse nível, a atenção recai sobre a organização interna de espaços específicos, permitindo inferências sobre o uso cotidiano, a funcionalidade e os significados atribuídos aos ambientes por seus ocupantes (Clarke, 1977).

Dentro desse contexto, as análises espaciais em escalas ganham destaques. Um exemplo desse enquadramento é o estudo de Souza (2018), que analisou espacialmente intra-sítio do material lítico, encontrados predominantemente em dois níveis estratigráficos (1B, há 1,4 m de profundidade; 1B-2, há 1,8 m de profundidade) do Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima,

Salgueiro-PE em uma escala semi-micro, onde buscou reconstituir a dinâmica de ocupação dos Níveis 1B e 1B-2 do sítio arqueológico Lagoa Uri de Cima.

Para Araújo (2025), as análises espaciais dentro da Arqueologia são uma das abordagens metodológicas mais importantes da arqueologia contemporânea, as quais vão juntar conceitos da geografia, cartografia e estatística para investigar a distribuição e organização de sítios, artefatos e outros elementos arqueológicos. Ainda segundo a autora, a evolução das análises espaciais está ligada a mudanças paradigmáticas na arqueologia, especialmente com o surgimento da Arqueologia Processual, que buscava entender as dinâmicas culturais por meio de vestígios materiais. Atualmente, a análise espacial é essencial para os estudos de distribuição, organização social, uso do espaço, mobilidade e estratégias de adaptação (Hodder & Orton, 1976).

Tecnologias como o Light Detection and Ranging (LIDAR) e modelos tridimensionais vem sendo associadas às análises espaciais e trazendo mudanças e novas interpretações. Essas ferramentas permitem revisitar conceitos tradicionais e adotar abordagens mais holísticas e multiescalares (Araújo, 2025). Nesse contexto, a análise espacial em arqueologia, aliada a tecnologias como os Sistemas de Informação Geográficas (SIG), LIDAR e os modelos tridimensionais consolidaram-se como uma ferramenta indispensável para a compreensão dos padrões de ocupação e das dinâmicas socioculturais de sociedades antigas (Verhagen, 2018 apud Araújo, 2025).

Nesta pesquisa foi realizada uma abordagem espacial com o uso de tecnologias para a análise de padrões de movimentos na região da Serra Vermelha – PE em uma escala macro, ou seja, uma análise espacial que se dedica à investigação das relações extra-sítio, considerando as interações entre os sítios arqueológicos e o ambiente ao seu redor.

2.3 Ecologia Cultural

A Ecologia Cultural é uma abordagem que busca entender as relações dinâmicas entre o ser humano e seu ambiente. Essa relação entre o humano e o ambiente tem sido bastante pesquisada desde o século XX (Oliveira & Ferreira, 2019). Nesse sentido, as culturas humanas poderiam ser classificadas a partir de estágios de desenvolvimento com a ideia de evolução linear e de províncias geográficas (Viertler, 1988 *apud* Oliveira e Ferreira, 2019). Alguns pesquisadores do século XX defendem a ideia de que as culturas humanas possuem características que não se encaixam no padrão da evolução linear (Oliveira e Ferreira, 2019).

A Ecologia Cultural é uma abordagem teórica desenvolvida por Julian Steward a partir da década de 1950, com o objetivo de compreender como as culturas humanas se adaptam aos seus ambientes naturais por meio de processos históricos e sociais (Steward, 1968). Trata-se de uma perspectiva que busca integrar os fatores ambientais e culturais, reconhecendo a interação dinâmica entre o meio físico e os sistemas sociais. No contexto arqueológico, essa abordagem tem sido amplamente utilizada para interpretar padrões de assentamento, uso da paisagem, estratégias de subsistência e transformações socioambientais ao longo do tempo.

Segundo Steward (1968), a Ecologia Cultural parte da premissa de que o ambiente impõe limites, mas não determina de forma absoluta o comportamento humano. Dessa maneira, é preciso compreender como os grupos sociais organizam suas atividades de maneira adaptativa dentro desses limites, estabelecendo uma relação dialética com o meio. Essa perspectiva se diferencia do determinismo ambiental ao reconhecer o papel ativo das sociedades humanas na construção de suas paisagens culturais.

Entre os autores que expandiram essa perspectiva destaca-se Karl W. Butzer, cuja contribuição foi essencial para o desenvolvimento da geoarqueologia e da análise integrada entre fatores ambientais e processos culturais. Para Butzer (1982), a paisagem é o produto de uma coevolução entre natureza e sociedade, e sua leitura arqueológica exige uma abordagem interdisciplinar, capaz de combinar dados ambientais, históricos e culturais. Ao estudar a dinâmica de ocupações humanas em diferentes regiões, o autor enfatizou a importância de reconstruções paleoambientais como base para compreender adaptações humanas e colapsos sociais.

No Brasil, diversos autores têm contribuído para a incorporação da Ecologia Cultural nas pesquisas arqueológicas. Funari (2003), por exemplo, destaca que a Arqueologia deve considerar os fatores ecológicos como parte fundamental da compreensão das sociedades do passado, sem negligenciar os aspectos históricos e ideológicos. Para o autor, a abordagem ecológica permite identificar regularidades no uso do espaço e na organização produtiva dos grupos humanos.

Além disso, a Ecologia Cultural encontra afinidade com as escalas de análise espacial propostas por arqueólogos como Clarke (1977) e Schiffer (1987), que reconhecem diferentes níveis de interação entre cultura e meio. A análise de vestígios arqueológicos sob a ótica ecológica possibilita, por exemplo, a reconstrução de padrões de mobilidade, o entendimento

das escolhas tecnológicas e a identificação de estratégias de adaptação a ambientes específicos (Schiffer, 1987).

Nas últimas décadas, a integração entre a Ecologia Cultural e os SIG tem ampliado as possibilidades metodológicas da Arqueologia. Por meio de caminhos ótimos e análises de visibilidade, os arqueólogos têm desenvolvido abordagens que consideram o tempo, a energia e os fatores ambientais na reconstrução de paisagens passadas (Almeida; Pereira, 2010; Oliveira, 2015). Essas metodologias permitem testar hipóteses ecológicas a partir de dados empíricos, promovendo uma Arqueologia mais explicativa e menos descritiva.

Portanto, a Ecologia Cultural constitui uma base teórica robusta para a Arqueologia, especialmente quando associada a análises espaciais e paleoambientais. Ao reconhecer a complexidade das interações entre cultura e ambiente, essa abordagem permite uma compreensão mais abrangente das dinâmicas sociais e das transformações ambientais nas quais as sociedades arqueológicas estavam inseridas.

2.4 Geoarqueologia

A Geoarqueologia é uma disciplina que vai buscar responder os problemas arqueológicos através das geociências, ou seja, a geologia, geofísica, geoquímica, geografia, hidrologia e outros. Para Butzer (1982), Geoarqueologia implica na mesma ideia, usando os métodos e conceitos das Geociências na pesquisa arqueológica e é diferenciada de uma aplicação geológica a trabalhos arqueológicos pelos seus objetivos, não pelos seus métodos.

Nesse contexto, a Geoarqueologia investiga os processos sedimentares que influenciaram na formação do sítio arqueológico. Segundo Rapp & Hill (1998), os solos e sedimentos arqueológicos são objetos primários da Geoarqueologia, relacionados assim à geomorfologia, sedimentologia, estratigrafia, processo de formação do sítio arqueológico e reconstrução da paisagem pré-colonial. A Geoarqueologia é fundamental para a reconstrução da dimensão abiótica da paisagem e sua evolução para uma concreta compreensão das relações entre grupos humanos e o meio-ambiente, além de contribuir aos estudos dos processos de formação do registro arqueológico (Sanjuán, 2005).

As contribuições da Geoarqueologia tornaram-se particularmente relevantes a partir da segunda metade do século XX, quando o desenvolvimento de técnicas como a micromorfologia de solos, a estratigrafia sedimentar, as análises granulométricas e geoquímicas passaram a ser

aplicadas sistematicamente em sítios arqueológicos. A integração dessas técnicas permite compreender tanto os processos de formação natural (como erosão, sedimentação, alagamentos ou atividade fluvial) quanto os processos culturais (como construção, descarte, queima ou abandono), possibilitando uma análise contextualizada dos vestígios arqueológicos (Goldberg; Macphall, 2006).

No contexto brasileiro, a Geoarqueologia tem sido aplicada com crescente frequência em projetos arqueológicos que buscam entender os ambientes ocupados por populações pré-coloniais, coloniais e históricas. Autores como Scheel-Ybert et al. (2006) e Cunha (2010) destacam a importância da abordagem geoarqueológica para a caracterização de depósitos antrópicos, identificação de áreas de atividade e reconstrução paleoambiental. Em regiões como o litoral, a Amazônia e o semiárido nordestino, a análise geoarqueológica tem permitido, por exemplo, interpretar padrões de ocupação em sambaquis, sítios de terra preta e contextos líticos em superfícies abertas.

Outro aspecto importante da Geoarqueologia é seu papel na Arqueologia Preventiva e no licenciamento ambiental. Em projetos de impacto, o uso de análises geoarqueológicas têm se mostrado essencial para a avaliação do potencial arqueológico de determinadas áreas, especialmente em contextos com camadas enterradas ou de difícil visibilidade superficial (Cunha; Kipnis, 2007). A identificação de paleo-superfícies e horizontes culturais por meio da estratigrafia sedimentar tem auxiliado na delimitação de sítios e na elaboração de diagnósticos mais precisos.

Assim, a Geoarqueologia emerge como uma ferramenta indispensável para a arqueologia contemporânea, ao permitir uma leitura mais completa dos contextos investigados. Ao considerar os processos de formação dos sítios e a evolução das paisagens, a abordagem geoarqueológica contribui para uma arqueologia mais contextualizada, crítica e integradora, superando leituras isoladas dos vestígios materiais.

2.5 Grafismo Rupestre

Os Grafismos Rupestres são reconhecidos como uma das mais antigas manifestações estéticas do homem ao longo de toda sua história (Marques, 2016). Os Grafismos são normalmente encontrados em abrigos rochosos e cavernas. Nesse sentido, o Grafismo Rupestre tem uma grande importância na busca de informações sobre o cotidiano dos povos originários (Marques, 2016). A autora enfatiza que:

O Grafismo Rupestre é um importante acervo de informações relacionadas ao homem pré-histórico, é através desta arte que podemos conhecer melhor suas manifestações culturais, pois cada figura tem uma representação simbólica, como figuras femininas, ventre e seios volumosos, que provavelmente simbolizavam a natureza da vida (Marques, 2016).

O Grafismo Rupestre, frequentemente referido como arte rupestre, consiste em representações visuais realizadas sobre superfícies rochosas, por meio de técnicas como a pintura, a incisão ou a raspagem. Essas manifestações gráficas estão presentes em diversos contextos arqueológicos ao redor do mundo e são tradicionalmente interpretadas como expressões simbólicas, rituais ou comunicativas de sociedades pré-coloniais (Guixé, 2004). No Brasil, o estudo do grafismo rupestre tem sido uma das vertentes mais consolidadas da Arqueologia, especialmente em regiões como o semiárido nordestino, o planalto central e a Amazônia.

O Grafismo Rupestre é um fenômeno profundamente enraizado na cultura material e no universo simbólico de diferentes grupos humanos. De acordo com Pessis (1999), essas expressões gráficas devem ser compreendidas não apenas como arte, mas como parte de sistemas mais amplos de significação, que envolvem mitologias, práticas sociais, territorialidade e cosmologias. Dessa forma, a abordagem arqueológica do grafismo rupestre exige um olhar que vá além da estética ou da tipologia formal, incorporando interpretações contextuais e interdisciplinares.

As técnicas de registro e análise dos grafismos rupestres evoluíram consideravelmente nas últimas décadas. Hoje, utilizam-se métodos como o mapeamento digital, a fotogrametria, a análise espectral e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitem não apenas a documentação precisa das imagens, mas também sua contextualização espacial (Bueno, 2007). Além disso, os estudos de pigmentos, suportes rochosos e alterações químicas têm fornecido dados relevantes sobre os modos de produção e conservação dessas representações (Silva; Cabral, 2012).

No campo teórico, diversas correntes interpretativas têm disputado o entendimento do grafismo rupestre. A abordagem tradicional, de cunho evolucionista ou classificatório, buscava identificar estilos e cronologias com base em critérios morfológicos. Contudo, abordagens mais recentes, como a Arqueologia da Paisagem, a Antropologia Simétrica e a Arqueologia Pós-

processual, têm enfatizado o papel ativo das imagens na constituição das relações sociais e dos modos de habitar o espaço (Tassinari, 2002).

No Brasil, os trabalhos de Niède Guidon, Maria Beltrão, Maria Laura Pessis, entre outros, foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa em Grafismo Rupestre. Em áreas como a Serra da Capivara (PI) e a Serra das Confusões, os estudos têm demonstrado a complexidade e a diversidade dos registros gráficos, que incluem cenas de caça, figuras antropomorfas, motivos geométricos e composições simbólicas com forte carga cultural (Guerreiro, 2011).

Esses registros não devem ser vistos apenas como reflexo de uma cultura extinta, mas como elementos que continuam a operar no imaginário de comunidades tradicionais e indígenas. A perspectiva de autores como Viveiros de Castro (1996) e Tassinari (2002) propõe que o Grafismo Rupestre, em muitos casos, expressa uma ontologia relacional, na qual humanos, animais, espíritos e paisagens compartilham uma agência simbólica comum.

Dessa forma, o estudo do Grafismo Rupestre na Arqueologia exige uma abordagem integrada, que considere tanto os aspectos técnicos de produção e preservação quanto os significados culturais e simbólicos atribuídos a essas imagens. É por meio dessa leitura ampliada que se pode compreender a profundidade das relações entre imagem, território e memória nas sociedades do passado.

2.6 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Os SIG são ferramentas de bastante importância para o cenário arqueológico juntamente com a análise espacial (Souza, 2023). Ainda segundo o autor, os SIG são sistemas computacionais usados para o armazenamento, gestão, recuperação e análise de dados espaciais com o intuito de gerar informações geográficas. Nesse sentido, existem 5 componentes principais que constituem o SIG: o operador (uma pessoa), o hardware (os componentes da máquina), o software (o programa computacional), os dados e por fim os procedimentos (Souza, 2023).

Para Sajuán (2005) existem 6 (seis) principais vantagens de utilizar a ferramenta SIG, sendo elas: a captura - atualmente não é mais necessário importar os dados ambientais de cada sítio, pois existe o cruzamento de dados ambientais e arqueológico; Integração - os dados são integrados no SIG; Georreferenciamento - os dados são facilmente referenciados dentro do

espaço terrestre; Conceituação - a partir do SIG, os dados arqueológicos são facilmente organizados e representados por pontos; Representação Cartográfica - com o SIG os mapas são apresentados com uma qualidade melhor.

O SIG é um tipo especial de sistema de informações. Os sistemas de informações são utilizados para manipular, sintetizar, pesquisar, editar e visualizar informações, geralmente armazenadas em bases de dados computacionais (Ferreira, 2006). O SIG é bastante utilizado em companhias áreas para o gerenciamento de passagens, onde serve para realizar as reservas, vendas e check-in de passageiros (Ferreira, 2006). Algumas atividades podem ser feitas de forma manual, mas tornariam o processo mais lento, difícil e com mais chances de erro. Logo, o SIG vem para facilitar esses processos, tornando essas atividades mais fáceis e produtivas.

Como observado, o SIG abrange muitas possibilidades espaciais e cartográficas. Na Arqueologia, os SIG são ferramentas fundamentais para análises ambientais, permitindo uma compreensão das relações entre vestígios arqueológicos e o ambiente em que estão inseridos (Araújo, 2025). O SIG possibilita coletar, organizar, visualizar e analisar dados georreferenciados, além de aumentar as possibilidades de investigação arqueológica (Araújo, 2025). Araújo (2025) enfatiza que:

A aplicação do SIG se destaca na arqueologia da paisagem, no estudo da arte rupestre e na modelagem preditiva, proporcionando novas formas de interpretar a ocupação humana e sua interação com o meio ambiente (Araújo, 2025).

O SIG pode relacionar os dados topográficos, geológicos e vegetacionais, com os padrões de ocupação humana (Bevan & Conolly, 2004). Já nos grafismos rupestres, o SIG possibilita análises detalhadas da localização de painéis em relação a fatores ambientais e culturais (Araújo, 2025). Trabalhos como os de Chagas-Júnior (2017) e Matos (2019) enfatizam o uso dessa tecnologia para analisar as possíveis lógicas na escolha dos locais escolhidos para colocar um grafismo. Já no campo da conservação e gestão do patrimônio cultural, ajudando a mitigar os impactos de atividades humanas, como o turismo, em locais sensíveis (Araújo, 2025).

O SIG também teve grandes avanços tecnológicos ao longo dos anos. Nesse sentido, o SIG teve um papel importante para o desenvolvimento de metodologias analíticas com o uso de modelagens matemáticas e estatísticas. Segundo Souza (2023), os modelos preditivos são uma dessas metodologias nas pesquisas arqueológicas, onde vem crescendo desde o século XX.

Segundo Kunh e Johnson apud Souza, 2023, os modelos preditivos é “o processo de desenvolvimento de uma ferramenta ou modelo matemático que gera uma predição acurada.”

Para o uso do SIG na Arqueologia, é importante que o arqueólogo tenha uma base sobre cartografia, pois é necessário interpretar e produzir um mapa. Para isso, o arqueólogo deve contar com dados espaciais e ferramentas para o georreferenciamento. Logo, o SIG se torna uma etapa valiosa em gabinete e campo. Com um banco de dados georreferenciados criado, o arqueólogo pode usar softwares para a junção desses dados em SIG, como o ArcGis, Qgis (AUTORES), Spring, Erdas, entre outros.

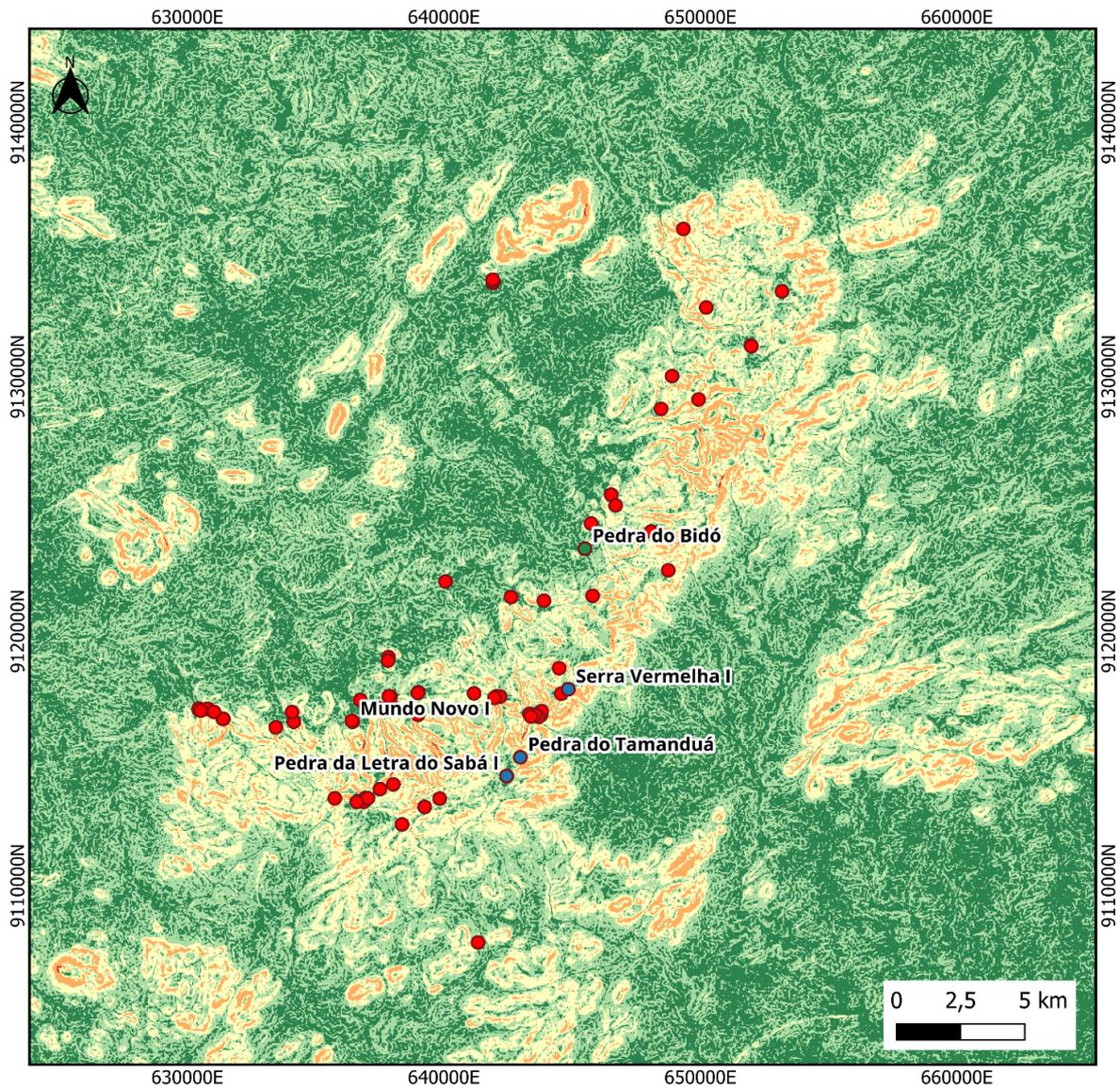
A adoção de bancos de dados relacionais, a exemplo do formato GeoPackage, tem se consolidado como uma estratégia eficaz para potencializar as capacidades de análise e disseminação de informações geoespaciais. Tal recurso revela-se particularmente relevante nas etapas iniciais de investigações científicas baseadas em dados espaciais, uma vez que fornece ao pesquisador subsídios consistentes para a realização de análises preliminares em gabinete. Com isso, torna-se possível estruturar de forma mais precisa os objetivos da pesquisa, além de favorecer o planejamento das atividades de campo e a posterior interpretação e compreensão dos dados coletados.

Nessa pesquisa, foi feita extração do MDE (Modelo Digital de Elevação) utilizando o *QGIS*, mais precisamente o plugin *Open Topography*, o qual permite acessar os dados do *Copernicus-DEM*, da missão Tandem-X, da Agência Espacial Europeia.

Copernicus é um Programa Espacial da União Europeia que oferece dados de observação da terra por satélite e dados in situ, ou seja, dados não espaciais (Copernicus, 2025).

Foi feita a extração do MDE com uma resolução de 30m, e a partir desse dado, foi calculada a declividade do terreno (**Figura 1**) e classificado conforme o Embrapa (2021) (**Tabela 1**).

Figura 1: Declividade da Serra Vermelha - PE.



Legenda:

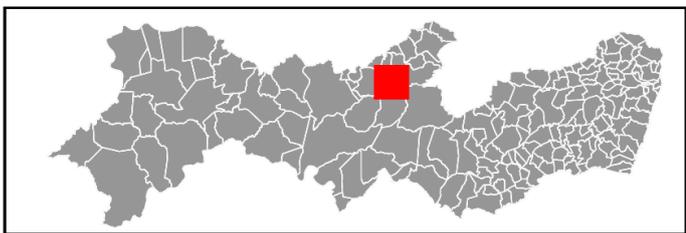
Sítios Arqueológicos da Região

- Sítios da Região
- Sítios Escolhidos

Declividade

Classificação:

- Plano
- Suave Ondulado
- Ondulado
- Forte Ondulado
- Montanhoso



Datum: Sirgas 2000 Fuso: UTM 24S;
 Fonte de dados de declividade: Embrapa, 2021;
 Fonte de dados regionais: IBGE, 2022;
 Fonte de dados arqueológicos: IPHAN, 2025.

