

REVISTA DE ARQUEOLOGIA

Volume 39 No. 3 Setembro - Dezembro 2026

Dossiê: Arqueologia de Grupos Caçadores-Coletores no Brasil

ARTIGO

A TOCA DA ENTRADA DO BAIXÃO DA VACA: EVIDÊNCIAS DA ADAPTABILIDADE HUMANA ÀS MUDANÇAS HIDROGEOLÓGICAS E CLIMÁTICAS NO BIOMA DA CAATINGA

Leandro Surya*, David Eleutério**, Claudia Caro***, Paulo José Pereira****, Diego Sotomayor*****, Jaciara Andrade Silva*****, Andre Bandeira*****

RESUMO

Este texto aborda as discussões realizadas sobre as transformações hidrogeológicas e climáticas do Parque Nacional da Serra da Capivara e suas repercussões no acervo rupestre, tomando como referência os dados atmosféricos coletados durante o quadriênio 2021-2025 no sítio Toca da Entrada do Baixão da Vaca. Evidenciamos a adaptabilidade dos grupos de caçadores-coletores, pois identificamos a existência de fauna fluvial nos registros rupestres, o que testemunha a reconfiguração do ecossistema e a ocupação dos paleocanais do Desfiladeiro da Capivara. Os dados demonstram que o equilíbrio ecológico vem sendo alterado por processos naturais e antrópicos: degradação do solo, perda da cobertura vegetal e aumento das variações térmicas. Com isso, percebemos a necessidade de políticas integradas de gestão dos recursos hídricos, restauração ecológica e adaptação climática, em prol da conservação do patrimônio rupestre.

Palavras-chave: Arte rupestre; Bioma da Caatinga; Conservação ambiental; Monitorização do patrimônio; Parque Nacional Serra da Capivara.

* Universidade Federal do Vale do São Francisco, Programa de Pós-Graduação em Arqueologia.

E-mail: leandro.surya@univasf.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9342-1071>.

** Universidade Federal do Vale do São Francisco, Programa de Pós-Graduação em Arqueologia.

E-mail: davideleuterio88@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0334-4851>.

*** Universidad Nacional Agraria La Molina. E-mail: claudiacarovera@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8727-1967>.

**** Universidade Federal do Vale do São Francisco, Colegiado de Engenharia de Produção.

E-mail: paulo.pereira@univasf.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4436-8304>.

***** Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento de Engenharia Ambiental.

E-mail: diegosotomayor@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0534-5625>.

**** Universidade Federal do Vale do São Francisco, Programa de Pós-Graduação em Arqueologia.

E-mail: jaciara.andrade@univasf.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2466-9097>.

***** Universidade Federal do Vale do São Francisco, Programa de Pós-Graduação em Arqueologia.

E-mail: ab.andrebandeira@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5806-2536>.

THE TOCA DA ENTRADA DO BAIXÃO DA VACA: EVIDENCE OF HUMAN ADAPTABILITY TO HYDROGEOLOGICAL AND CLIMATIC CHANGES IN THE CAATINGA BIOME

ABSTRACT

We discuss the hydrogeological and climatic transformations of the Serra da Capivara National Park and their repercussions on the rock-art heritage, using atmospheric data collected over the four-year period (2021–2025) at the Toca da Entrada do Baixão da Vaca site as a reference. We highlight the adaptability of hunter-gatherer groups, based on the identification of fluvial fauna in the rock-art records, which provides evidence of the reconfiguration of the ecosystem and the occupation of paleochannels in the Desfiladeiro da Capivara. The data demonstrate that the ecological balance has been altered by natural and anthropogenic processes: soil degradation, loss of vegetation cover, and greater thermal variability. These findings highlight the need for integrated policies for water-resource management, ecological restoration, and climate adaptation to support the conservation of rock-art heritage.

Keywords: Rock art; Caatinga biome; Environmental conservation; Heritage monitoring; Serra da Capivara National Park.

LA TOCA DA ENTRADA DO BAIXÃO DA VACA: EVIDENCIAS DE LA ADAPTABILIDAD HUMANA ANTE LOS CAMBIOS HIDROGEOLÓGICOS Y CLIMÁTICOS EN EL BIOMA DE LA CAATINGA

RESUMEN

Este texto aborda las transformaciones hidrogeológicas y climáticas del Parque Nacional Serra da Capivara y sus repercusiones en la colección rupestre tomando como referencia los datos atmosféricos recopilados durante el