Fonte: Autoria própria, 2025.

Tabela 1: Classificação do relevo.

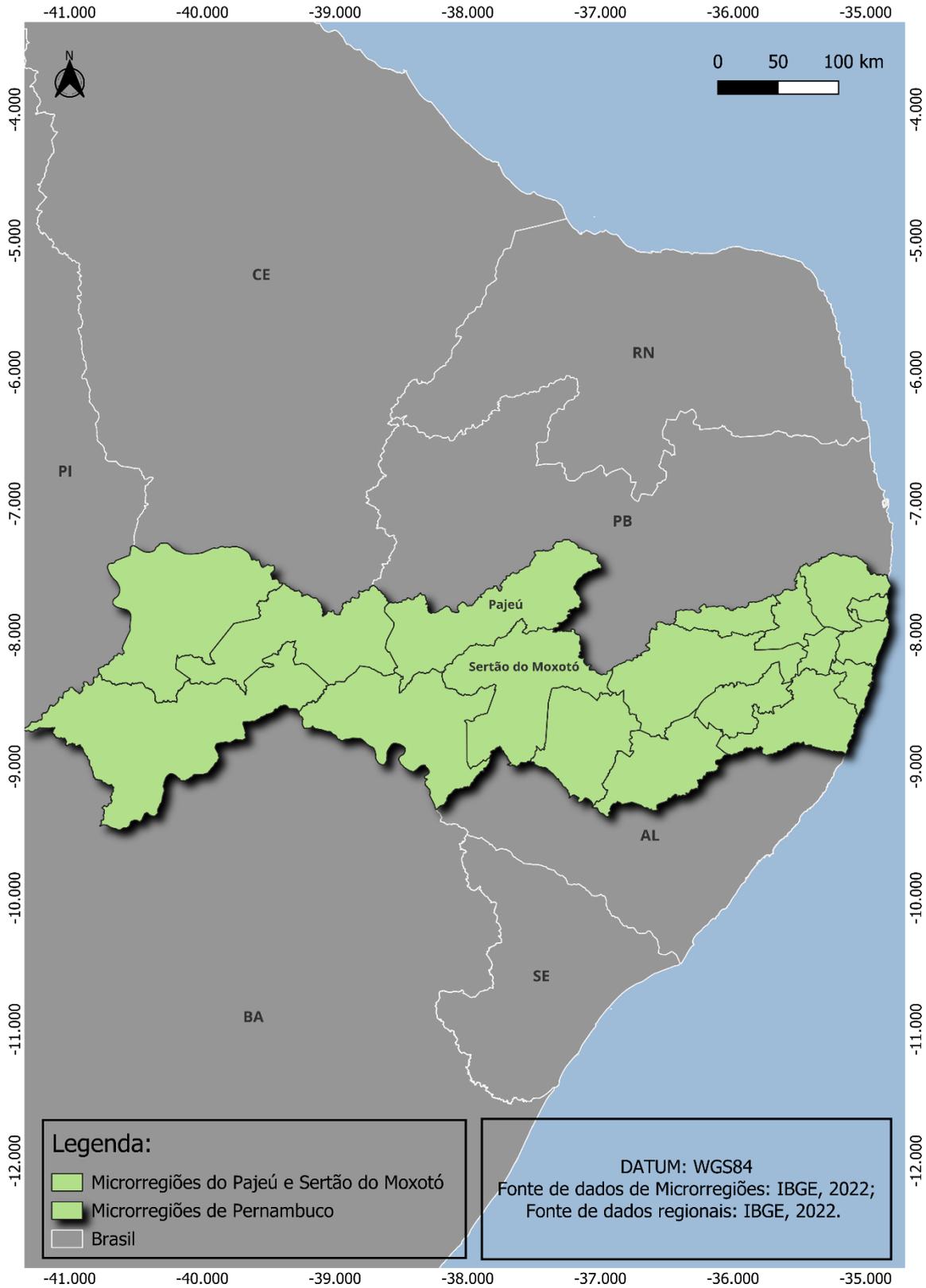
Classe de relevo	Declividade (%)	Área (ha)	%
Plano	0 – 3	35.943,80	8,2
Suave Ondulado	3 – 8	85.937,00	19,6
Ondulado	8 – 20	211.867,70	48,3
Forte Ondulado	20 – 45	103.230,50	23,5
Montanhoso	45 – 75	1.829,80	0,4
Escarpado	> 75	3,2	0
Área total		438.811,80	100

Fonte: Embrapa, 2021.

3 Contexto Ambiental

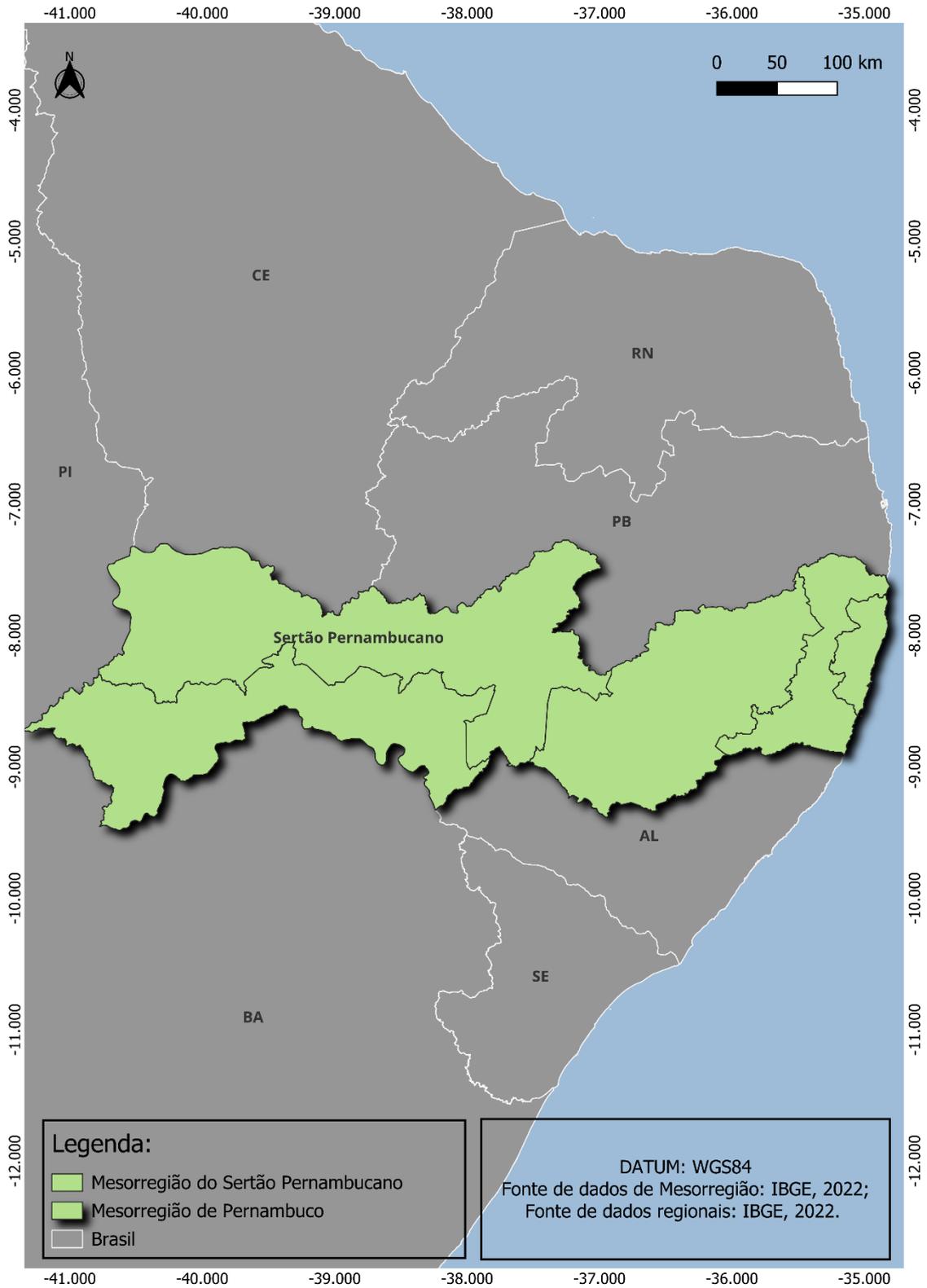
A Serra Vermelha está localizada entre os municípios de Afogados da Ingazeira, Carnaíba, Custódia e Flores, inseridas nas microrregiões do Sertão do Moxotó e Sertão do Pajeú (**Figura 2**) e na Mesorregião do Sertão Pernambucano (**Figura 3**).

Figura 2: Mapa das microrregiões do Sertão do Moxotó e do Sertão do Pajeú.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 3: Mapa da mesorregião do Sertão Pernambucano.



Fonte: Autoria própria, 2025.

A Serra Vermelha constitui um corpo associado à Bacia Sedimentar de Fátima, que constitui uma das mais emblemáticas estruturas geomorfológicas do Planalto da Borborema, correspondendo a uma bacia delimitada por falhas, que durante do Siluro-Devoniano preencheu a depressão tectônica com material sedimentar associado a um sistema de leques aluviais entrelaçados, do Arenito Tacaratu. Esse corpo foi posteriormente afetado pela dinâmica de falhas atreladas a Zona Transversal composta pelos pares cisalhantes do Lineamento Pernambuco e Patos e suas falhas de transferência. Essa reativação afeta estruturalmente a bacia criando setores de altos e baixos estruturais (Filho *et al.*, 2021). Ainda segundo o autor, a bacia estende-se por uma área de aproximadamente 300 km² e suas principais tendências de eixo na direção NE-SW, tendo uma altimetria que varia entre 488 m a 952 m (**Figura 4**).

A Província da Borborema é uma unidade geotectônica composta por diversas morfoestruturas relacionadas aos diversos controles tectônicos, litológicos e climáticos, constituindo uma variedade de modelos. Dentre essas morfoestruturas, o Planalto da Borborema, destaca-se como uma unidade de relevo de maior ordem de grandeza, composta por uma série de formas menores, como cristas escarpadas, maciços elevados, superfícies tabulares e depressões intraplanálticas, Bacias Sedimentares. Isso sugere que os mecanismos morfoesculturais ocorreram em diferentes escalas de tempo e espacialidade, vide os trabalhos de Corrêa *et al.* (2010), Xavier (2021), Bastos (2020), Maia *et al.* (2018), Bezerra *et al.* (2024) Corrêa *et al.* (2024) e Claudino-Sales *et al.* (2024).

Situada entre as Zonas de Cisalhamentos Pernambuco e Patos, no Domínio Central da PB, essa estrutura apresenta relação com a abertura do Oceano Atlântico e a dinâmica da tectônica cenozoica da PB, (vide os trabalhos: Correia Filho *et al.* 2021; Oliveira e Medeiros, 2018; Bezerra *et al.* 2014).

Segundo Correia Filho *et al.* (2021), é uma pequena depressão do interior do Nordeste do Brasil do cretáceo que apresenta evidências de uma elevação cenozóica, constituída essencialmente por depósitos de arenitos com idades que vão do paleozóico até o quaternário. O embasamento é composto por complexos gnáissicos-magmáticos, rocha metassedimentares do Complexo Sertânia e granitoides Neoproterozoicos-Cambrianos (Rangel e Mariano, 2000; Neves *et al.* 2017).

Sua formação está atrelada a um evento tectônico extensional que culminou em um mecanismo de rifteamento Cariri-Potiguar ao longo do cretáceo inferior, influenciado pela

abertura do sul do Oceano Atlântico, resultando na formação de diversas bacias no interior do Nordeste do Brasil (Vide Trabalhos: Matos, 1999; Matos *et al.* 2019).

Esta bacia possui uma geometria elíptica, alongada na direção NE-SW, com aproximadamente 30 km de extensão no seu eixo maior e apenas 15 km no eixo menor (Miranda *et al.*, 2017), constituindo uma estrutura de meio graben, em razão de uma variação hipsométrica acentuada, seus desniveis variam em cotas mínimas de 464 a 952 metros. Esses desniveis topográficos ocorrem em razão de um conjunto de falhas normais e pela Zona de Cisalhamento Afogados da Ingazeira que tem orientação NE-SW com cinemática sinistral, responsável por delimitar a borda NW da Bacia.

A amplitude altimétrica do relevo é observada por distintas zonas topográficas, os setores mais elevados competem a corpos graníticos do neoproterozoico, localizados a NW (Vide Trabalhos: Melo, 2004), na parte SE se encontram depósitos sedimentares soerguidos, já as áreas topograficamente mais rebaixadas é constituída por rochas do complexo Sertânia.

Esse contraste tem relação com os três grandes grupos de lineamentos topográficos no domínio da Bacia (Vide Trabalhos: Correia Filho *et al.* 2021, Miranda *et al.* 2017), os retilíneos relacionados às falhas normais com orientação NE-SW, localizadas na área SW da Bacia, os sinuosos estão alojados majoritariamente próximos a ZCAI, com tendência NE-SW e lineamentos com orientação NW-SE que podem ter ligação com o mecanismo de abertura da Bacia.

Esse controle morfoestrutural na área da Bacia é determinante para tipologias de relevo de menor escala, que pode ser responsabilizado pelo soerguimento de áreas anteriormente rebaixadas, garantindo uma inversão de relevo em escala de menor detalhe. A Serra Vermelha, principal unidade de relevo associada a Bacia de Fátima. É uma estrutura de relevo com menor dimensão e tipologia *cuestiforme*, seguindo a orientação do eixo principal da Bacia, NE-SW, com seu *front* alinhado para SW-S e seu reverso NE-N.

Constituída por pelo menos quatro unidades estratigráficas. Sua sequência sedimentar é composta na base pela Formação Tacaratu intercalados por siltitos e xistos, essa Formação compreende depósitos paleozóicos com arenitos de granulometria média a grossa com estruturas sedimentares formando estratificações cruzadas, associadas a um ambiente fluvial entrelaçado. Esses arenitos expõem numerosas bandas de deformação, diaclases e fraturas.

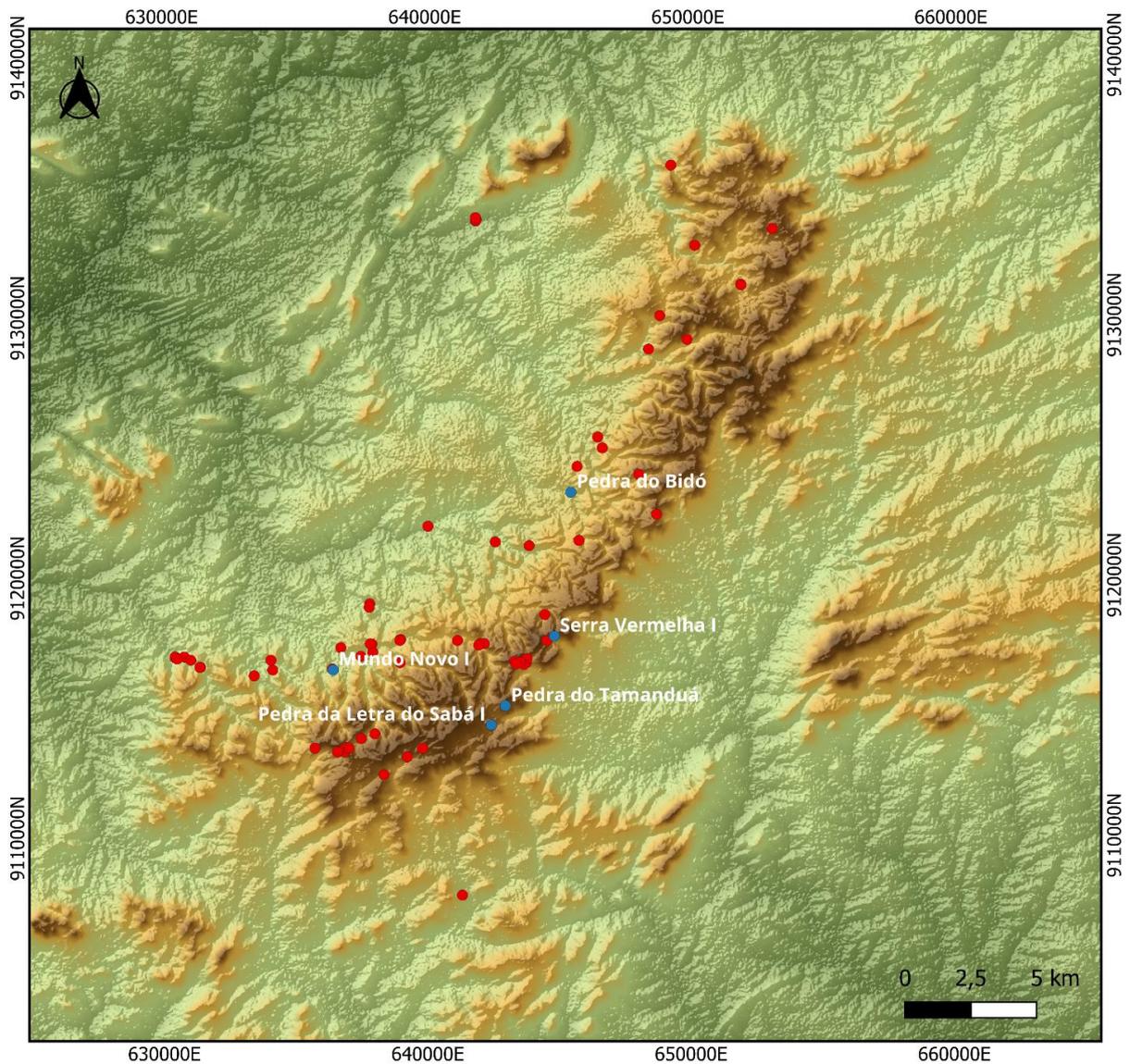
A unidade sobreposta compreende a Formação Fátima, representada por ortoconglomerados com clastos do embasamento com granulometria inferior a seixos, segundo Correia Filho *et al.* (2021) essa unidade está associada ao evento de rifteamento do cretáceo inferior (Neocomiano). A terceira unidade compreende uma cobertura associada ao quaternário, provenientes da erosão diferencial, com depósitos coluvionares produzidos pelo colapso gravitacional das encostas.

Essas três unidades compreende a área da Serra Vermelha nos domínios da Bacia de Fátima, contudo, ao sul esta unidade de relevo é composta pela Formação Serra Talhada, composta principalmente por arenitos, conglomerados e siltitos, depositados em ambientes fluviais com idade Triássica, caracterizada por deposição granodecrescente característicos de planícies de inundação.

Na área é possível identificar processos geomorfológicos decorrentes dos processos erosivos que incide na litologia sedimentar, produzindo efeitos diretos principalmente nas encostas, com queda de blocos, movimentos de massa, formando leques aluviais e a descamação da face das encostas, contudo, a contribuição da rede de drenagem é fundamental na dissecação de formas.

Nesse sentido, a morfologia do planalto apresenta encostas associadas ao *front* de alta declividade, e presença de depósitos coluvionais atrelados ao desmantelamento dos mantos de intemperismo, e também presença de uma drenagem obsequente que diseca de forma oblíqua a frente do planalto. Para o reverso do planalto sedimentar soerguido é possível observa cenários geomorfológicos distintos, ora com caimento suave e presença de leques aluviais oriundos da dissecação consequente dos sistemas de drenagens com caimento seguindo o direcionamento das camadas, ora um reverso com rupturas de gradiente abruptos indicando controles estruturais na geometria dessas formas. Nesse segundo caso há também a presença de vales de drenagem consequente entulhados por leques aluviais com granulometria essencialmente arenosa e cascalhosa. Em ambos os casos, os sítios arqueológicos que compõem a área da Serra Vermelha estão fortemente associados a estes contextos. A drenagem tende para um padrão dendrítico, semelhante aos ramos de uma árvore, onde canais de maior ordem e seus afluentes tendem a se unir em ângulos agudos. Esse sistema apresenta dois comportamentos: ora segue a direção das camadas alargando seus canais, ora tem comportamento reverso, aprofundando os canais com vales formados por encostas mais íngremes, resultante da maior energia de seu fluxo.

Figura 4: Mapa hipsométrico com os sítios arqueológicos da região da Serra Vermelha – PE.



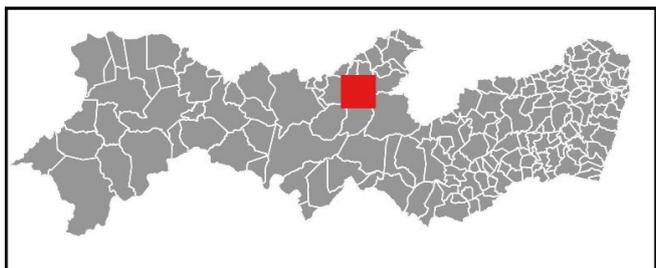
Legenda:

Sítios Arqueológicos da Região

- Sítios da Região
- Sítios Escolhidos

Hipsometria
metros (m)

- 455
- 579
- 704
- 828
- 952



Datum: Sirgas 2000 Fuso: UTM 24S;
 Fonte de dados hipsométricos: Copernicus, 2025;
 Fonte de dados regionais: IBGE, 2022;
 Fonte de dados arqueológicos: IPHAN, 2025.

As principais litologias presentes na região incluem a Formação Serra Talhada, composta por arenitos, siltitos e folhelhos depositados em ambiente continental, representando antigos sistemas fluviais e lacustres; Formação Tacaratu: composto principalmente por arenitos, conglomerados, folhelhos e siltitos depositados em ambientes fluviais e lacustres; Grupo Jatobá: É composto principalmente por rochas arenosas, argilosas e conglomeráticas, resultantes da sedimentação em ambientes fluviais, lacustres e costeiros durante períodos geológicos antigos. A rocha que condiciona a Serra Vermelha são os arenitos da formação Tacaratu. Conforme o observado nas visitas de campo e com Filho *et al.*, (2021), as texturas dos arenitos na região variam entre média a fina.

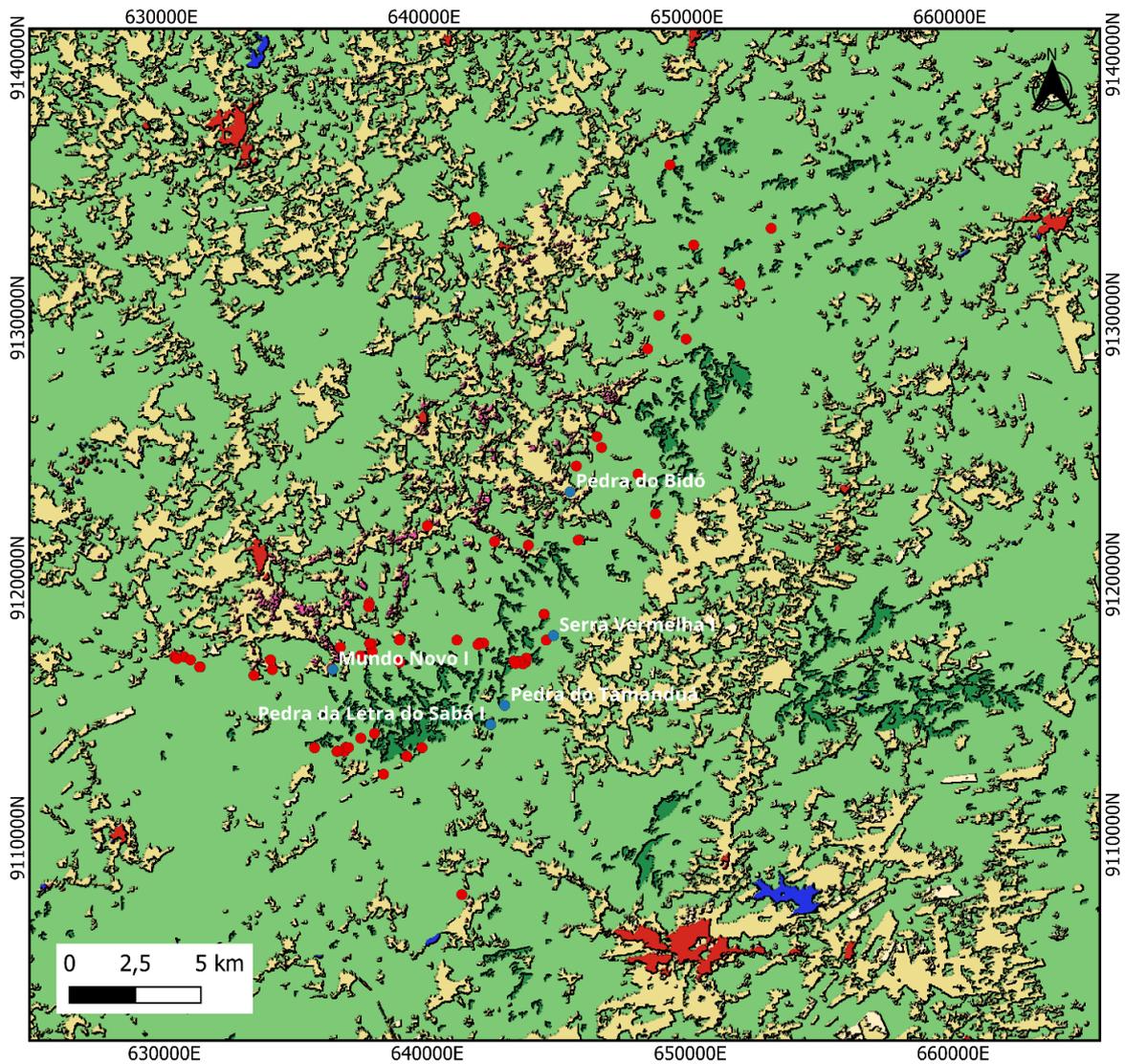
É importante ressaltar que, a Serra Vermelha atua como um importante divisor das bacias Hidrográficas do rio Pajeú e do rio Moxotó, e associada a um importante contexto arqueológico. Uma parte da Serra Vermelha se encontra inserida na região do Submédio Curso da Bacia do Rio São Francisco dentro da Unidade de Planejamento Estadual São Francisco (Ferreira, 2015). Alguns dos sítios arqueológicos localizados na região da Serra Vermelha, em sua grande maioria, encontram-se localizados próximos aos cursos d'água, sendo dois dentro do próprio leito do Rio Pajeú. (Fernandes *et al.* 2014).

A região possui uma cobertura vegetal de: **Formação florestal** (1,36%) - Florestas contínuas ou fragmentadas, nativas ou regeneradas. Essa cobertura indica presença significativa de vegetação densa, possivelmente áreas preservadas, matas ciliares, ou florestas secundárias em regeneração (MapBiomias, 2023); **Formação savânica** (77,81%) - Vegetação típica de cerrado ou ecótonos, com árvores esparsas e sub-bosque denso. Indica zonas de transição entre floresta e campo, ou formações adaptadas a solos pobres e regimes de fogo natural (MapBiomias, 2023); **Formação Campestre** (0,02%) - Vegetação com predominância de espécies herbáceas (Savana Estepe Herbácea-Lenhosa, Savana Parque, Savana Herbácea-Lenhosa + (Áreas inundadas com rede de lagoas interligadas, localizadas ao longo de cursos d'água e em terras baixas) (MapBiomias, 2023); **Pastagem** (18,73%) - Área de pastagem predominante plantada, vinculada à produção pecuária. Áreas de pastagem natural são predominantemente classificadas como pastagens ou áreas úmidas, podendo ou não ser utilizadas para pastoreio (MapBiomias, 2023); **Mosaico de usos** (1,08%) - Áreas agrícolas onde não era possível distinguir entre pastagem e agricultura (MapBiomias, 2023); **Área urbanizada** (0,44%) - Área urbanas com predominância de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, rodovias e construções (MapBiomias, 2023); **Outras áreas não vegetadas** (0,06%) - Áreas de superfície não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em

suas classes (MapBiomas, 2023); **Rio e lago** (0,26) - Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água (MapBiomas, 2023); **Outras lavouras temporárias** (0,24%) - Áreas ocupadas com cultura agrícolas com ciclo vegetativo longo (mais de um ano), que permitem colheitas sucessivas, sem a necessidade de novos plantios (MapBiomas, 2023).

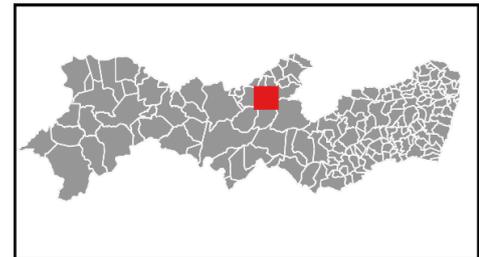
O território analisado apresenta características de uma paisagem rural, com uso do solo voltado principalmente para a pecuária (pastagens) e, em menor grau, agricultura e áreas naturais remanescentes. A vegetação natural com predomínio herbáceo e os recursos hídricos continuam presentes, embora fragmentados. A baixa urbanização indica um baixo grau de artificialização do espaço, mas a existência de mosaicos de uso e áreas não vegetadas sugere tensões e dinâmicas de uso recentes, que podem indicar expansão agropecuária ou ocupações humanas mais intensas em determinadas regiões.

Figura 5: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Serra Vermelha – PE.



Legenda:

Sítios Arqueológicos da Região	Formação Campestre
● Sítios da Região	Pastagem
● Sítios Escolhidos	Mosaico de Usos
Uso e Cobertura do Solo	Área Urbanizada
Classificação:	Áreas não Vegetadas
Formação Florestal	Rio e Lago
Formação Savânica	Lavouras Temporárias



Datum: Sirgas 2000 Fuso: UTM 24S;
 Fonte de uso e cobertura do solo:
 MapBiomass, 2023;
 Fonte de dados regionais: IBGE, 2022;
 Fonte de dados arqueológicos: IPHAN,
 2025.

Fonte: Autoria própria, 2025.

4 Contexto Arqueológico

Os municípios que correspondem a área de estudo apresentam muitos sítios que possuem registros de pinturas e gravuras rupestres, em que se destaca Afogados da Ingazeira por ser o primeiro município do estado pernambucano onde foram identificados sítios da tradição Nordeste no século XX (Galindo, 1994). Um exemplo dos achados arqueológicos que pertencem ao município de Carnaíba é o sítio Pedra do Giz, área onde se faz presente pinturas pertencentes há dois momentos distintos e que tem características das tradições Agreste e Nordeste, tendo figuras zoomorfas e antropomorfas (Galindo, 1994). Pesquisas arqueológicas por ocasião da obra da Ferrovia Transnordestina identificaram o sítio Fazendinha no município de Custódia, onde foram encontrados vestígios cerâmicos e líticos, tendo também presentes estruturas históricas dos séculos XIX e XX. Esse sítio compreende a uma área de mais de 72 mil m² e, como é observado, existiram dois momentos de ocupação, sendo o primeiro indígena identificado pela presença de material lítico e o segundo momento, a uma ocupação histórica (Hattori, 2015).

No município de Flores foram identificados e catalogados mais de 20 sítios arqueológicos com figuras rupestres entre pinturas e gravuras existindo a presença da tradição Itacoatiara (Fernandes *et al.* 2014). Relatos de moradores deram aos pesquisadores a ideia de que também havia no local objetos líticos como machados no sítio Serra da Letra I, porém durante os trabalhos realizados em diversos sítios do município não foram encontrados vestígios desse tipo, em outros foram identificadas ações antrópicas como a pichação, em outras ações da própria natureza causaram danos às pinturas como a água e o vento (Fernandes *et al.* 2014).

Dentro deste contexto estão um total de 75 sítios cadastrados pelo IPHAN com pinturas e gravuras rupestres distribuídos nos quatro municípios, sendo 32 com apenas pinturas, 23 de gravuras e 20 com a presença de gravuras e pinturas. Os sítios citados anteriormente são uma pequena porcentagem dos que compõem o grande acervo presente no estado de Pernambuco que oferecem uma abundância de material arqueológico, os quais disponibilizam àqueles que estão dispostos a trabalhos de pesquisa um leque de possibilidades.

Pesquisas realizadas no sítio Pedra do Tamanduá em Custódia comprovam por meio de escavação uma ocupação contínua de 9.100 anos BP. Também foram achados 77 utensílios que foram relacionados à prática pictórica (Souto Maior *et al.*, 2024). Com as escavações realizadas no sítio, foram encontrados uma numerosa quantidade de material lítico e em menor quantidade

material cerâmico, além de restos vegetais e de carvões em combustão, que permitiu realizar datações radiocarbônicas Souto Maior *et al.*, 2024). Além disso, também foram encontrados matérias que são relacionados a uma oficina de manufatura de tinta, assim podendo classificar o sítio como uma oficina de pintura, sendo o único desse tipo no Brasil (Souto Maior *et al.*, 2024).

Nesse sentido, os sítios localizados na região da Serra Vermelha estão dispostos principalmente em:

Abrigos sob rochas - Cavidade na rocha, com indícios de ocupação humana, onde a altura da entrada se mostra maior que a profundidade. Pode indicar, também, paredes inclinados para frente ou com a parte superior mais saliente, protegendo uma área meio grande (Mendonça, 1997); **Afloramentos rochosos** - Toda exposição de rochas na superfície da terra, que geralmente aparecem cobertas de materiais decompostos (Guerra & Teixeira, 2018); **Lajedos graníticos** - São afloramentos de rocha sã na superfície do solo, constituindo uma área de extensão variável (Guerra & Teixeira, 2018); **Matacões graníticos/sedimentares** - São bolas de rochas compactas, formadas pelo intemperismo de rochas sedimentares ou rochas ígneas, podem ser análogos a ambientes insulares (Guerra & Teixeira, 2018; Goedert *et al.* 2010); **Paredões rochosos** - São vertentes íngremes com inclinações próximas de 90°, onde algumas pinturas e gravuras se encontram. (França *et al.* 1997); **Grutas** - São cavidades de formas variadas que aparecem com mais frequência nas rochas calcárias ou em arenitos, onde são formados pela dissolução de carbonato de cálcio produzido pelo ácido carbônico, erosão mecânica e pela pressão hidrostática (Guerra & Teixeira, 2018).

Dentre esses sítios com pinturas, gravuras e pinturas e gravuras, existem figuras como zoomorfos, antropomorfos, fitomorfos e grafismos puros distribuídos na região e divididos em duas tradições, Agreste e Nordeste, sendo a Tradição Agreste predominantemente. Na Tradição Nordeste há representações de antropomorfos, zoomorfos, fitomorfos e objetos. Apresentam cenas em movimentos de ação como dança, sexo e caça. Identificados com pinturas monocromáticas e policromáticas, feitos com materiais diversos, como ocre, ossos calcinados e aglutinantes de gordura animal. Já na Tradição Agreste são identificadas nos pés de serras, várzeas e brejos, nas regiões agrestes de Pernambuco e Paraíba. Há representações de antropomorfos e zoomorfos (lagartos) e grafismos puros. Geralmente são grafismos isolados e em conjunto, sem forma de cenas, maiores do que os da Tradição Nordeste, tendo pouca presença de indivíduos e animais. Geralmente suas figuras são preenchidas com pinturas

monocromáticas e policromáticas, com a maioria em vermelho. Marcas de mãos em positivo e carimbo também são encontradas com relativa frequência.

Os sítios com gravuras rupestres registrados em Pernambuco estão localizados preferentemente nas margens e nos leitos dos rios e riachos (Pessis *et al.* 2017). Assim, dificultando qualquer tentativa de relacionamento entre os grafismos e as outras faces da cultura material dos sítios arqueológicos.

5 Metodologia

De acordo com Troncoso; Moya; Basile (2016), a arte rupestre está relacionada ao fluxo de informações e à construção de redes espaciais, onde são relacionadas ao território e ao espaço. Os autores afirmam que:

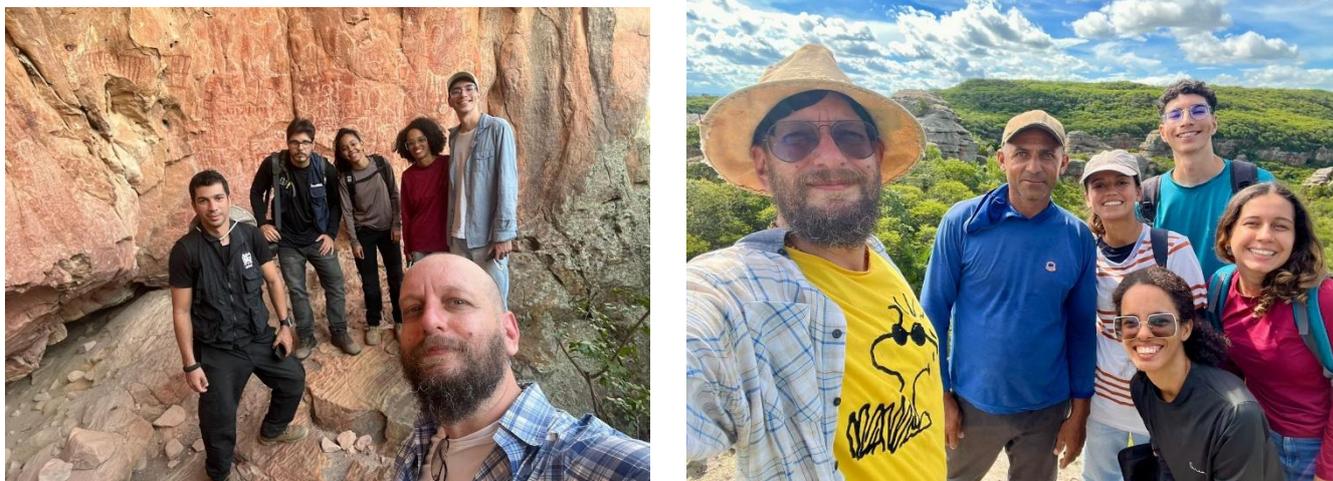
O ambiente seja um fator relevante, as dinâmicas históricas e as formas de organização social dos grupos de caçadores-coletores também são elementos significativos para a compreensão da estruturação das redes sociais. Essa consideração permite reconhecer a variabilidade e as trajetórias históricas particulares apresentadas em torno da construção de redes sociais entre esses grupos em ambientes semelhantes ou homogêneos (Troncoso; Moya; Basile, 2016, p. 155, tradução nossa).

Trabalhos recentes como o de O'Sullivan (2019) mostram a importância do estudo de possíveis rotas de deslocamento dos grupos responsáveis pela elaboração de pinturas rupestres por meio da identificação de redes de caminho de menor custo.

5.1 Campo

Foram feitas três campanhas de pesquisas na região, uma delas pelo projeto “Caracterização dos sítios pré-históricos com grafismos rupestres no Estado de Pernambuco”, coordenado pela pesquisadora Anne-Marie Pessis entre 2009 e 2011. As outras duas campanhas de pesquisa foram realizadas por projetos de PIBIC “Redes de caminho de menor custo, rotas de deslocamento e análise morfológica comparativa dos abrigos rochosos com pinturas/gravuras rupestres na Serra Vermelha (PE).”, desenvolvidos por Izabela Lima e João Araújo, sob orientação do Prof. Dr. Demétrio Mützenberg no ano de 2024.

Figura 6: Equipes de campo.



Fonte: Demétrio Mützenberg, 2024.

Nesse sentido, foram escolhidos 6 sítios arqueológicos da área para visitação. Após a seleção, foram realizadas duas coletas de dados, uma em setembro de 2023 (período de estiagem) e outra em abril de 2024 (período de chuva). É possível observar que apesar do desgaste ter ocorrido se deu de forma menos severa quando pensamos no desgaste que o clima no mês de setembro ocasionou por conta das temperaturas mais elevadas e a umidade relativa do ar chegando à marca de 12%.

Figura 7: Período de estiagem na Serra Vermelha.



Fonte: Izabela Lima, 2023.

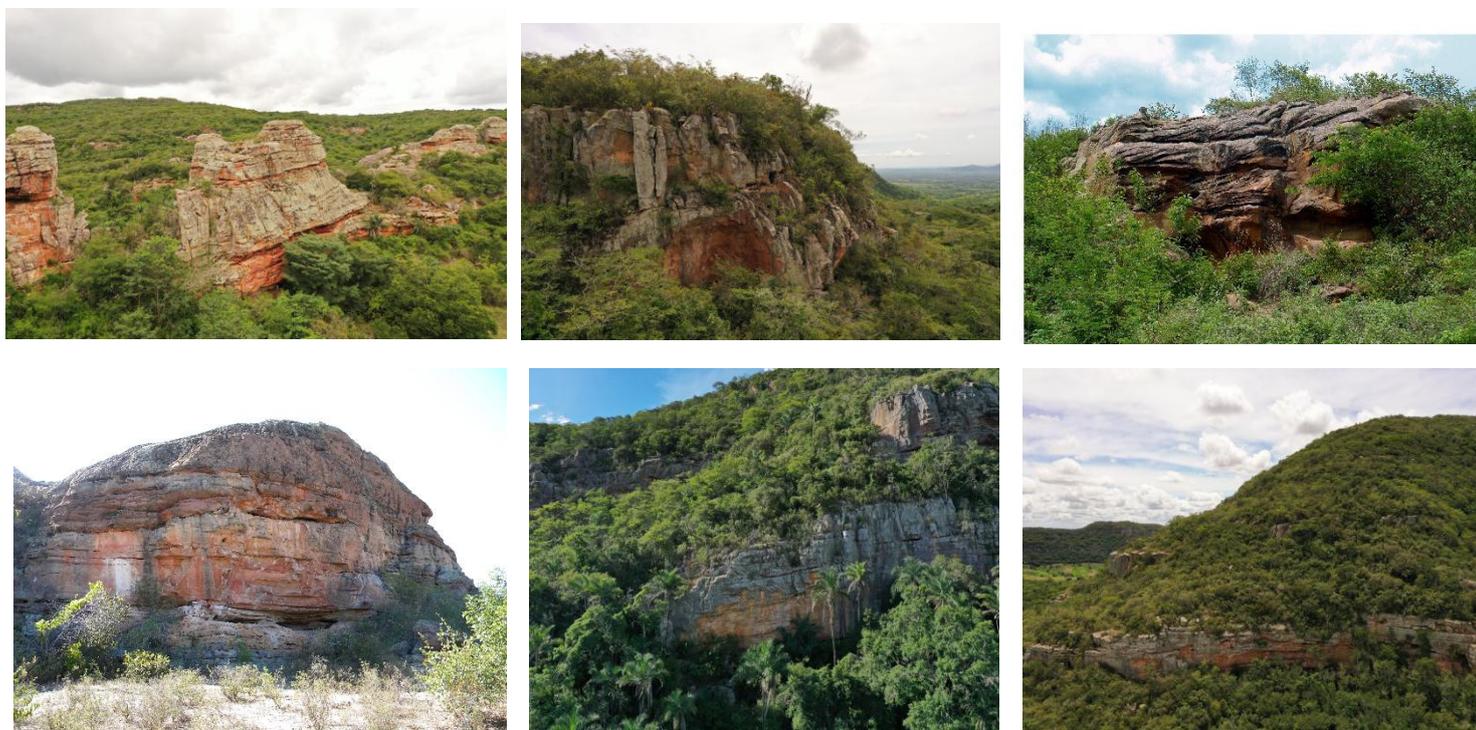
Figura 8: Período de chuvas na Serra Vermelha.



Fonte: Izabela Lima, 2023.

Nesse período, foram tiradas fotografias dos conjuntos pictóricos e fotos de contextos dos sítios Pedra do Tamanduá, Serra Vermelha I, Furna do Pau D'arco, Pedra da Letra do Sabá I, Pedra do Bidó e Novo Mundo I. Também foi realizado o mapeamento dos sítios arqueológicos, utilizando-se de um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado). Os VANTS com a sua alta tecnologia possibilitam as fotografias aéreas georreferenciadas de qualquer lugar desejado (Lima, 2018). Sendo assim, foi realizado o levantamento aerofotogramétrico dos sítios selecionados de forma automática, seguindo o planejamento do voo, a uma altura de 40m. A sobreposição lateral de 80% e longitudinal entre as imagens foi de 80%.

Figura 9: Fotos de contexto dos sítios visitados.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Uma das dificuldades da pesquisa foi em relação à localização dos sítios, onde os pontos na base de dados do IPHAN estavam em um DATUM South América Datum 1969 (SAD69). No qual tínhamos que fazer a conversão das coordenadas para o SIRGAS 2000. Algumas coordenadas estavam digitadas nas fichas de cadastro de forma errada, fazendo com que dificultasse a chegada nos sítios. Outra dificuldade foi o processamento dos dados em laboratório, onde levava muito tempo para processar o mapeamento aerofotogramétrico.

Para classificação das morfologias foi utilizado como referência o trabalho de Pellerin (1984). Trata-se do capítulo “*Les bases physiques*” que completa o artigo de Niède Guidon, intitulado “*L’aire archéologique du sud-est du Piauí*”, publicado em Paris pela editora *Recherches sur les Civilisations*. Pellerin discute características ambientais do Parque Nacional da Serra da Capivara, localizado no Sudeste do Piauí. O autor trata de aspectos geológicos, geomorfológicos e climáticos que influenciam a ocupação humana desde tempos pré-coloniais, assim, contextualizando a paisagem em que os sítios arqueológicos se inserem. Nesse sentido, a classificação que o autor usa para caracterizar as morfologias dos abrigos é essencial para entender a formação dos abrigos sob rocha, a preservação dos vestígios arqueológicos e as condições ecológicas que moldaram as estratégias de sobrevivência dos grupos indígenas que ocuparam a região.

5.2 Caminhos de Menor Custo

O conceito de caminhos de menor custo (*Least Cost Path* – CMC) tem sido amplamente aplicado na arqueologia como uma abordagem metodológica para reconstruir e modelar rotas, acessos, interações e fluxos de mobilidade no passado. A análise parte do pressuposto de que os deslocamentos humanos, ainda que culturalmente condicionados, tendem a obedecer a critérios de otimização espacial, minimizando esforços físicos, riscos ou tempo de percurso (Herzog, 2013; Verhagen *et al.*, 2019).

Tradicionalmente, os estudos arqueológicos se baseavam em rotas propostas de forma empírica ou derivadas de registros históricos. No entanto, com o advento de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), tornou-se possível utilizar modelos digitais do terreno (MDT) e algoritmos computacionais para gerar superfícies de custo acumulado, simulando o movimento sobre paisagens conforme diferentes critérios, como declividade, vegetação, hidrografia, obstáculos naturais ou construções antrópicas (Wheatley; Gillings, 2002).

A lógica da análise parte da criação de uma função de custo, que atribui um valor de “resistência” ao movimento para cada célula da paisagem, conforme atributos físicos ou simbólicos. A função mais conhecida e amplamente utilizada é a função de Tobler (1993), que simula o esforço humano de locomoção sobre diferentes inclinações do terreno. Alternativamente, também se empregam funções mais complexas como a de Pandolf-Givoni-Goldman, que consideram peso transportado, tipo de solo e energia gasta (Herzog, 2021).

As trajetórias resultantes não correspondem necessariamente à distância linear mais curta, mas sim à rota energeticamente ou logisticamente mais eficiente, levando em conta os custos reais ou simulados de deslocamento. Dessa forma, os CMC permitem investigar como sítios arqueológicos podem ter se conectado no passado, inferir corredores de circulação, centros de redistribuição, ou mesmo fronteiras culturais (Lock; Harris, 2006; Howey, 2007).

Além disso, estudos recentes têm ampliado a complexidade da análise ao incorporar o conceito de anisotropia, que reconhece que o custo para subir e descer um mesmo trecho de terreno não é simétrico. Isso torna a modelagem mais realista, sobretudo quando associada à reconstrução de caminhos históricos, rotas de comércio, ou mesmo peregrinações e deslocamentos cerimoniais (Herzog, 2013; Carroll, 2022).

Contudo, autores como Irmela Herzog (2014) alertam que o uso acrítico de CMC pode resultar em interpretações excessivamente deterministas, caso não se considere a complexidade cultural dos deslocamentos humanos. Fatores simbólicos, sociais ou políticos também moldam as escolhas de percurso, e não apenas os aspectos físicos da paisagem. Assim, recomenda-se que a análise de menor custo seja complementada por dados arqueológicos, etnográficos e históricos, bem como validada empiricamente sempre que possível.

Portanto, a análise de caminhos de menor custo representa uma poderosa ferramenta na arqueologia espacial contemporânea, contribuindo para a compreensão das relações espaciais entre sítios, da organização territorial, e dos modos de circulação no passado, desde que empregada com rigor metodológico e consciência crítica de suas limitações e pressupostos.

Para a criação das redes de menor custo, foi utilizada a abordagem FETE (From Everywhere to Everywhere), que segundo White e Barber (2012), é uma grade de pontos de destino/origem sobreposta a uma superfície de custo, em formato raster, e onde cada um dos pontos se interligam. White & Barber (2012), afirmam que:

Essa abordagem inclui uma grade de pontos na área desejada, onde é calculada a probabilidade de viagens, assim, gerando os caminhos com orientações norte-sul e leste-oeste. Para facilitar, os valores limites são então codificados por cores usando uma rampa linear verde-amarelada entre os valores mínimo e máximo, com áreas de tráfego extremamente intenso recebendo uma cor vermelha, áreas de tráfego muito intenso recebendo uma cor amarela e áreas de tráfego intenso recebendo uma cor verde (White & Barber, 2012, p. 5, tradução nossa).

É importante destacar que, de acordo com Branco & Barbeiro (2012), a grade FETE pode operar de cinco maneiras diferentes, onde pode projetar vários cenários diferentes. O modo mais básico conecta todos os pontos em uma grade regularmente espaçada entre si. O segundo modo conecta todos os pontos em um conjunto fornecido pelo usuário entre si. O terceiro modo conecta um conjunto de pontos de origem fornecido pelo usuário a um conjunto de pontos de destino fornecidos pelo usuário (e vice-versa). O quarto modo conecta pontos de origem e destino fornecidos pelo usuário a uma grade de pontos de referência regularmente espaçados que abrange a distância entre eles. O quinto modo substitui um conjunto de waypoints fornecidos pelo usuário para os espaçados regularmente.

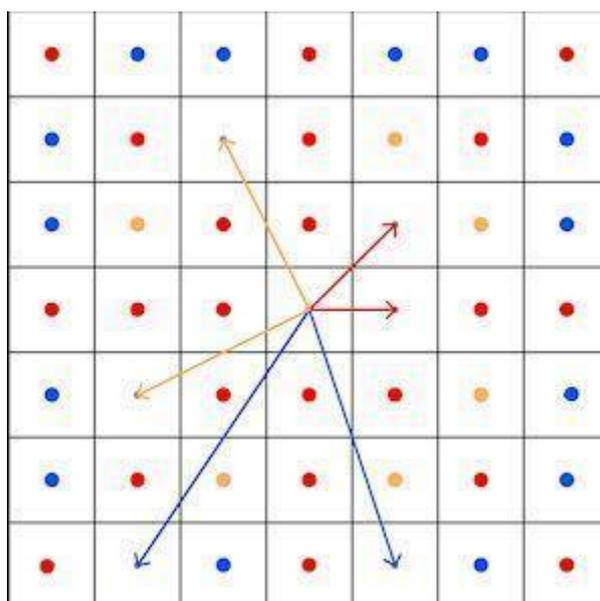
Para essa pesquisa, foram criadas grades de pontos com distância de 10km, 5km e 2km na região. Os caminhos foram gerados em resolução de 100 e 50 pixels, para isso, foi usado a

densidade Kernel, que consiste em quantificar as relações dos pontos dentro de um raio (Souza *et al.*, 2024). Segundo Kawamoto (2012):

A densidade de Kernel suaviza a superfície, calculando a densidade para cada região da área de estudo, utilizando interpolação. Isto permite a construção de uma superfície contínua de ocorrências das variáveis, inferindo para toda a área de estudo a variação espacial da variável, mesmo nas regiões onde o processo não tenha gerado nenhuma ocorrência real, permitindo verificar, em escala global, possíveis tendências de dados (Kawamoto, 2012).

O cálculo dos caminhos de menor custo em uma superfície raster usa o algoritmo de Dijkstra, mas este algoritmo foi projetado para grafos ponderados com pesos positivos. Logo, o primeiro passo no algoritmo é converter os dados raster em um grafo ponderado. Um grafo ponderado é uma rede de localizações com conexões (Herzog, 2014). Nesse sentido, cada uma dessas ligações é dada por movimentos parecidos com o do xadrez, onde temos o movimento da torre (4 direções), da rainha (8 direções), do cavalo (16 direções) e alguns outros (**Figura 8**) (Souza, 2023). Para essa pesquisa, foi utilizado o movimento do cavalo, que tem 16 direções diferentes. Essa opção foi definida no script no *Python*.

Figura 10: Movimentos na construção de uma rede de caminhos de menor custo.



Fonte: Herzog, 2014.

Com a abordagem definida, foi possível escolher as variações de custo utilizadas. Inicialmente foi usado o software *QGIS* e posteriormente desenvolvido um script no *Python* para automatizar o processo. Segundo o próprio site, o *Python* é uma linguagem de programação orientada por objetos, além de incorporar módulos, exceções, tipagem dinâmica, tipos de dados dinâmicos de altíssimo nível e classes, este pode rodar em vários sistemas operacionais, incluindo Linux, MacOS e Windows.

O *Python* é hoje uma das linguagens de programação mais usadas no mundo, sobretudo no cenário da IA (Souza, 2023). Este funciona com uma interface de bibliotecas, bem como para vários sistemas de janela, e é extensível em C ou C++. Os códigos são gerados por uma série de elementos, onde são salvos em arquivo tipo *.py*, destinados para realizar determinadas ações (Souza, 2023).

Nesse sentido, foram utilizadas três funções de custos diferentes: Herzog, Langmuir e Tobler. O que nos fornece caminhos que poderiam ser utilizados pelos grupos que se deslocavam pela Serra Vermelha e utilizavam os abrigos, deixando vestígios de sua passagem através dos grafismos rupestres.

A função de Herzog leva em consideração o gasto calórico, ela tem como base a fisiologia humana, que foi adaptada para a Arqueologia, onde é expressa em energia, pela fórmula $Custo(s) = 1337.8 s^6 + 278.19 s^5 - 517.39 s^4 - 78.199 s^3 + 93.416 s^2 + 19.825 s + 1.64$. Onde, s = declividade e a, b, c , b, c, a, b, c = coeficientes empíricos com base em dados fisiológicos. Ela vai buscar saber o gasto energético que uma pessoa gasta no deslocamento de um ponto A para um ponto B (Herzog, 2014). A função de Herzog também é mais usada em contexto arqueológico para entender o custo de mobilidade em diferentes tipos de terreno (Herzog, 2014). Essa função vai calcular a energia gasta (em J ou kcal) para andar em um terreno com inclinação. Para interpretar essa função, é necessário entender que, a função vai mostrar onde andar gasta mais energia, a função também é mais precisa biologicamente e pode incluir outros fatores: tipo de solo e a carga transportada (Herzog, 2014).

Tobler foca no tempo e na velocidade da pessoa que está fazendo determinado percurso, ela não considera a declividade crítica como a de Langmuir. A função de Tobler nos dá por meio de cálculos que usam a função $V(s) = 6 e^{-3,5|s+0,05|}$. Onde, v = velocidade de caminhada (km/h), s = declividade (slope) expressa como tangente (ex: 0.1 = 10%) e o modelo assume que a velocidade ideal é em declives suaves (descendo um pouco). O custo (que aqui se entende como tempo) para desenvolver o deslocamento de determinada área e quais seriam os caminhos

que poderiam ser utilizados (Herzog, 2014). Essa função é a mais usada em arqueologia e SIG por sua forma prática e realismo, além de estimar rota mais rápida entre dois pontos. A função também vai simular deslocamentos a pé em terrenos variados. Para interpretar essa função, é necessário entender que, a velocidade máxima atingida por uma pessoa em caminhada em um terreno com declive é de 5% e a velocidade vai diminuir em subidas ou descidas íngremes (Tobler, W. 1993).

Langmuir (mochileiro) foi desenvolvida para um contexto de tracker, no qual o seu objetivo é entender como a declividade vai influenciar o deslocamento de uma pessoa para determinado ponto. A função é expressada $a*\Delta_D + b*\Delta_H_{up} + c*\Delta_H_{gd} + d*\Delta_H_{sd}$ (Herzog, 2013). É importante ressaltar que, para cada 300 m de subida, adicionar 10 min; para cada 300 m de descida íngreme, adicionar 10 min; descidas suaves tendem a acelerar a caminhada (Langmuir, 1995). É importante considerar que em subidas e descidas muito íngremes, o custo aumenta drasticamente. Para interpretar essa função, é necessário entender que, a subida adiciona tempo fixo por metro vertical, a descida suave facilita a caminhada e a descida íngreme aumenta o esforço, devido ao controle do corpo (Langmuir, 1984).

A tabela 2 vai mostrar de forma mais sintetizada as características e comparações de cada função de custo. É possível entender que cada função tem um objetivo diferente e formas diferentes para interpretar. A função de Tobler é geralmente usada para modelos de mobilidades em grandes áreas; a de Langmuir para caminhadas mais detalhadas, onde o tempo da caminhada pode ser mais realista; já a de Herzog para estudos bioenergéticos, com mais esforço físico.

Tabela 2: Comparações entre as funções de custo.

Função	Características	Base	Uso
Herzog	Custo energético	Polinomial	Arqueologia, esforço humano
Tobler	Velocidade (km/h)	Exponencial	SIG, arqueologia, geografia
Langmuir	Tempo estimado (min)	Empírica	Trilha, caminhada, recreação

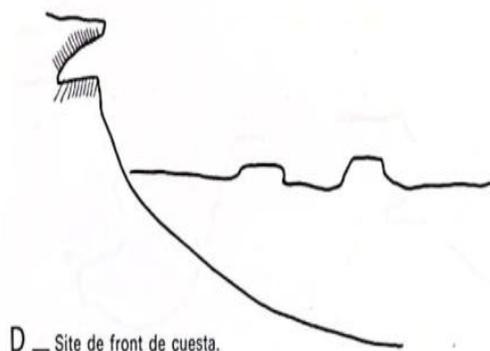
Fonte: Autoria própria, 2025.

6 Resultados

Durante o desenvolvimento da pesquisa, foi realizada a pesquisa bibliográfica, onde foi possível entender mais do contexto arqueológico e ambiental da região da Serra Vermelha. Ao longo das duas visitas de campo, foi possível observar algumas características presentes nos sítios arqueológicos visitados.

O sítio arqueológico Serra Vermelha I está inserido em um abrigo arenítico classificado de “*Site de front de cuesta*”, ou seja, um sítio frente de *cuesta* (**Figura 11**).

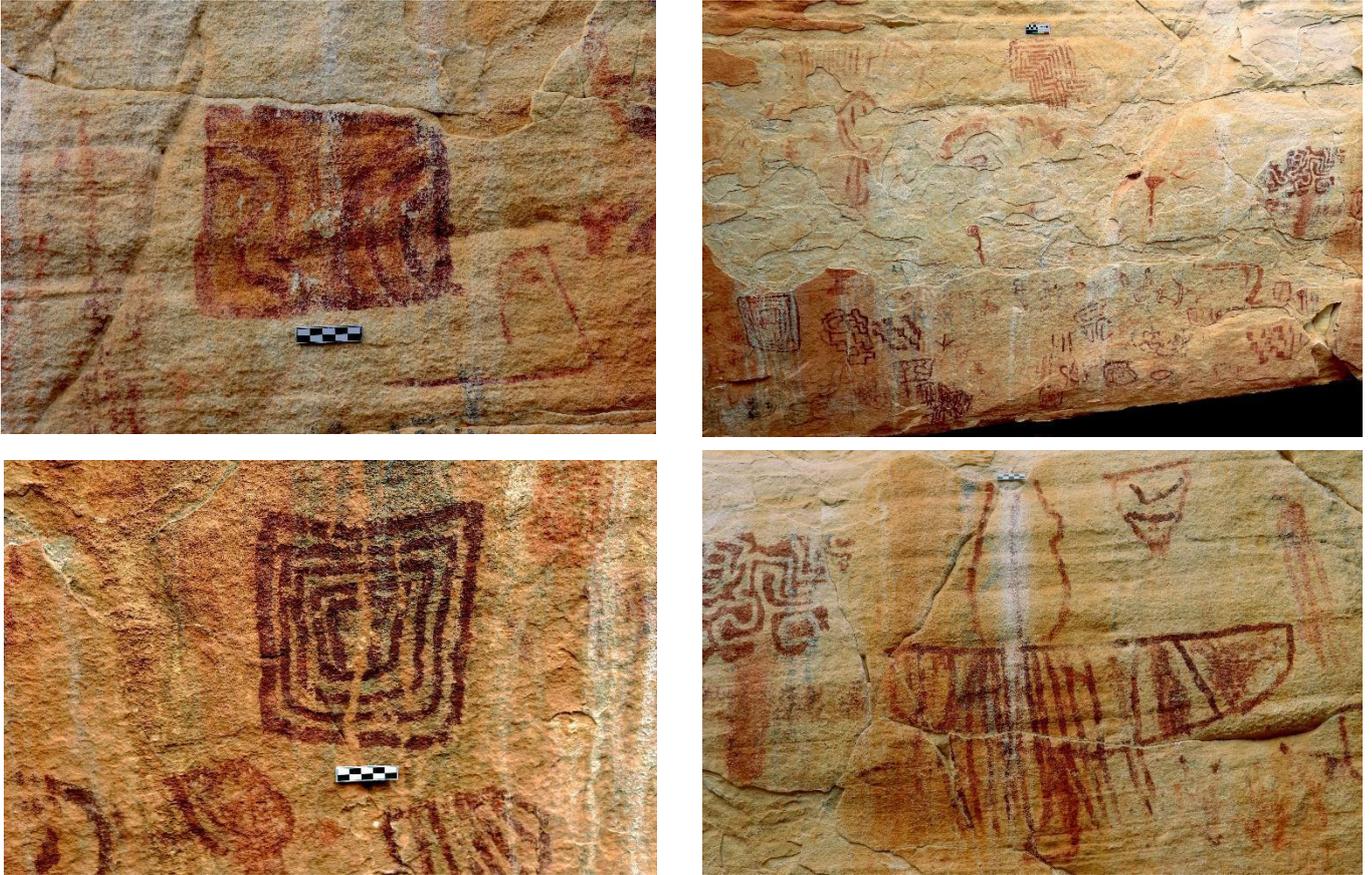
Figura 11: Morfologia Site de front de cuesta.



Fonte: Pellerin, 1984.

O sítio está inserido na porção transversal dos ventos. Sendo assim, possuindo uma vegetação de grande porte arbóreo. O sítio apresenta duas manchas gráficas contendo apenas pinturas. O sítio apresenta pinturas bicromáticas, elaboradas na cor vermelha (em diversos matizes) e amarela. Em uma grande área pictórica contém sobreposição de grafismos (**Figura 12**). Na parte de conservação, o sítio fica exposto a algumas ações, como: exposição à chuva, vento e ao sol; sofre de intemperismo biológico, onde é afetado por fungos; O sítio também sofre com o intemperismo físico-químico, onde é afetado por escamação, fratura, eflorescência, mancha de água e deslocamento e por fim, o sítio sofre da ação antrópica com a presença de várias pichações.

Figura 12: Pinturas do sítio arqueológico Serra Vermelha I.



Fonte: Marcela Vitoria, 2024.

O sítio arqueológico Pedra do Tamanduá está inserido em um paredão arenítico classificado de “*Paroi de grande taille sans surplomb*”, ou seja, um paredão sem saliência, cujo o abrigo não se estende para uma parte superior (**Figura 13**).

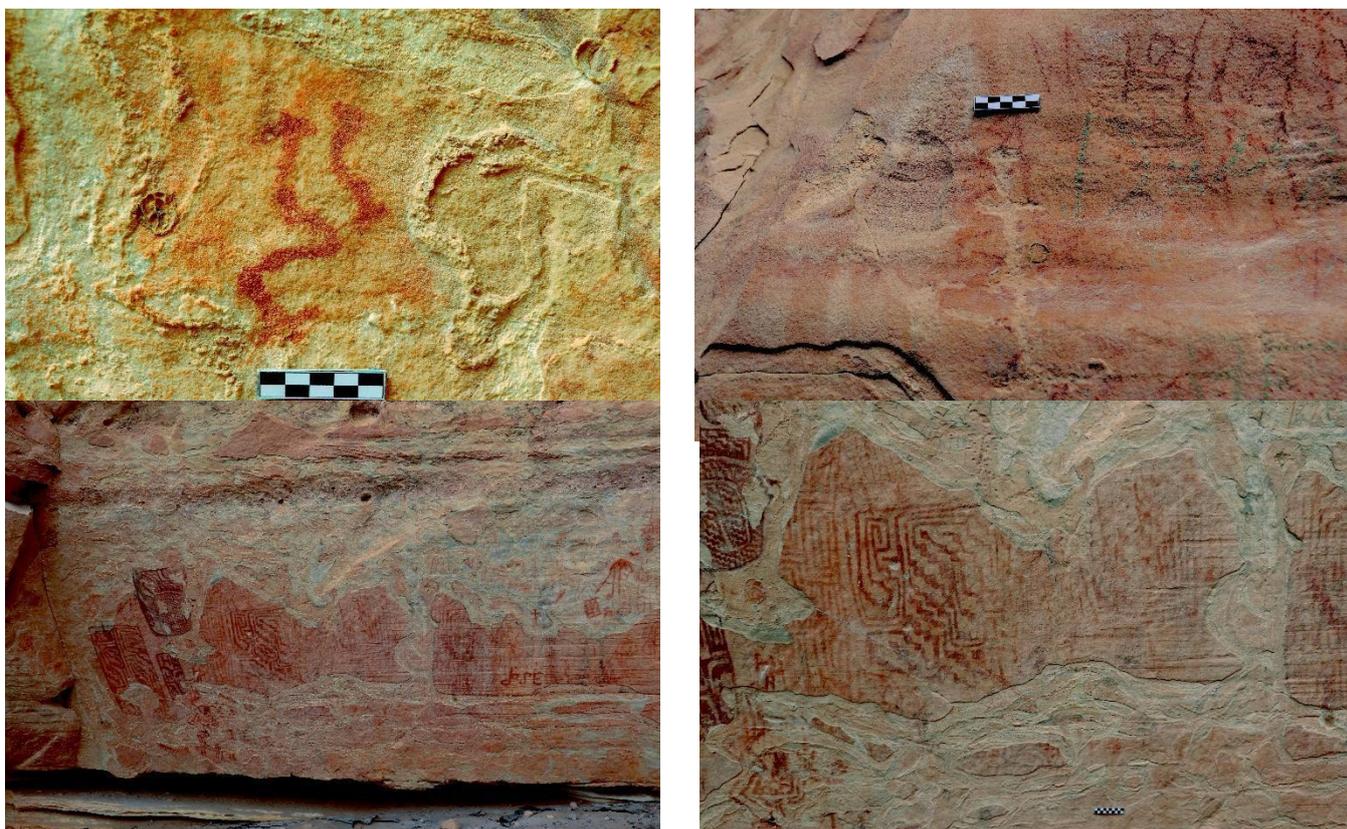
Figura 13: Morfologia *Paroi de grande taille sans surplomb*.



Fonte: Pellerin, 1984.

Os arenitos possuem uma característica semelhante aos arenitos da formação Tacaratu, que tem uma complexidade na sua estatura litológica, onde possui níveis mais friáveis e níveis mais endurecidos, principalmente os níveis férricos, é importante mencionar também o papel das fraturas presentes no arenito como um facilitador na questão de quão friável ele pode se tornar. Esse cenário é muito comum no contexto do Vale do Catimbau, sendo mais preciso nos sítios Alcobaça e Toca do Veado. O sítio contém pinturas e gravuras rupestres posicionadas no setor leste do sítio, onde possui um conjunto pictorial de três manchas gráficas, compostas por grafismos puros. As pinturas foram elaboradas na cor vermelha, em diversas matrizes. As gravuras rupestres contém sulcos rasos e foram executadas com a técnica de picoteamento (**Figura 14**). Na parte de conservação, o sítio fica exposto a algumas ações, como: exposição à chuva, vento e ao sol; sofre de intemperismo biológico, onde é afetado por vegetais e animais. O sítio também sofre com o intemperismo físico-químico, onde ocorrem infiltrações que preferencialmente em litologias mais friáveis, no qual são intemperizadas de dentro para fora, aonde vai se criando uma carapaça na rocha e uma crosta que vai gerar escamação, fraturas e deslocamentos.

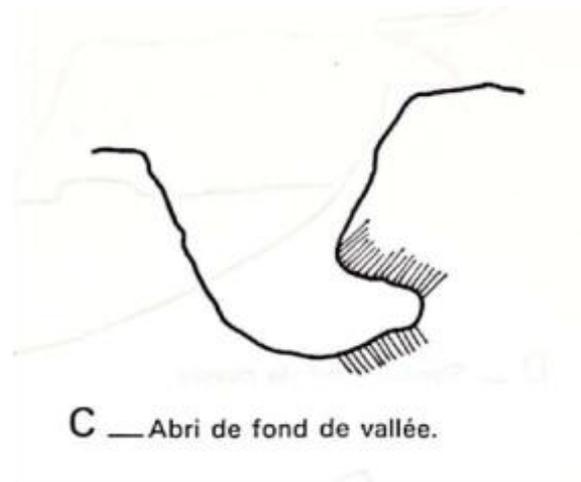
Figura 14: Pinturas e gravuras do sítio arqueológico Pedra do Tamanduá.



Fonte: Isabela Maia, 2024.

O sítio arqueológico Furna do Pau D'arco está inserido em um abrigo arenítico que foi classificado como “*Abri de fond de vallée*”, ou seja, um abrigo de fundo de vale, localizado na média vertente da Serra (**Figura 15**).

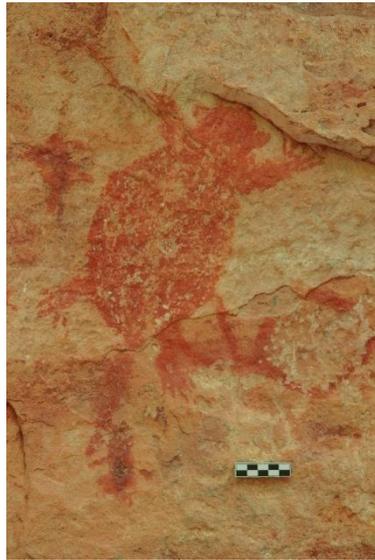
Figura 15: Morfologia Abri de fond de vallée.



Fonte: Pellerin, 1984.

O sítio contém pinturas e gravuras rupestres, onde possui um conjunto pictorial de três manchas gráficas, na qual são compostas por zoomorfos, fitomorfos e grafismos puros (**Figura 16**). Na parte da conservação, o sítio sofre de algumas ações, como: deslocamentos, fraturas, intemperismo químico, físico e biológico, escamações.

Figura 16: Pinturas e gravura do sítio arqueológico Furna do Pau D'arco.



Fonte: Isabela Maia, 2024.

O sítio arqueológico Pedra da Letra do Saba I foi classificado como “*Paroi de grande taille avec surplomb*”, ou seja, uma grande parede com saliência, cuja parte superior se estende além da inferior (**Figura 17**).

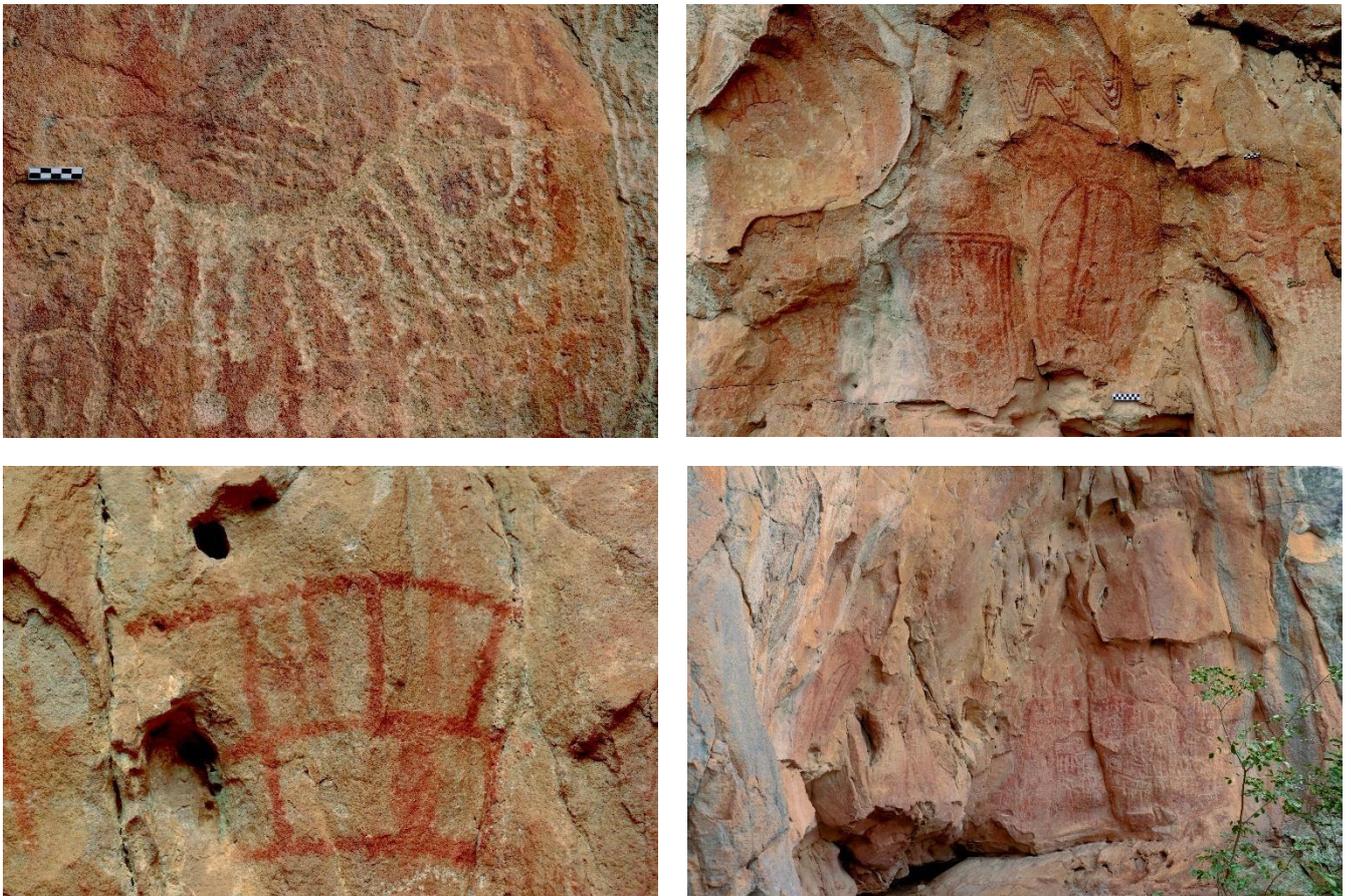
Figura 17: Morfologia Paroi de grande taille avec surplomb.



Fonte: Pellerin, 1984.

Se trata de um abrigo sob rocha que possui um arenito mais firme onde são encontradas gravuras e pinturas rupestres com sobreposição, tendo a presença de três manchas gráficas sendo identificados como grafismo puro (**Figura 18**). Foram identificados danos nos grafismos causados por intemperismo biológico e físico-químico, além de ação antrópica (pichação).

Figura 18: Pintura e gravuras do sítio arqueológico Pedra da Letra do Sabá I.



Fonte: Isabela Maia, 2024.

O sítio arqueológico Pedra do Bidó também foi classificado como “*Paroi de grande taille sans surplomb*”, ou seja, um paredão sem saliência, cujo abrigo não se estende para uma parte superior (**Figura 19**).

Figura 19: Morfologia Paroi de grande taille sans surplomb.



Fonte: Pellerin, 1984.

Se trata de um abrigo sob rocha arenítica em situação topográfica de baixa vertente, possuindo a presença de pinturas e gravuras rupestres posicionadas nos setores sul e sudoeste do sítio. O conjunto rupestre é formado por três (3) manchas gráficas, compostas unicamente por grafismos puros. As pinturas foram elaboradas na cor vermelha; as gravuras, dominantes no conjunto, foram elaboradas com a técnica de picoteamento, onde as gravuras possuem, de forma dominante, sulcos aprofundados (**Figuras 20**). O sítio se encontra protegido por uma alta vegetação, ao que parece ser devido às chuvas do período. Na parte da conservação, o sítio sofre com: deslocamentos, fraturas, intemperismo químico, físico e biológico, escamações.

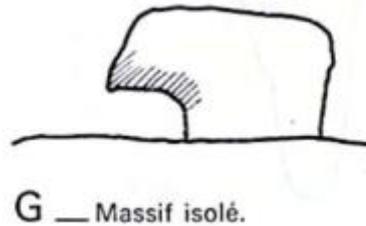
Figura 20: Gravuras do sítio arqueológico Pedra do Bidó



Fonte: Isabela Maia, 2024.

O sítio arqueológico Novo Mundo I foi classificado como “*Massif isole*” que se trata de um morro testemunho arenítico em situação topográfica de baixa vertente (**Figura 21**).

Figura 21: Morfologia Massif isolé



Fonte: Pellerin, 1984.

O sítio tem uma pequena área de abrigo, onde se encontram sete manchas gráficas com a presença de grafismo puro - para a sua produção se utilizou a técnica de picoteamento - O conjunto gráfico é formado por sete (7) manchas gráficas, compostas unicamente por grafismos puros. As gravuras foram realizadas com a técnica de picoteamento (**Figuras 22**). As gravuras se encontram bastante comprometidas por intemperismo biológico e físico-químico, exemplo disso é a presença de fungos, animais (insetos), eflorescência, mancha d'água entre outros.

Figura 22: Gravuras do sítio arqueológico Mundo Novo I.



Fonte: Isabela Maia, 2024.

Na segunda visita de campo, ocorrida no mês de abril de 2024, foi realizado registro aerofotogramétrico dos sítios arqueológicos com o uso do VANT para o registro dos sítios arqueológicos.

Já em laboratório, com todos os dados coletados, foi feita a extração do MDE através do Copernicus para a criação da declividade. Com a declividade feita, foram desenvolvidas três variações de menor custo, sendo utilizadas as funções de Herzog, Tobler e Langmuir, todas elas com a abordagem FETE.

É importante ressaltar que os resultados obtidos nesta pesquisa criam um modelo de deslocamento indígena na Serra Vermelha, o qual deve depois ser testado com dados empíricos. O modelo propõe que os deslocamentos possivelmente não eram apenas seguindo a variável do relevo, mas como resultado de decisões intencionais e estratégias de ocupação que articulam morfologia dos abrigos, visibilidade, acessibilidade e expressão simbólica.

Nesse sentido, fatores como a morfologia dos abrigos, conforme classificação de Pellerin (1984), as condições de visibilidade e vigilância da paisagem (Bailey, 2007), a acessibilidade física e a inserção desses espaços em redes territoriais mais amplas (Almeida, 2013) constituem elementos essenciais para compreender as dinâmicas de mobilidade. Tais aspectos indicam que os deslocamentos estavam associados não apenas à eficiência do trajeto, mas também a critérios de proteção, domínio visual, disponibilidade de recursos e manutenção de referências simbólicas e identitárias expressas nos grafismos rupestres (Martins, 2018; Silva, 2020).

Assim, a mobilidade na Serra Vermelha deve ser interpretada como um fenômeno cultural complexo, no qual o deslocamento físico se entrelaça à construção e à manutenção de territórios simbólicos. Ao articular variáveis ambientais e sociais, esse modelo contribui para compreender a paisagem arqueológica como resultado de interações entre fatores naturais e escolhas humanas (Ingold, 1993; Butzer, 1982), reforçando que a ocupação indígena não se restringia a respostas mecânicas ao meio, mas constituía um processo dinâmico de apropriação e ressignificação espacial.

Como já foi dito na metodologia, a função de Herzog leva em consideração o gasto calórico, ela tem como base uma função de Fisiologia, onde foi adaptada para a Arqueologia, onde é expressa em energia (Joules). Ela vai buscar saber o gasto energético que uma pessoa gasta no deslocamento de um ponto A para um ponto B (Hyder, 2004). Nesse sentido, é possível

observar no caminho gerado na grade de 10km no contexto da Serra Vermelha na área mais escuras do mapa hipsométrico, são áreas mais elevadas, ou seja, existia uma preferência de deslocamento na parte mais elevada da Serra Vermelha, onde se tinha um menor gasto calórico fazendo esse percurso. Os caminhos onde tem um menor gasto calórico, passam por todos os sítios arqueológicos trabalhados na pesquisa.

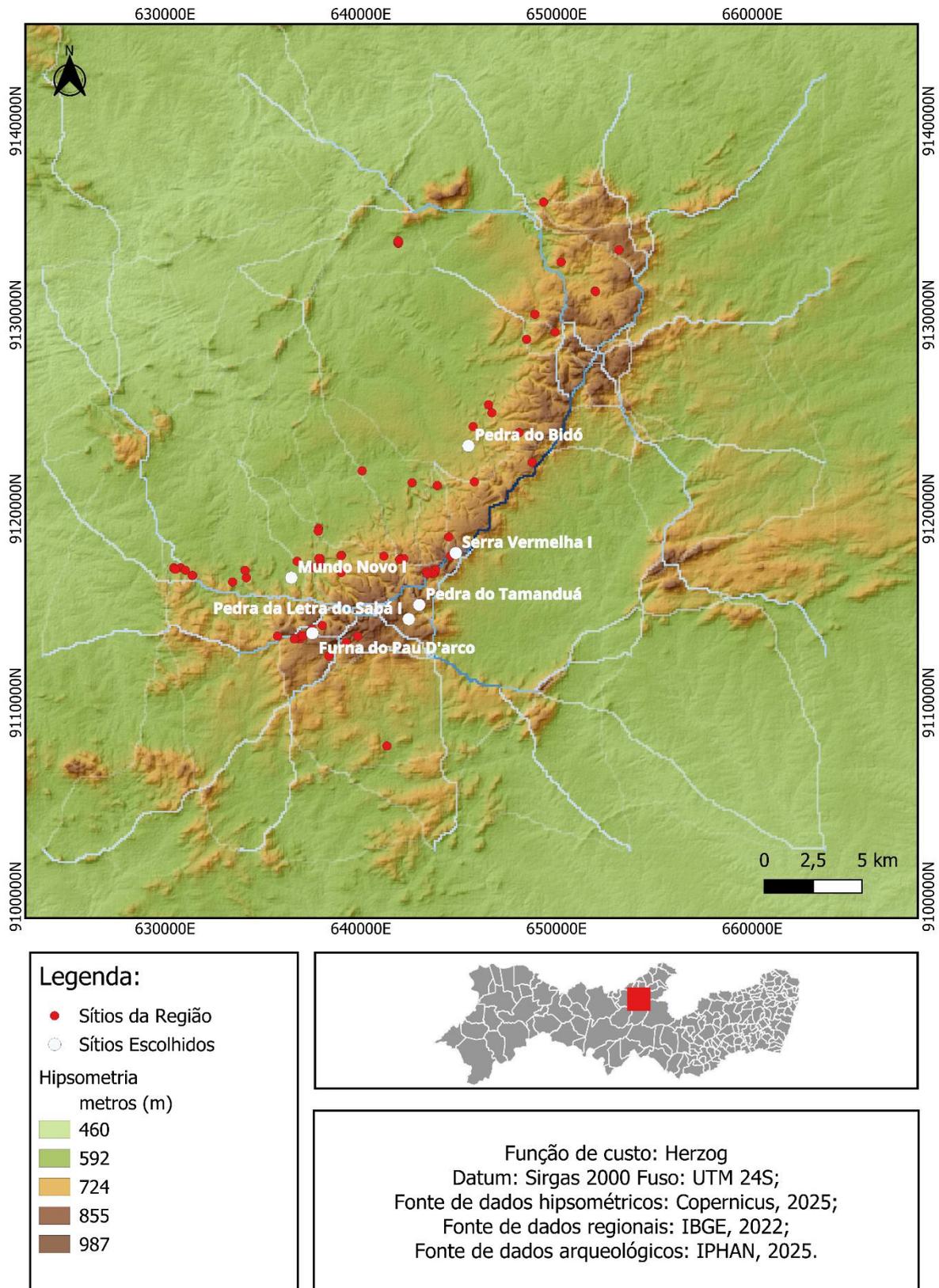
A função de Herzog foi utilizada para modelar a acessibilidade entre os sítios arqueológicos escolhidos da região (Pedra do Tamanduá, Serra Vermelha I, Furna do Pau D'arco, Pedra da Letra do Sabá I, Pedra do Bidó e Novo Mundo I), levando em consideração a declividade do terreno (460 m a 987 m de altitude), onde é o principal fator de resistência de deslocamento. A função de Herzog consiste em uma movimentação que vai minimizar o esforço energético juntamente com o tempo de deslocamento, mas não necessariamente a distância linear. Logo, áreas com grandes variações de altitude são evitadas como rotas de deslocamento.

É possível observar que no CMC gerado com grade de 10km (**Figura 23**), a maioria dos sítios arqueológicos escolhidos estão em áreas próximas a zonas de transição altimétrica, sendo mais preciso, em regiões de média altitude, onde os deslocamentos são mais frequentes e eficientes. Também é possível observar que os sítios estão localizados com as principais rotas de menor custo.

Também é possível observar que os caminhos gerados em cores mais claras desempenham um papel importante, onde servem como corredores naturais de deslocamento, que são associadas às áreas de baixa altitude da região.

A aplicação da função de Herzog em uma grade de 10km, permitiu observar que os deslocamentos desses grupos preferiam evitar as áreas mais elevadas, assim, realizando o deslocamento em ao longo de vales e planaltos intermediários. Os sítios escolhidos apresentam forte associação espacial com essas rotas, sugerindo que fatores topográficos influenciaram diretamente a localização e conectividade desses espaços no passado. Dessa forma, a modelagem de custo associada à análise espacial contribui significativamente para a compreensão dos padrões de mobilidade e organização territorial de grupos humanos em paisagens montanhosas.

Figura 23: Rede de caminhos ótimos da função de custo Herzog com grade de 10km e resolução de 100.



Fonte: Autoria própria, 2025.

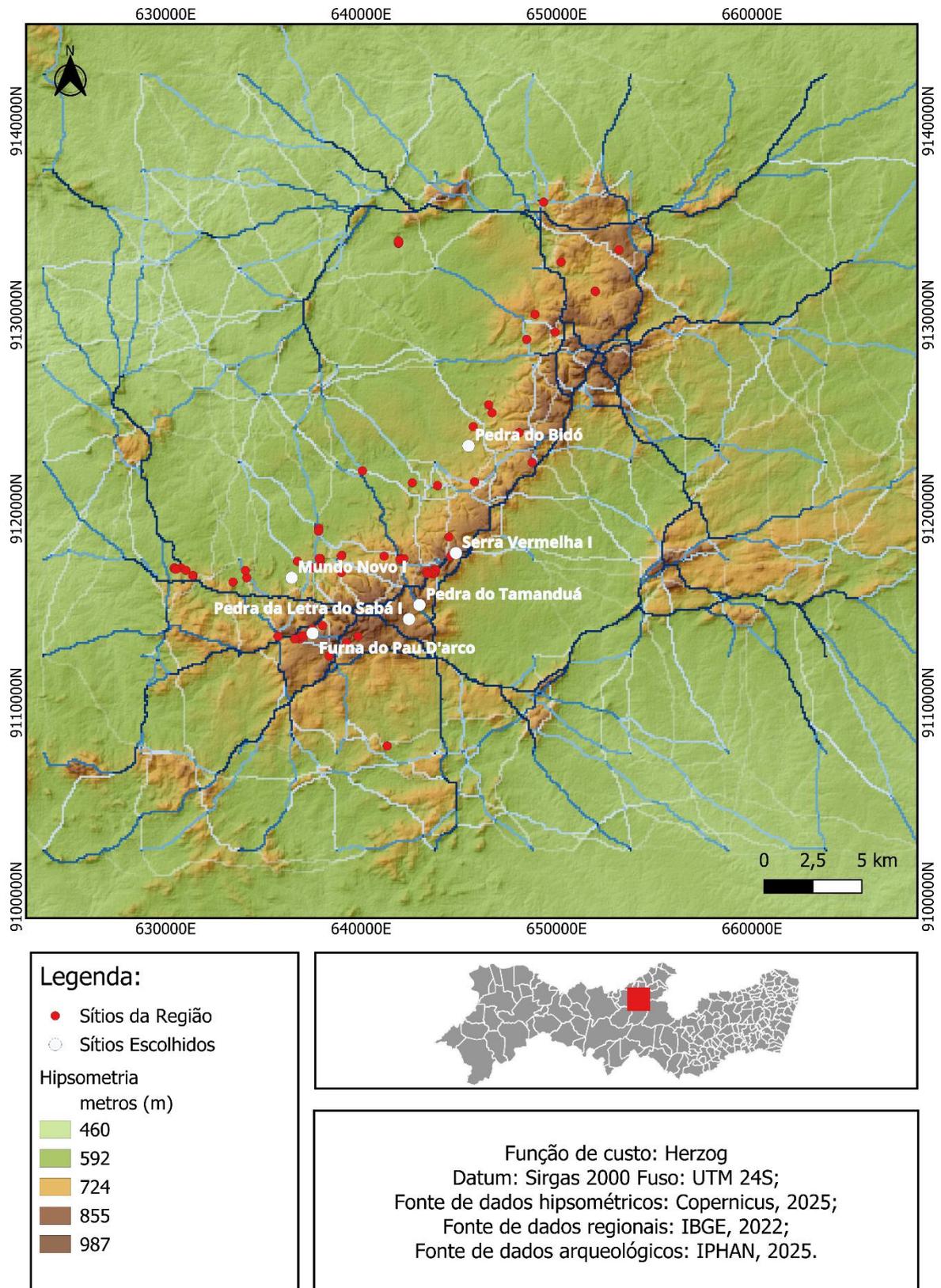
No segundo mapa (**Figura 24**) apresenta um modelo de CMC mais denso, onde foram gerados com uma grade de 5km. É possível observar que os caminhos se intensificam em torno da serra, onde são encontrados os sítios arqueológicos escolhidos. A região, apesar de ser montanhosa, apresenta alguns corredores naturais de circulação. A densidade e interconexão desses caminhos demonstram uma rede altamente articulada, sugerindo uma paisagem intensamente transitada.

Os caminhos mais escuros indicam rotas de maior recorrência ou menor custo acumulado, e as mais claras sugerem trajetos alternativos ou menos utilizados. É possível perceber uma forte correlação espacial entre os caminhos gerados e os locais de ocupação humana identificados.

Observa-se uma associação entre a localização dos sítios escolhidos e os pontos de maior deslocamento desses grupos, onde é possível reforçar a hipótese de que a mobilidade e o acesso a diferentes partes da paisagem foram fatores determinantes na escolha dos locais de ocupação.

A altitude da região ajuda a compreender a lógica espacial dos caminhos. A maioria dos caminhos se encontram em altitudes médias, assim evitando áreas de maior declividade, o que está conforme a função de Herzog, onde evita o deslocamento verticais brutas. Dessa forma, os trajetos gerados tendem a seguir linhas de menor variação altimétrica, contornando elevações e vales mais profundos. Essa lógica é consistente com estratégias arqueologicamente documentadas em diversos contextos, nas quais o movimento humano se orienta por eficiência energética, visibilidade, acesso a recursos e conectividade social. A disposição dos sítios em pontos estratégicos reforça a noção de que essas rotas não eram apenas transitórias, mas possivelmente estruturantes na organização do território, funcionando como vetores de intercâmbio, deslocamento sazonal ou até mesmo rotas cerimoniais.

Figura 24: Rede de caminhos ótimos da função de custo Herzog com grade de 5km e resolução de 100.



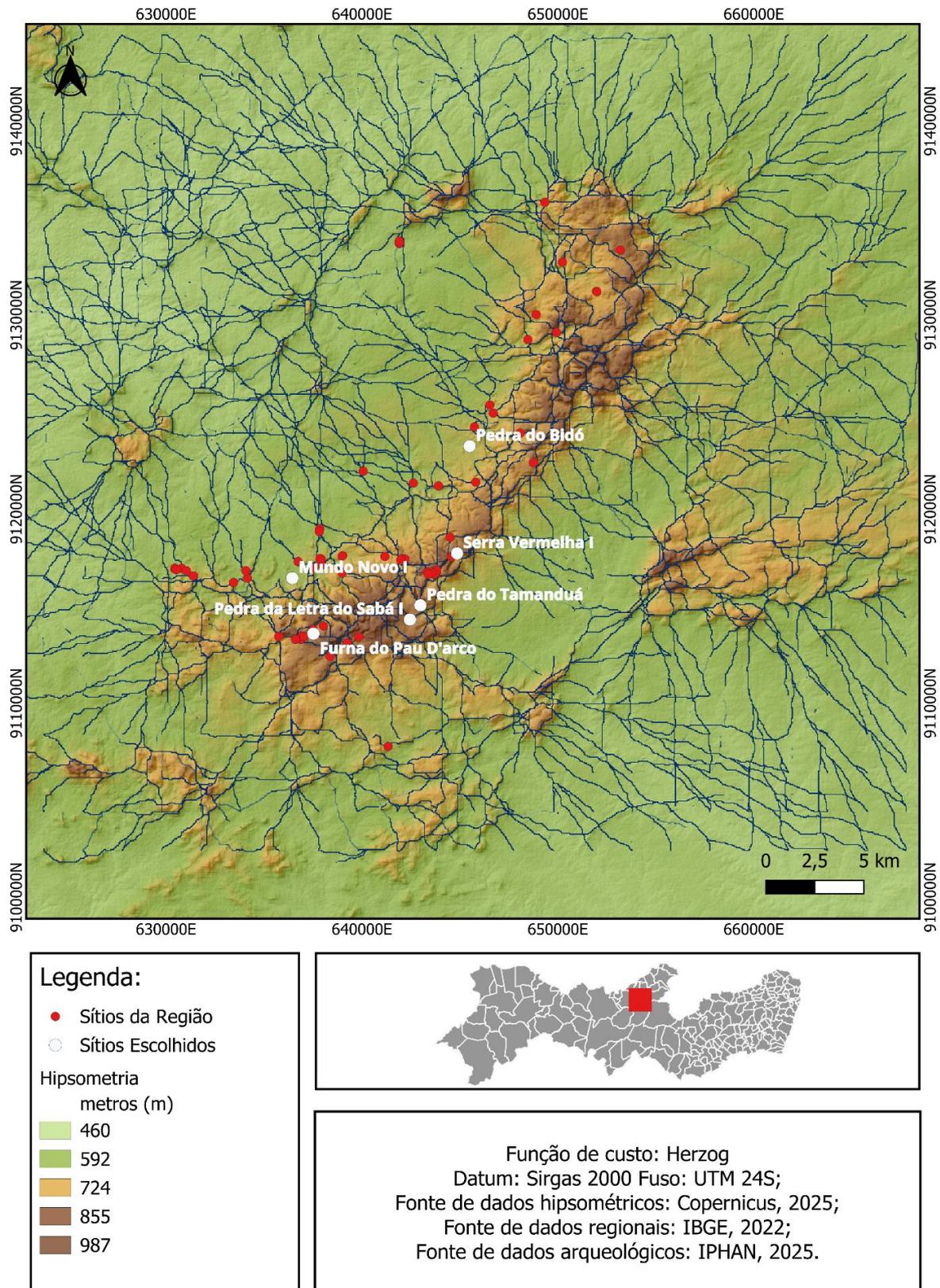
Fonte: Autoria própria, 2025.

No terceiro mapa (**Figura 25**), apresenta um modelo de CMC gerado a partir de uma grade de 2km, onde apresenta uma densa rede de conexões, sugerindo que a região era amplamente acessível por diversas rotas alternativas. Os caminhos com cor mais escura representam as rotas mais utilizadas, assim, refletindo os trajetos de menor custo conforme a função.

Com essa grade de 2km, é possível observar que os sítios arqueológicos escolhidos estão posicionados próximos a intersecções ou entroncamentos da rede de caminhos. Pode se dizer com esse padrão espacial que os sítios foram estrategicamente instalados em pontos de elevada acessibilidade, facilitando o deslocamento, o controle territorial, o comércio ou mesmo práticas sociais e simbólicas associadas à mobilidade.

Essa associação entre a rede de circulação e ocupações humanas é coerente com estudos de arqueologia da paisagem, os quais indicam que o uso e ocupação do espaço não é aleatório, mas responde a lógicas práticas e simbólicas de circulação.

Figura 25: Rede de caminhos ótimos da função de custo Herzog com grade de 2km e resolução de 50.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Como dito na metodologia, a função de Langmuir (mochileiro) tem como objetivo entender como a declividade vai influenciar o deslocamento de uma pessoa para determinado ponto (Hyder, 2004). No caminho gerado no contexto da área de estudo em uma grade de 10km (**Figura 26**), é possível observar que as linhas representadas no mapa variam em tonalidade de azul, sendo que as linhas mais escuras indicam rotas mais utilizadas, ou seja, caminhos de menor custo acumulado e, portanto, mais prováveis de terem sido utilizados por populações humanas em deslocamento. Por outro lado, as linhas mais claras representam trajetos menos favorecidos, com maior tempo ou esforço associados, geralmente associados às áreas de relevo mais acidentado ou elevado.

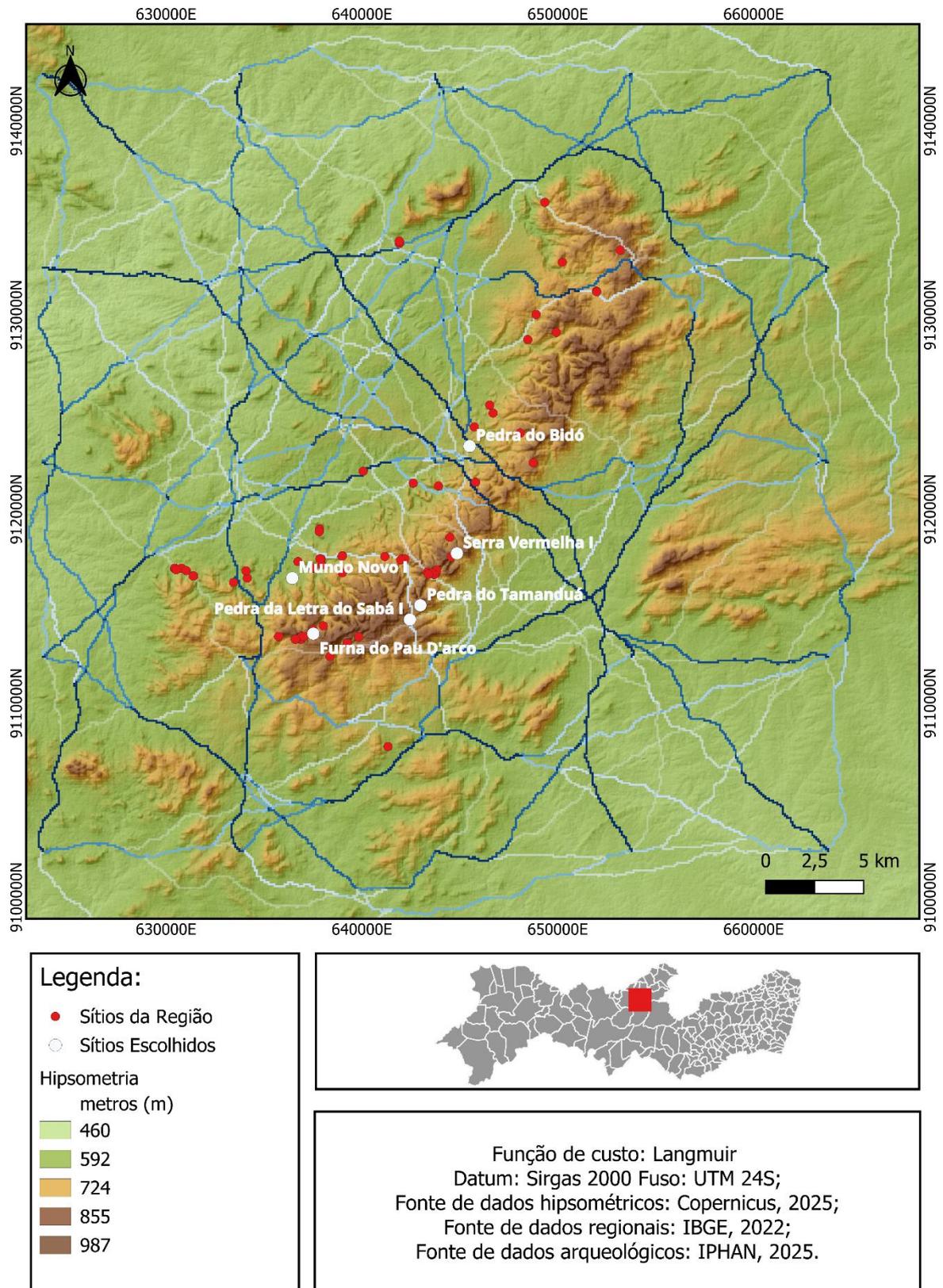
Ao sobrepor os caminhos aos sítios arqueológicos selecionados, observa-se que estes estão majoritariamente situados em zonas de interseção ou proximidade com os caminhos mais escuros, indicando uma escolha estratégica de localização. Tais áreas estão associadas a faixas altimétricas entre 460 m e 724 m, que coincidem com as zonas de menor declividade na região, favorecendo o deslocamento.

Essa disposição pode sugerir que as populações que ocuparam esses sítios consideraram acessibilidade e eficiência do deslocamento como fatores relevantes na ocupação territorial, priorizando locais com boa conexão a rotas naturais de circulação. As regiões de maior elevação (acima de 855 m), marcadas em tons mais escuros na hipsometria, coincidem com zonas onde há menor densidade de caminhos utilizados, confirmando a influência negativa da declividade no modelo de custo baseado no tempo.

Além disso, a estrutura reticular dos caminhos, distribuída em diversos sentidos e com múltiplas conexões, indica uma flexibilidade na movimentação, que pode ter sido influenciada por práticas econômicas, sociais e simbólicas das populações pretéritas. A presença de múltiplas rotas convergindo em torno de alguns sítios, como Mundo Novo I e Furna do Pau D'arco, reforça a hipótese de que esses espaços atuavam como nós logísticos ou polos de circulação regional (Magalhães, 2009).

Essa ideia corrobora os pressupostos de Magalhães (2009), ao demonstrar que o uso da paisagem em contextos arqueológicos está intimamente ligado à eficiência do deslocamento. A análise espacial reforça também a relevância da modelagem baseada em tempo, como no caso da função de Langmuir em comparação a modelos puramente geométricos, pois permite uma reconstrução mais realista dos padrões de mobilidade humana.

Figura 26: Rede de caminhos ótimos da função de custo Langmuir com grade de 10km e resolução de 100.



Fonte: Autoria própria, 2025.

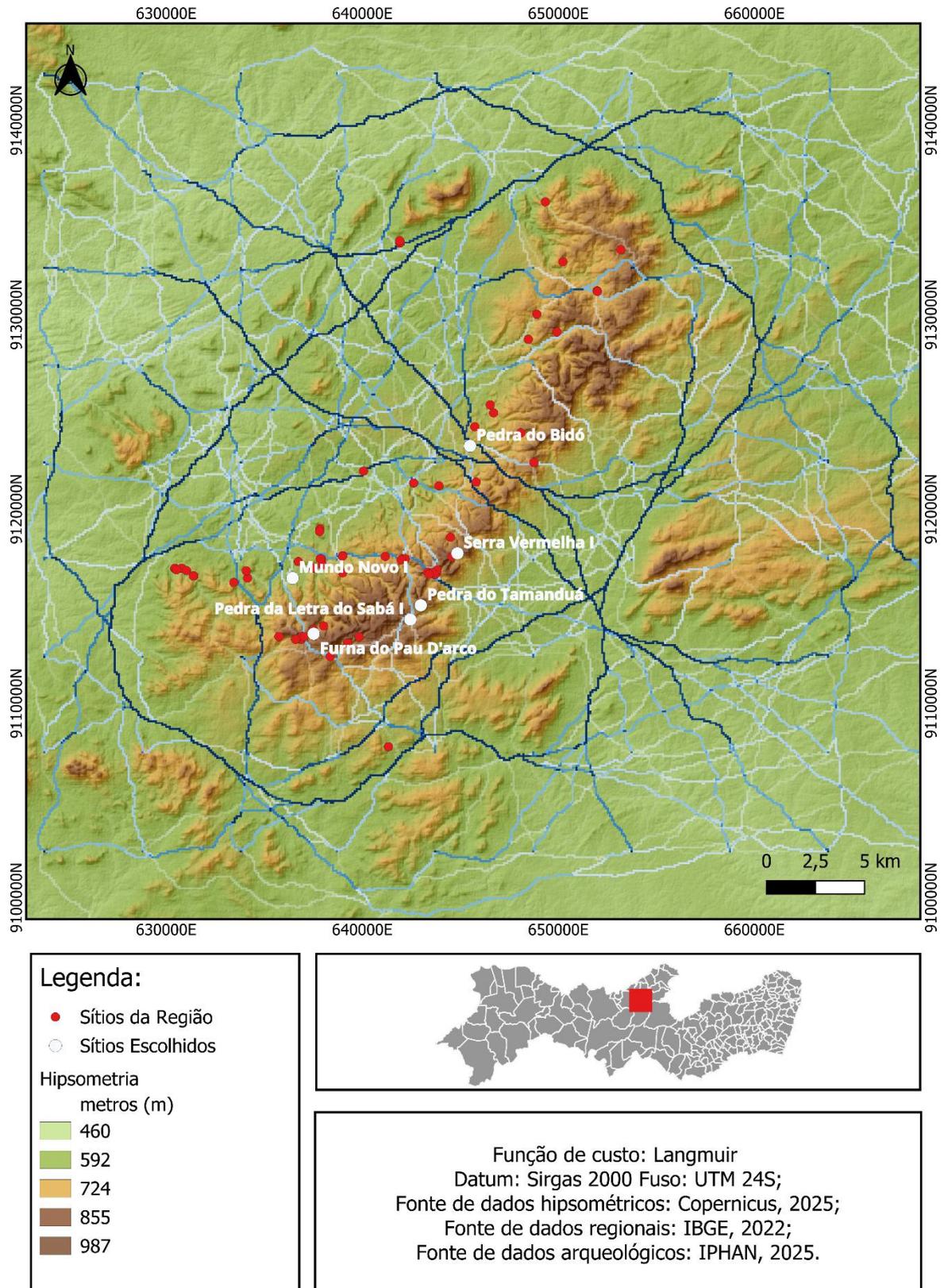
Já com os CMC com a função de Langmuir com uma grade de 5km (**Figura 27**), foi possível observar que os sítios arqueológicos selecionados estão associados a zonas de interseção ou proximidade com as rotas mais escuras, o que sugere acessibilidade estratégica e escolha consciente de locais com boas conexões territoriais. Essas áreas estão situadas em faixas altimétricas predominantemente entre 460 m e 724 m, que correspondem às zonas de menor declividade na região.

A densidade das rotas mais utilizadas se concentra em áreas de relevo suave, onde o deslocamento é facilitado. Já as regiões com maior cota altimétrica (acima de 855 m), geralmente associadas a morros e cristas elevadas, são atravessadas por menos caminhos, revelando o efeito restritivo do relevo acidentado na mobilidade.

A estrutura radial dos caminhos, convergindo para áreas próximas a alguns dos sítios escolhidos, evidencia o papel desses locais como polos logísticos, atuando como centros de convergência e dispersão. A densidade de rotas em torno dos sítios Mundo Novo I, Pedra da Letra do Sabá I e Furna do Pau D'Arco é particularmente alta, o que sugere um uso mais intensivo do entorno imediato, possivelmente relacionado a funções habitacionais, cerimoniais ou de transição.

Essa distribuição corrobora os argumentos de autores como Parente (2019) e Magalhães (2009), que destacam a importância da topografia como condicionante de mobilidade e ocupação no espaço arqueológico. A modelagem baseada no tempo (mais do que em distância linear) permite uma reconstrução mais realista da circulação, valorizando aspectos biofísicos do terreno que de fato influenciam o deslocamento humano.

Figura 27: Rede de caminhos ótimos da função de custo Langmuir com grade de 5km e resolução de 100.



Fonte: Autoria própria, 2025.

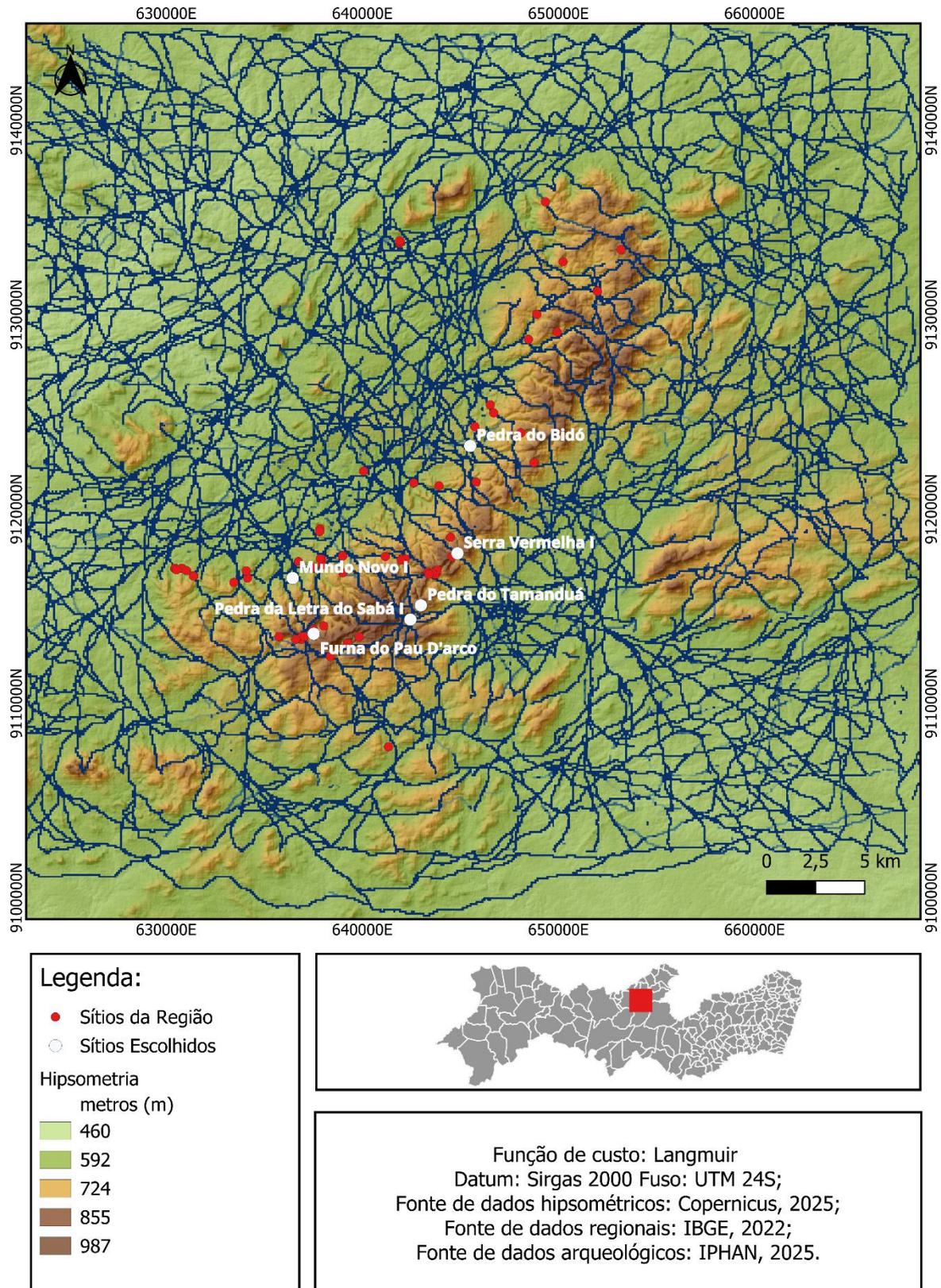
Já com os CMC com a função de Langmuir com uma grade de 2km (**Figura 28**), foi possível observar que há uma maior densidade de rotas escuras, portanto, mais acessíveis na porção sudoeste da área mapeada, onde predominam altitudes entre 460 e 724 metros, conforme mostrado na escala hipsométrica. Essas altitudes coincidem com áreas de relevo mais suave, favorecendo o deslocamento humano. Essa tendência também se reflete na distribuição dos sítios arqueológicos, como Mundo Novo I, Pedra da Letra do Sabá I e Furna do Pau D'Arco, os quais estão diretamente conectados ou próximos a uma rede densa de rotas de baixo custo.

A região central e nordeste do mapa, por outro lado, abriga áreas com altitudes superiores a 855 metros. Nesses setores, as rotas mais utilizadas se tornam escassas ou desviam dos pontos mais elevados, demonstrando o impacto negativo da declividade acentuada no custo de deslocamento. Isso é particularmente evidente ao redor do sítio Pedra do Bidó, que, apesar de estar inserido em uma área de terreno mais acidentado, ainda se conecta a algumas rotas otimizadas, indicando que a sua localização pode ter sido estrategicamente escolhida em um contexto de relevo restritivo.

As rotas convergentes também reforçam que certos sítios atuaram como nós logísticos ou polos de mobilidade regional. Por exemplo, os sítios Serra Vermelha I e Pedra do Tamanduá estão em zonas de transição altimétrica e possuem conectividade tanto com áreas de relevo suave quanto com passagens entre elevações, indicando um possível papel como pontos de passagem obrigatória ou entrepostos.

Esse resultado também dialoga com os estudos de Parente (2019), que destaca a importância da modelagem de custo acumulado na compreensão da mobilidade no contexto arqueológico brasileiro, e com Magalhães (2009), que discute como os condicionantes ambientais moldam as estratégias de ocupação do espaço. Além disso, Schmitz (1988) aponta que a escolha de locais de moradia e uso ritual não era aleatória, mas baseada em fatores como acessibilidade, visibilidade e proximidade de recursos, o que se confirma nos resultados obtidos por esta simulação.

Figura 28: Rede de caminhos ótimos da função de custo Langmuir com grade de 2km e resolução de 50.



Fonte: Autoria própria, 2025.

A função de Tobler foca no tempo e na velocidade da pessoa que está fazendo determinado percurso. A mesma não considera a declividade crítica como a de Langmuir (Hyder, 2004). No CMC gerado para a área com uma grade de 10km (**Figura 29**), foi possível observar que existe uma concentração de rotas escuras na porção oeste e centro-sul da área, onde predominam altitudes médias entre 460 e 724 metros. Esses setores apresentam uma rede densa de conexões de baixo custo, o que favorece o deslocamento e, por consequência, a ocupação humana. Essa condição se reflete na proximidade de vários sítios arqueológicos escolhidos para análise, como Mundo Novo I, Pedra da Letra do Sabá I e Furna do Pau D'Arco, todos localizados em zonas acessíveis e altamente conectadas pela malha otimizada.

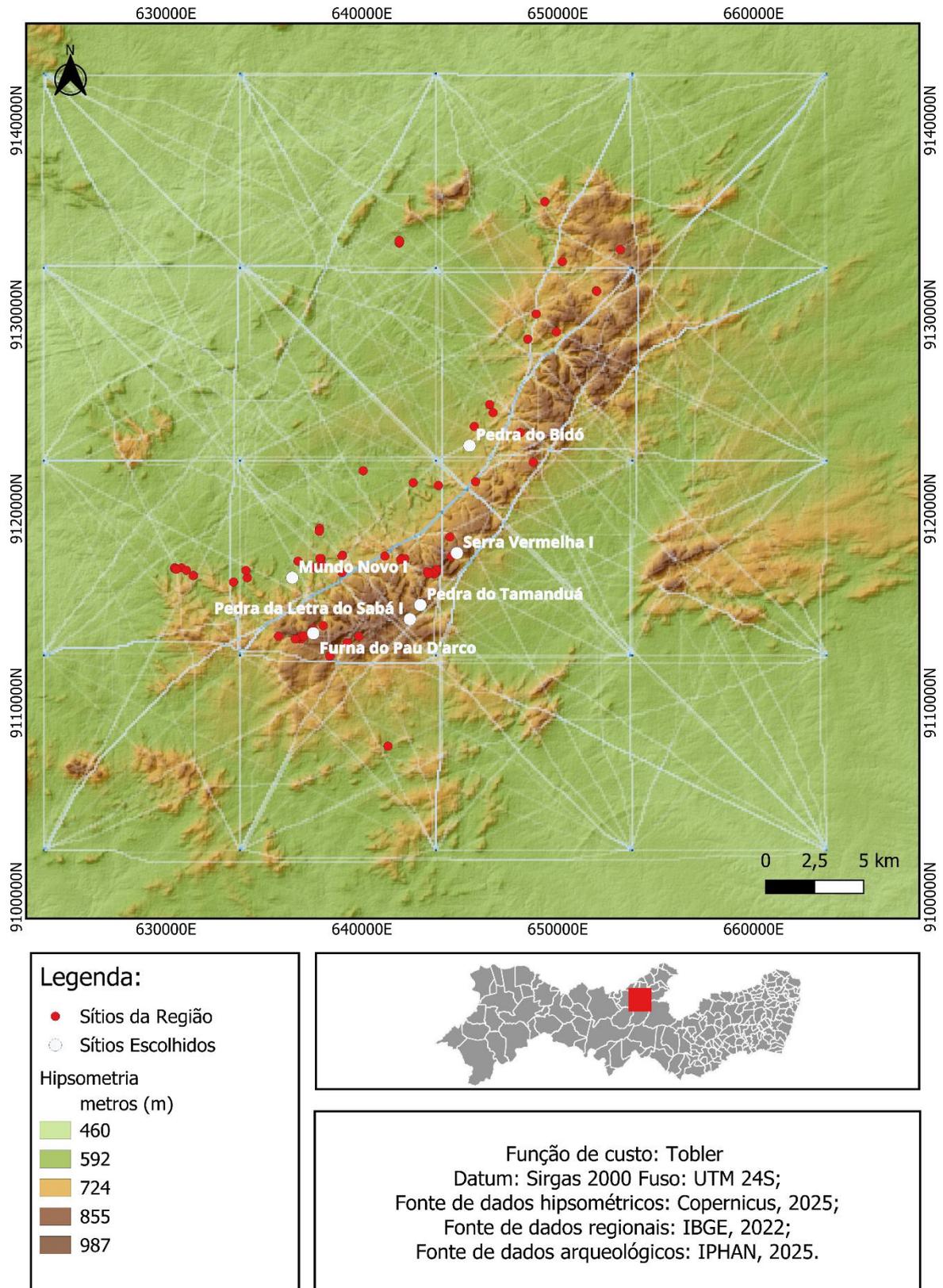
A área central, onde se localizam os sítios Serra Vermelha I e Pedra do Tamanduá, também apresenta boa integração com a rede de rotas escuras, embora já se perceba uma transição altimétrica em direção às faixas de 855 a 987 metros. Mesmo nessas áreas de relevo intermediário, as conexões otimizadas indicam uma possível seleção estratégica de locais de ocupação, considerando pontos de passagem ou áreas de visibilidade privilegiada.

Por outro lado, a porção nordeste da área, especialmente ao redor do sítio Pedra do Bidó, apresenta uma predominância de rotas mais claras, o que sugere um maior custo de deslocamento. A presença desse sítio em uma zona de difícil acesso pode indicar um uso mais especializado do espaço, como atividades rituais, abrigo temporário ou demarcação territorial em detrimento de uma ocupação contínua. Isso se combina com proposições teóricas de Schmitz (1988) e Parente (2019), que apontam a existência de sítios de diferentes funcionalidades, não necessariamente ligados à facilidade de acesso.

A utilização da função de Tobler permite uma simulação mais verossímil da mobilidade humana, pois considera que a velocidade de caminhada não é constante, mas sim condicionada pela declividade do terreno, assim, aumentando em terrenos planos ou com declives suaves, e diminuindo fortemente em aclives acentuados. Este fator torna-se essencial na reconstrução de trajetos prováveis de circulação humana, fornecendo subsídios concretos para análises sobre a organização espacial de grupos pretéritos.

A estrutura da grade de 10 km permite identificar tendências macroespaciais de conectividade, revelando áreas com potencial de alta circulação, possíveis corredores de trânsito humano, zonas de isolamento relativo e regiões de centralidade na paisagem.

Figura 29: Rede de caminhos ótimos da função de custo Tobler com grade de 10km e resolução de 100.



Fonte: Autoria própria, 2025.

No CMC gerado para a área com uma grade de 5km (**Figura 30**), foi possível observar que há uma rede densa e bem conectada no setor centro-sul da área, onde se concentram os sítios arqueológicos Mundo Novo I, Pedra da Letra do Sabá I, Furna do Pau D'Arco e Pedra do Tamanduá. Esses sítios estão situados em zonas com alta acessibilidade relativa, demonstrada pelo grande número de conexões escuras em seu entorno. A escolha desses locais pode ter sido estratégica, visando facilitar a movimentação cotidiana, o acesso a recursos ou a manutenção de redes sociais intergrupais. Esse padrão ecoa as proposições de Prous (1992) e Schmitz (1987), que associam a permanência em determinados territórios à facilidade de acesso e circulação.

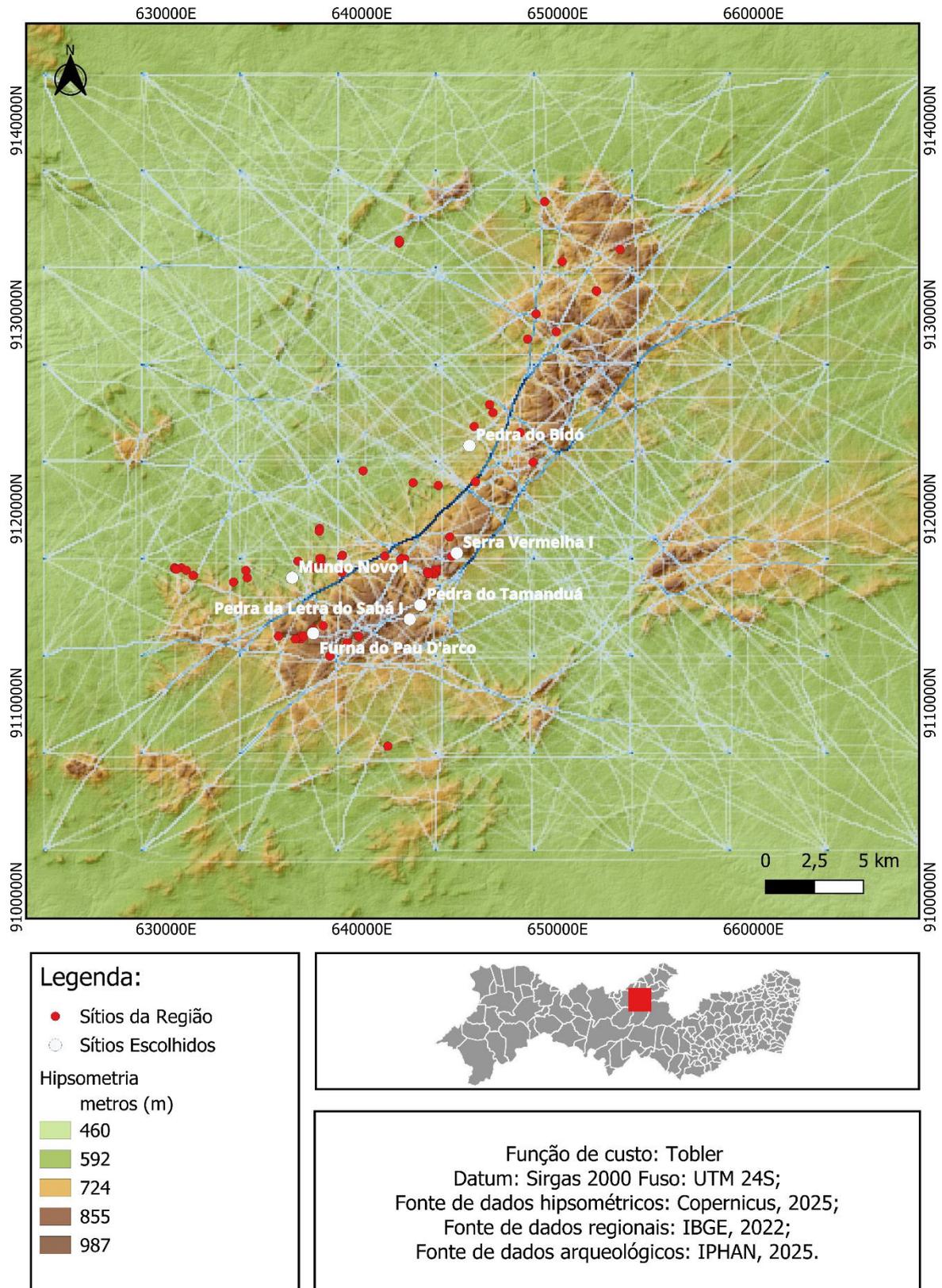
O sítio Serra Vermelha I, posicionado em uma zona de relevo um pouco mais elevado, também apresenta boas conexões com os CMC, embora esteja mais próximo de faixas altimétricas de 724 a 855 metros. Essa localização pode representar uma escolha ligada a aspectos de visibilidade e controle do entorno, fatores apontados por Gaspar (2003) e Parente (2019) como relevantes para a escolha de locais de ocupação.

Já o sítio Pedra do Bidó aparece em uma região mais rarefeita de rotas escuras, sugerindo um maior custo de deslocamento até esse ponto. Sua posição em áreas mais elevadas (até 987 m) e menos conectadas pode indicar uma função distinta dentro da rede de ocupações, talvez relacionada a atividades sazonais, rituais ou simbólicas, o que também é defendido por Funari (1994) ao abordar os usos múltiplos de espaços na paisagem pré-colonial.

A grade com espaçamento de 5km permite identificar trajetos mais detalhados e prováveis caminhos locais entre sítios próximos, enriquecendo a compreensão microespacial da circulação humana. As conexões entre sítios escolhidos indicam a existência de corredores de mobilidade preferencial, possivelmente refletindo rotas ancestrais de deslocamento.

Além disso, a sobreposição da rede de caminhos com a hipsometria regional revela que as zonas mais utilizadas coincidem com faixas altimétricas médias, entre 460 e 724 metros, reforçando a ideia de uma ocupação seletiva da paisagem voltada a terrenos de fácil trânsito, o que corrobora observações feitas por autores como Magalhães (2009) e Araújo (2020).

Figura 30: Rede de caminhos ótimos da função de custo Tobler com grade de 5km e resolução de 100.



Fonte: Autoria própria, 2025.

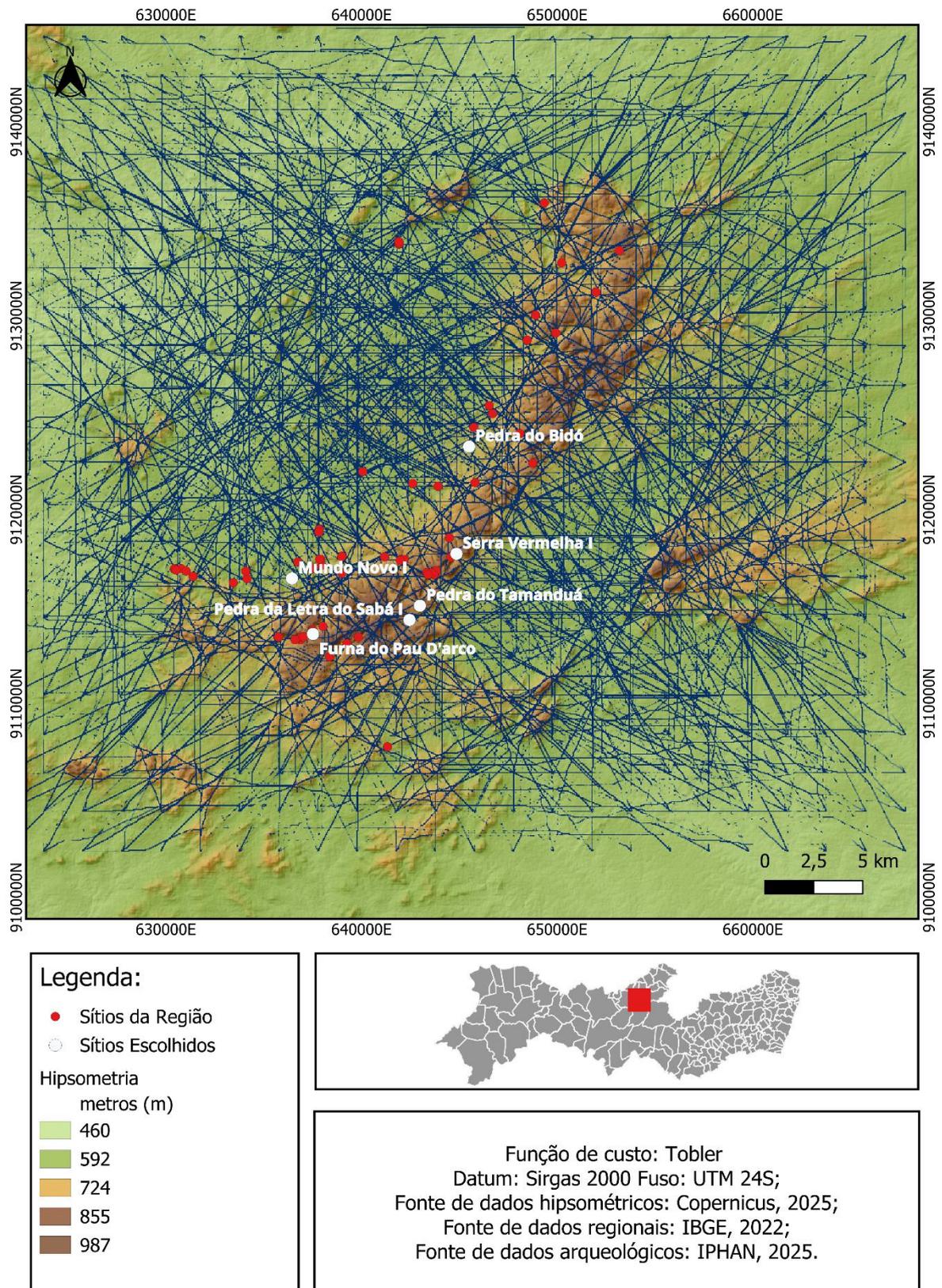
Já no CMC gerado para a área com uma grade de 2km (**Figura 31**), foi possível observar que a leitura espacial do mapa evidencia que os sítios arqueológicos escolhidos se inserem em uma malha densa de conexões preferenciais, principalmente na porção central e sudoeste da área. Os sítios Furna do Pau D'Arco, Pedra da Letra do Sabá I, Mundo Novo I, Serra Vermelha I e Pedra do Tamanduá apresentam alta conectividade regional, estando integrados a diversas rotas de baixo custo. Isso sugere que esses locais ocupavam posições-chave na paisagem, favorecendo a circulação e o acesso entre grupos humanos, além de indicar um possível uso estratégico da topografia para otimização da mobilidade.

O padrão de conectividade espacial observado nesses locais parece corroborar hipóteses já discutidas por Butzer (1982) e Gaspar (2003) sobre a importância da paisagem na organização do espaço social pré-colonial. A escolha de locais com alta acessibilidade relativa pode ter se dado não apenas por conveniência topográfica, mas também por razões sociais e simbólicas ligadas à manutenção de rotas, redes de contato ou territórios de uso compartilhado.

No entanto, o sítio Pedra do Bidó se destaca como um ponto mais isolado da rede escura principal, com rotas de menor frequência convergindo a partir de faixas elevadas (855 a 987 metros). Isso sugere um acesso mais restrito ou custoso, possivelmente indicando que o sítio tinha uma função diferenciada, como acampamento de curta duração, local de práticas simbólicas, mirante estratégico ou território liminar. Essa ideia apoia abordagens da arqueologia da paisagem, como aquelas propostas por Tilley (1994) e retomadas por Araújo (2020), que reconhecem a existência de lugares “diferenciados” na geografia simbólica de grupos humanos.

A densidade geral das rotas reforça a ideia de que a região central do mapa, especialmente a faixa entre 630000E a 650000E e 9120000N a 9135000N concentra os corredores de circulação mais utilizados, coincidentes com áreas de hipsometria intermediária (592 a 724 metros). Tais altitudes parecem oferecer o melhor equilíbrio entre esforço físico e visibilidade estratégica, favorecendo a escolha desses espaços para ocupação prolongada ou circulação frequente.

Figura 31: Rede de caminhos ótimos da função de custo Tobler com grade de 2km e resolução de 50.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Nesse sentido, a análise integrada dos CMC a partir das funções de Tobler, Langmuir e Herzog, em diferentes grades (10km, 5km e 2km), evidencia como a modelagem do deslocamento humano pode ser profundamente influenciada pela forma como os custos de locomoção são representados e pela escala adotada na simulação.

A aplicação de diferentes modelos de custo de deslocamento, com destaque para as funções de Tobler e Langmuir revelou padrões relevantes de conectividade espacial entre os sítios arqueológicos analisados. Essas abordagens, ao considerar variáveis como declividade, tempo de caminhada e resistência do terreno, permitem uma reconstrução mais precisa das dinâmicas de mobilidade pré-coloniais.

As análises com maior detalhe espacial (grade de 2km) evidenciaram rotas mais densas e ramificadas, permitindo a identificação de microvias e trajetos locais, que possivelmente refletiam deslocamentos cotidianos, acessos a recursos ou conexões intersítios. Já as grades mais amplas (5km e 10km) favoreceram a visualização de corredores regionais de longa distância, que podem ter servido a fluxos sazonais, trocas ou redes territoriais de maior escala.

A função de Tobler, ao priorizar a declividade, mostrou-se particularmente eficaz na identificação de trajetos preferenciais ajustados ao relevo, evidenciando a escolha de rotas por faixas hipsométricas intermediárias, que equilibram esforço físico e visibilidade. Essa função revelou maior densidade de caminhos convergindo para sítios como Mundo Novo I, Furna do Pau D'Arco e Serra Vermelha I, sugerindo sua centralidade na paisagem regional.

Por outro lado, a função de Langmuir apresentou uma conectividade mais generalista, sem distinções tão marcantes de rotas preferenciais. Já a versão com tempo de deslocamento incorporado refinou as rotas possíveis com base em parâmetros de esforço e distância, tornando-se especialmente útil na delimitação de zonas de acessibilidade realista em campo, oferecendo uma leitura mais compatível com limitações físicas e estratégias de deslocamento humano.

Por sua vez, a função de Herzog, que permite uma personalização mais complexa dos custos de deslocamento, podendo integrar restrições ambientais, visibilidade e variações topográficas mais sutis, proporcionou a identificação de rotas que equilibram a economia de esforço e integração espacial. As rotas mais recorrentes nas simulações com esta função tendem a reforçar trajetos que se alinham tanto ao relevo quanto à distribuição espacial dos sítios arqueológicos, sugerindo uma modelagem sensível à lógica de ocupação humana do território.

Em conjunto, essas abordagens demonstram que a escolha da função de custo e da escala de análise pode influenciar significativamente a interpretação arqueológica da mobilidade. A maior recorrência de rotas entre determinados sítios (como Mundo Novo I, Pedra da Letra do Sabá I e Pedra do Tamanduá) indica possíveis eixos de circulação privilegiados no passado, reforçando a importância da triangulação entre dados topográficos, arqueológicos e modelos computacionais para inferir padrões de movimentação humana em paisagens pretéritas.

Assim, a combinação de diferentes funções de custo permite não apenas uma validação cruzada dos resultados, mas também uma abordagem mais robusta e multiescalar da mobilidade, fundamental para a compreensão da organização espacial, da conectividade e da lógica de uso do território em contextos arqueológicos.

Ao integrar esses diferentes modelos, observa-se que os sítios arqueológicos não se encontram distribuídos de forma aleatória na paisagem, mas inseridos em contextos de alta acessibilidade e conectividade. Isso sugere que fatores topográficos, logísticos e simbólicos influenciaram fortemente a escolha de locais de ocupação dos grupos autores dos grafismos rupestres. Tal constatação dialoga com os pressupostos da ecologia cultural (Butzer, 1982), da arqueologia da paisagem (Tilley, 1994; Araújo, 2020), e com contribuições nacionais (Gaspar, 2003; Schaan, 2010), que reconhecem o papel ativo da mobilidade na construção social do espaço.

Portanto, a combinação de modelos de custo em múltiplas escalas e funções revela-se uma ferramenta potente para a arqueologia espacial, permitindo inferências sobre territorialidade, interação entre grupos e estratégias adaptativas de ocupação. Os resultados obtidos não apenas enriquecem a compreensão da dinâmica regional estudada, mas também apontam caminhos metodológicos promissores para futuras pesquisas em arqueologia computacional no Brasil.

Nesse contexto, as três funções de custo aplicadas, Langmuir, Herzog e Tobler possibilitam análises distintas sobre o deslocamento humano no relevo acidentado da Serra Vermelha, ao levarem em conta diferentes ponderações sobre declividade e tempo. A comparação entre elas revela como essas modelagens simulam de maneira diversa os caminhos preferenciais, e como se relacionam com a morfologia dos abrigos e a localização dos sítios arqueológicos com grafismos rupestres.

A função de Langmuir, que refina a função de Tobler ao incorporar penalizações mais severas para declividades íngremes, evidenciou uma forte preferência por rotas em áreas de relevo mais suave. As rotas mais escuras (mais utilizadas) concentram-se entre os 650 e 850 m de altitude, evitando desníveis acentuados e favorecendo trajetos ao redor da Serra.

Essa função teve grande convergência com sítios localizados em abrigos sob blocos e erosão diferencial, tipos que oferecem acesso fácil, visibilidade e proteção natural, corroborando a hipótese 1. Ademais, os sítios em altitudes elevadas foram alcançados por rotas com menor tempo relativo de deslocamento, o que também reforça a hipótese 2, uma vez que Langmuir é especialmente sensível a ganhos ou perdas de elevação.

A função de Herzog considera tanto o acúmulo de esforço em longos trajetos quanto às mudanças constantes na declividade, gerando uma rede de caminhos mais fragmentada e realista para paisagens montanhosas. As rotas geradas por essa função revelaram alta sobreposição com sítios em áreas intermediárias e elevadas da Serra.

A presença de sítios em regiões de alta conectividade pela função de Herzog reforça a ideia de que a escolha dos abrigos foi estratégica, ligada a vias de mobilidade já estabelecidas, o que fortalece a hipótese 1. Embora a densidade de rotas seja menor que na função de Tobler, a fidelidade ao relevo real permite captar trajetos mais plausíveis cultural e fisicamente, alinhando-se às observações de Schmitz (1987) e Lima (1999) sobre deslocamento em regiões serranas.

A função de Tobler simula o deslocamento considerando velocidades ideais baseadas na inclinação do terreno, favorecendo declividades suaves, mesmo em trajetos mais longos. Isso resultou em rotas extensas, porém com elevada sobreposição aos sítios arqueológicos, especialmente nas grades de 5km e 2km.

A presença expressiva de rotas próximas a abrigos classificados como base de escarpa e erosão diferencial reforça novamente a hipótese 1, sugerindo que esses sítios funcionavam como pontos estratégicos em trajetos recorrentes. Ainda, sua distribuição em altitudes superiores a 800 m demonstra que, mesmo em áreas mais íngremes, os grupos conseguiam acessar os locais com relativa facilidade, assim, apoiando a hipótese 2.

7 Considerações Finais

Tendo em vista os problemas levantados no início do trabalho, foi possível chegar à conclusão de que essa pesquisa viabilizou uma visão topográfica, na qual poderia influenciar nas possíveis rotas de deslocamento desses povos, assim como as suas estratégias de deslocamento. Vale ressaltar que o clima e a vegetação poderiam ser completamente diferentes na região, assim, fazendo com que houvesse mais dificuldades ou facilidades no deslocamento dos grupos indígenas que ocuparam a região da Serra Vermelha. A região conta com a presença de árvores de médio porte, arbustos espinhosos, plantas xerófitas e cactáceas. No entanto, devido a variação da altitude na região, também é possível encontrar trechos de vegetação com árvores de grande porte. Esse tipo de vegetação tem um crescimento juntamente com o período úmido da região.

A função de Tobler, que foca no tempo e velocidade, teve como resultado o deslocamento no centro da Serra, onde hoje em dia é a parte mais elevada. Também foi possível observar que os dados de acessibilidade dos sítios arqueológicos têm caminhos parecidos, que passam pelos sítios trabalhados na pesquisa.

A análise comparativa das três funções de custo aplicadas ao relevo da Serra Vermelha revela um padrão consistente de correspondência entre as rotas de menor custo e os sítios arqueológicos com grafismos rupestres, demonstrando que o relevo foi um fator determinante na organização do espaço por parte dos grupos indígenas.

As funções de Langmuir, Herzog e Tobler, embora com abordagens distintas, apontam para a existência de corredores naturais de circulação, coincidentes com áreas de maior densidade de sítios e morfologias de abrigos mais propícios à ocupação. Esses abrigos, além de oferecerem proteção, estão situados em locais de fácil acesso e controle visual da paisagem, servindo como pontos de parada, referência e possíveis locais de sociabilidade e expressão simbólica.

A forte presença desses sítios em altitudes mais elevadas, mesmo com maior esforço de deslocamento, sustenta a ideia de que tais locais não foram escolhidos ao acaso, mas por critérios que envolvem estratégias culturais, simbólicas e logísticas, corroborando ambas as hipóteses propostas neste trabalho.

Dessa forma, o modelo propõe que o deslocamento humano na Serra Vermelha não pode ser compreendido apenas como função do relevo, mas como resultado de decisões intencionais

e estratégias de ocupação que articulam morfologia dos abrigos, visibilidade, acessibilidade e expressão simbólica, como defendem autores como Prous (1992), Lima (1999), Chataignier (2003) e Souza (2016). Os resultados obtidos nesta pesquisa criam um modelo de deslocamento indígena na Serra Vermelha, o qual deve depois ser testado com dados empíricos.

Essa pesquisa mostra que a Serra Vermelha possuía várias rotas de deslocamento acessíveis, tanto por cima como aos arredores, que passam pelos sítios arqueológicos com a presença de grafismos rupestres. Além disso, o uso de modelos de menor custo na Arqueologia é escasso e recente no Brasil, mas é um bastante relevante para as pesquisas arqueológicas.

8 Referências Bibliográficas

AGUIAR, A. A tradição agreste: estudo sobre arte rupestre em Pernambuco. *Clio - Série Arqueológica*, n. 3, Recife: UFPE, 1986.

ALMEIDA, F. O.; PEREIRA, L. C. Arqueologia e SIG: contribuições metodológicas para o estudo da paisagem. *Revista de Arqueologia*, v. 23, n. 2, p. 35-52, 2010.

ANGELUCCI, D. A partir da terra: a contribuição da Geoarqueologia. In: MATEUS, J.; MORENO-GARCÍA, M. (Org.). *Paleoecologia Humana e Arqueociências: um programa multidisciplinar para a Arqueologia sob a tutela da cultura*. Trabalhos de Arqueologia, 29. Lisboa, 2003. p. 35-103.

ARAÚJO, Rodrigo R. Arqueologia da paisagem e mobilidade: caminhos e práticas sociais no Brasil Central. *Revista Clio Arqueológica*, n. 35, p. 9–34, 2020.

ARAÚJO, Thaysa Gisella Mendes de. *Caracterização arqueológica e ambiental da Chapada Diamantina Norte: Morro do Chapéu, Bahia*. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arqueologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2025.

BEVAN, Andrew; CONOLLY, James. GIS, archaeological survey, and landscape archaeology on the island of Kythera, Greece. **Journal of Field Archaeology**, v. 29, n. 1-2, p. 123-138, 2004.

BICHO, Nuno Ferreira. *Manual de arqueologia pré-histórica*. Lisboa: Edições 70, 2002.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais*. São José dos Campos, 2008.

BUENO, Lucas George Amorim. Registro e documentação gráfica da arte rupestre: inovações tecnológicas e padrões metodológicos. *Revista de Arqueologia*, v. 20, n. 2, p. 45-60, 2007.

BUTZER, Karl W. *Archaeology as human ecology: method and theory for a contextual approach*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

BUTZER, Karl W. *Arqueologia: uma ecologia del hombre. Método y teoria para un enfoque contextual*. Barcelona: Ediciones Bellaterra, 1982.

CAMPANA, Stefano. 3D modeling in archaeology and cultural heritage – theory and best practice. In: REMONDINO, F.; CAMPANA, S. (Org.). *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage*. BAR International Series, 2014.

CARROLL, Fiona; CARROLL, Eoin. *Budget travel in the Mediterranean: a methodology for reconstructing ancient journeys through least cost networks*. [S.l.]: [s.n.], 2022.

CHECA, Z. P.; MORALES, A. F.; HERNÁNDEZ, L. A. Combinación de fotogrametría terrestre y aérea de bajo coste: el levantamiento tridimensional de la iglesia de San Miguel de Ágreda (Soria). *Virtual Archaeology Review*, v. 5, n. 10, p. 51-58, 2014.

CHAGAS JUNIOR, José Nicodemos. *Arqueologia espacial no Seridó Potiguar: análise e interpretação arqueológica do território na bacia hidrográfica do rio Carnaúba*. 2017.

CLARKE, David L. *Spatial archaeology*. London; New York: Academic Press, 1997.

CLAUDINO-SALES, Vanda; SOBRINHO, José Falcão (Ed.). **Geomorphology of the Northeast Region of Brazil**. Springer Nature, 2024.

COPERNICUS. *Copernicus: The European Earth Observation Programme*. [S.l.]: [s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.copernicus.eu>. Acesso em: 28 maio 2025.

CORREIA FILHO, Osvaldo José et al. Cenozoic uplift of the Fátima Basin, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 112, p. 103599, 2021.

CORRÊA, Antônio Carlos de Barros et al. Geomorphology of Pernambuco State. In: **Geomorphology of the Northeast Region of Brazil**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 175-204.

CUNHA, Maria Elizabeth da. Geoarqueologia nos sítios arqueológicos do Nordeste brasileiro: perspectivas e aplicações. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, n. 20, p. 15-32, 2010.

CUNHA, Maria Elizabeth da; KIPNIS, Renato. Geoarqueologia e arqueologia preventiva no Brasil Central. *Revista de Arqueologia*, v. 20, n. 2, p. 9-28, 2007.

DA SILVA OLIVEIRA, Fátima Cristina; FERREIRA, Mariane Pereira. Ecologia humana aplicada à arqueologia. In: _____. *Abordagens em Ecologia Humana: construções epistêmico-metodológicas interdisciplinares*. [S.l.: s.n.], [s.d.]. p. 53.

DE BARROS CORRÊA, Antonio Carlos et al. Megamorfologia e morfoestrutura do Planalto de Borborema. **Revista do Instituto Geológico (Descontinuada)**, v. 31, n. 1-2, p. 35-52, 2010.

DE SÁ, EF Jardim et al. Epirogenia cenozóica na Província Borborema: síntese e discussão sobre os modelos de deformação associados. **VII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Bahia**, p. 58-61, 1999.

DE OLIVEIRA, Claudinei G. et al. The copper–gold and gold deposits of the Neoproterozoic Mara Rosa magmatic arc, central Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 25, n. 3-4, p. 285-299, 2004.

DAVID, Bruno; THOMAS, Julian. *Handbook of Landscape Archaeology*. Walnut Creek: Left Coast Press, 2008.

DIAS, Aline Gouveia. *Geoarqueologia e evolução paleoambiental holocênica do sítio arqueológico Una II, Carnaúba dos Dantas, RN*. 2012. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

EGGERS, Sigrid. *Arqueologia brasileira*. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1987.

FRANÇA, F.; MELO, E. .; CORREIA DOS SANTOS, C. (2023) Flora de inselbergs da região de Milagres, Bahia, Brasil: i. caracterização da vegetação e lista de espécies de dois inselbergs. *Sitientibus*, [S. l.], n. 17.

FERNANDES, A. A.; SANTOS, R. M. de S.; MIRANDA, R. C. de; NÓBREGA, I. G. de M.; SANTOS, J. O. dos; MARACAJÁ, V. P. B. B.; MARACAJÁ, P. B. (2014) Caracterização dos sítios arqueológicos do município de Flores, Estado de Pernambuco. *Informativo Técnico do Semiárido*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 20–40.

FERREIRA, Lucas C. et al. Submerged reefs in the abrolhos shelf: Morphology and habitat distribution. In: **Seafloor geomorphology as benthic habitat**. Elsevier, 2020. p. 519-532.

FERREIRA, Mariane Pereira. Geoarqueologia e arqueologia da paisagem: um panorama. In: *Geoarqueologia no Brasil*. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2013. p. 25-50.

FERREIRA, Mariane Pereira. Geoarqueologia, arqueologia da paisagem e abordagem contextual: interfaces teórico-metodológicas. In: *Arqueologia em perspectiva*. João Pessoa: Editora da UFPB, 2014. p. 73-96.

FERREIRA, Mariane Pereira. O espaço e o tempo na construção das paisagens arqueológicas: interfaces entre arqueologia, geografia e antropologia. *Revista de Arqueologia*, v. 25, n. 2, p. 7-24, 2012.

FERREIRA, Mariane Pereira; PESSIS, Anne-Marie. Arqueologia da paisagem e mobilidade: entre a teoria e o método. *Revista de Arqueologia Pública*, v. 11, n. 1, p. 133–150, 2017.

FREITAS, F. L. A. M.; PEREIRA, J. E. B. S. Arte rupestre e paisagem: abordagens e perspectivas da Arqueologia da Paisagem. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi – Ciências Humanas*, v. 11, n. 2, p. 423-440, 2016.

FREITAS, Rafael de Mello; LEITE, José Ferreira. Modelagem da mobilidade de caçadores-coletores pré-históricos na microrregião de Montalvânia (MG): um estudo a partir da análise de custo de deslocamento. *Revista de Arqueologia Pública*, v. 15, n. 1, p. 37–67, 2021.

FUNARI, Pedro Paulo A.; ZARANKIN, Andrés. Social archaeology of housing from a Latin American perspective: A case study. **Journal of Social Archaeology**, v. 3, n. 1, p. 23-45, 2003.

GALINDO, Marcos. (1994) Dois Sítios da Tradição Nordeste. *Clio - série Arqueológica*, n.10, v.1. Recife: Editora Universitária da Universidade Federal de Pernambuco.

GOMES, Tiago Franco da Silva. *Modelagem de ambientes e mobilidades na bacia do rio Capibaribe (PE): arqueologia e análise espacial de dados geográficos*. 2021. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

GUERRA, Antônio José Teixeira; GUERRA, Antônio Teixeira. *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2018.

HATTORI, Márcia L. (2015) **Arqueologia em áreas de conflito: Cemitérios, obras de desenvolvimento e comunidades**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HERZOG, Irmela. Issues in replication and stability of least-cost path calculations. **Studies in Digital Heritage**, v. 5, n. 2, p. 131-155, 2021.

HERZOG, I. Calculating accessibility. In: EARL, G.; SLY, T.; CHRYSANTHI, A.; MURRIETA-FLORES, P.; PAPADOPOULOS, C.; ROMANOWSKA, I.; WHEATLEY, D. (Eds.). *Archaeology in the Digital Era. Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Southampton, 26–29 March 2012*. v. II. Amsterdam: Amsterdam University Press, 2013. p. 720–734.

HERZOG, I. The potential and limits of optimal path analysis. In: BEVAN, A.; LAKE, M. (Eds.). *Computational Approaches to Archaeological Spaces*. Walnut Creek: Left Coast Press, 2013. p. 179–211.

HERZOG, I. (2014). **Least-cost Paths – Some Methodological Issues**. *Internet Archaeology*, (36). <http://dx.doi.org/10.11141/ia.36.5>.

HILDENBORG, Matilda. Every picture in its place-A spatial analysis of rock art in Tjust using GIS. 2021.

HODDER, Ian; ORTON, Clive. **Spatial analysis in archaeology**. Cambridge University Press, 1976.

HYDER, William D. Locational analysis in rock-art studies. **The figured landscapes of rock-art: looking at pictures in place**, p. 85-101, 2004

IBGE. *Base cartográfica contínua do Brasil ao milionésimo – BCIM*. Escala 1:1.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 maio 2025.

INGOLD, T. The Temporality of the Landscape. *World Archaeology*, v. 25, n. 2, p. 152–174, 1993.

KIPNIS, Renato. Arqueologia da paisagem e uso do espaço: uma abordagem ecológica. *Revista de Arqueologia*, v. 17, n. 2, p. 9-24, 2004.

LANGMUIR, Donald. *Aqueous environmental geochemistry*. New Jersey: Prentice Hall, 1997.

LALUK, Nicholas C. et al. Archaeology and social justice in Native America. **American Antiquity**, v. 87, n. 4, p. 659-682, 2022.

LEITE, José Ferreira. *Cartografia arqueológica e modelagem geoespacial da arte rupestre em Minas Gerais*. 2014. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

LEITE, José Ferreira; LIMA, Tiago Rubert de; ALMEIDA, Fábio Henrique Gomes de. Arte rupestre em Minas Gerais: abordagens e perspectivas. In: SILVA, Cláudia A. da; ALMEIDA, Fábio H. G. de (Org.). *Arqueologia em Minas Gerais: pesquisa, patrimônio e sociedade*. Belo Horizonte: Autêntica, 2012. p. 83–112.

LEITE, José Ferreira; RIBEIRO, Rafael Vilela. Modelagem geoespacial de paisagens rupestres: métodos e aplicações. *Revista de Arqueologia Pública*, v. 13, n. 1, p. 87–110, 2019.

LIMA, Pedro David Rodrigues. Aerofotogrametria por meio de VANTS: análise da viabilidade no levantamento planialtimétrico. 2018.

MAIA. et al. (2018) Paisagens Graníticas do Nordeste Brasileiro. Fortaleza: Edições UFC.

MARTINS, Carla Cristina de Paiva. *O uso da geoarqueologia como instrumento de interpretação arqueológica: os sítios Una II e Furna do Estrago (Carnaúba dos Dantas-RN)*. 2012. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

MARTINS, V. A. L. *A paisagem como categoria de análise: uma proposta teórico-metodológica para a arqueologia*. 2016. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

MARQUES, Carina. A Arte Rupestre. **MONÇÕES Revista do Curso de História da UFMS/CPCX**, v. 3, n. 4, 2016.

MIRANDA, Átila Augusto Stock da Rocha. *O uso da geoarqueologia na abordagem de sítios arqueológicos em cavernas: estudo de caso no Abrigo do Letreiro, Carnaúba dos Dantas (RN)*. 2020. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

MIRANDA, Vinícius Nóbrega de. Bacia pré-siluriana na porção centro-oeste da Província Parnaíba, NE do Brasil. 2017.

MORAES, Bruno H. de; LIMA, Tiago Rubert de. Cartografia e geoprocessamento aplicados à Arqueologia: estudo de caso no sítio São Sebastião, Alcinópolis (MS). *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, n. 24, p. 133-147, 2014.

MONNIER, Jean-Laurent. Goldberg P. & Macphail RI, Practical and theoretical geoarchaeology. **Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire**, v. 17, n. 1, p. 93-94, 2006.

NAVARRO, Daniel M. A.; SILVA, Adriana O. da. O potencial da modelagem do custo do deslocamento na análise arqueológica: perspectivas teóricas e metodológicas. *Revista de Arqueologia Pública*, v. 11, n. 1, p. 151–172, 2017.

NAVARRO, Daniel M. A. *Povos da Serra do Amolar: mobilidade e identidade étnica no Pantanal Norte*. 2012. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

NAVARRO, Daniel M. A. Mobilidade e territorialidade: uma proposta teórico-metodológica para a arqueologia. *Revista de Arqueologia Pública*, v. 5, n. 1, p. 115–132, 2011.

NEVES, Sérgio P. et al. Evidence for Early Tonian (Ca. 1000-940 Ma) continental rifting in southern Borborema Province (NE Brazil): tectonic inheritance and shear zone nucleation during assembly of West Gondwana. **International Geology Review**, v. 63, n. 7, p. 851-865, 2021.

NOGUEIRA, Fernando Oliveira. *Análise de rede e modelagem de mobilidade no sudoeste do Piauí: uma abordagem de Arqueologia Espacial*. 2021. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

OLIVEIRA, Leonardo da Silva. Arqueologia e paisagem: uma leitura do território dos grupos horticultores do Baixo São Francisco sergipano. *Revista de Arqueologia*, v. 24, n. 2, p. 7-30, 2011.

OLIVEIRA, Leonardo da Silva. A paisagem arqueológica como categoria de análise. *Revista de Arqueologia Pública*, v. 7, n. 1, p. 15–35, 2013.

OLIVEIRA, Leonardo da Silva; ALMEIDA, Fábio Henrique Gomes de. Arqueologia da paisagem: conceitos e aplicações. *Revista de Arqueologia Pública*, v. 6, n. 1, p. 67–93, 2012.

OLIVEIRA JUNIOR, I.; OLIVEIRA, A. (2019) Modelo de degradação com base no balanço morfogênese/pedogênese: o contexto da bacia do rio Carnaíba de Dentro- Bahia. *Revista Geonorte*, [S. l.], v. 5, n. 23, p. 583–588.

O'SULLIVAN, Rebecca. (2019) Movement across a 'mountain barrier': Mapping accessibility with rock-art and GIS in the Altai Mountains, Eastern Eurasia. *Journal of Archaeological Science: Reports* 27 (2019) 101979.

PELLEGRINI, Marco. *Ritual, tempo e espaço: arqueologia do sítio Pedra Caída I, Piauí, Brasil*. 2021. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2021.

PELLERIN, Jean-Pierre. La morphologie des abris sous roche: application à l'étude de la répartition des sites moustériens dans la vallée de l'Escou (Pyrénées Atlantiques). *Gallia Préhistoire*, v. 27, p. 145–190, 1984.

PESSIS, A.P.; MUTZENBERG, D.; CISNEIROS, D.; MARTIN, G.; MEDEIROS, E. (2019) Registro tridimensional georreferenciado do Sítio Arqueológico Pedra do Ingá, Ingá-PB. *FUMDHAMentos* (2019), vol. XVI, n. 2. pp. 35-72.

PESSIS, Anne-Marie. A arte rupestre do Seridó: registro arqueológico e identidade cultural. *Revista de Arqueologia*, v. 16, n. 2, p. 57-72, 2003.

PESSIS, Anne-Marie; FERREIRA, Mariane Pereira. Mobilidade e visibilidade na Serra do Catimbau: o sítio Pedra da Concha. *Revista de Arqueologia Pública*, v. 8, n. 1, p. 81–103, 2014.

PESSIS, Anne-Marie. Sítios arqueológicos da região de Carnaúba dos Dantas (RN). *Revista Clio Série Arqueologia*, n. 5, p. 81–91, 1984.

RIBEIRO, Rafael Vilela. *Modelagem da mobilidade e visualização da paisagem no contexto da arte rupestre do Vale do Peruaçu (MG)*. 2016. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SANJUÁN, L.G. (2005). *Introducción al Reconocimiento y Análisis Arqueológico del Territorio*. Ariel Prehistoria. Barcelona.

SANTOS, Silvana Maria Barbosa dos. *Modelagem espacial e visibilidade de sítios arqueológicos com arte rupestre: o caso do Parque Nacional Serra da Capivara, PI*. 2016. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

SCHAAN, Denise et al. Construindo paisagens como espaços sociais: o caso dos geoglifos do Acre. **Revista de Arqueologia**, v. 23, n. 1, p. 30-41, 2010.

SCHMITZ, Pedro I. Colonização pré-histórica no Rio Grande do Sul. *Pesquisas. Antropologia*, n. 30, p. 7–88, 1977.

SCHIFFER, M.B. (1989) Formation processes of the archaeological record. University of New Mexico Press.

SCHEEL-YBERT, Rita et al. Novas perspectivas na reconstituição do modo de vida dos sambaquieiros: uma abordagem multidisciplinar. **Revista de Arqueologia**, v. 16, n. 1, p. 109-137, 2003.

SCHEEL-YBERT, Rita et al. Proposta de amostragem padronizada para macro-vestígios bioarqueológicos: antracologia, arqueobotânica, zooarqueologia. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, n. 15-16, p. 139-163, 2006.

SILVA, Adriana O. da. *A ocupação pré-colonial na bacia do rio São Francisco: caracterização de sítios e interpretação de padrões de assentamento*. 2009. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SOUZA, Armando Rodrigues de. *Arqueologia e geografia: a interface entre espaço e tempo*. 2005. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SOUZA, L.B.P. (2018) Arqueologia Espacial do sítio arqueológico Lagoa Uri de Cima (Salgueiro, PE): um estudo da distribuição intra-sítio dos vestígios líticos. Dissertação de Mestrado, UFPE.

SOUZA, Lucas Bonald Pedrosa de. Distribuição espacial dos sítios arqueológicos com grafismos rupestres na bacia hidrográfica do Pajeú, PE: um estudo de caso para aplicação de modelos preditivos baseados em algoritmos de aprendizagem de máquina. 2023. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

Souza, Lucas Bonald Pedrosa de. et al. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS MATERIAIS ARQUEOLÓGICOS DA TOCA DO OLHO D'ÁGUA DAS GATAS (PARELHAS, RN): UMA ANÁLISE INTRA-SÍTIO. **Revista Habitus-Revista do Instituto Goiano de Pré-História e Antropologia**, v. 22, n. 2, p. 255-273, 2024.

STEWART, J. H. Cultural ecology. 1968.

RAPP, G. & HILL, C.L. (1998). Geoarchaeology: the earth-science approach to archaeological interpretation. Chelsea, BrookCrafters.

RANGEL DA SILVA, José Maurício; MARIANO, Gorki. Geometry and kinematics of the Afogados da Ingazeira shear zone, Northeast Brazil. **International Geology Review**, v. 42, n. 1, p. 86-95, 2000.

TAVARES, Bruno de Azevedo Cavalcanti et al. Geomorphology of Paraíba State. In: **Geomorphology of the Northeast Region of Brazil**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 145-171.

TOBLER, Waldo R. Three presentations on geographical analysis and modeling. *National Center for Geographic Information and Analysis*, 1993. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/245937078>. Acesso em: 20 jul. 2025.

TOMÉ, Tiago; VAN HAVRE, Grégoire. REDES DE MOVIMENTO: ACESSIBILIDADES EM UMA PAISAGEM ARQUEOLÓGICA NA SERRA DAS CONFUSÕES, PIAUÍ
MOVEMENT NETWORKS.

TRONCOSO, Andrés; MOYA, Francisca; BASILE, Mara. Rock art and social networks among hunter gatherers of north-central Chile. **Journal of Anthropological Archaeology**, v. 42, p. 154-168, 2016.

VERHAGEN, P.; NUNINGER, L.; GROENHUIJZEN, M. (2019) Modelling of Pathways and Movement Networks in Archaeology: An Overview of Current Approaches. In: P.VERHAGEN; J.JOYCE; M. GROENHUIJZEN (Eds.). . Finding the Limits of the Limes. [s.l: s.n.]. p. 217–249.

VIERTLER, Renate Brigitte. Ecologia cultural: uma antropologia da mudança. 1988.

WHEATLEY, David; GILLINGS, Mark. *Spatial technology and archaeology: the archaeological applications of GIS*. London: Taylor & Francis, 2002.

XAVIER, Kelvin Dutra et al. A Geomorphodiversity Index for Caçapava UNESCO Global Geopark–Brazil. **Geoheritage**, v. 17, n. 1, p. 1-24, 2025.

WHITE, D. A.; BARBER, S. B. (2012) Geospatial modeling of pedestrian Transportation networks: a case study from precolumbian Oaxaca, Mexico. *Journal of Archaeological Science*, v. 39, n. 8, p. 2684–2696.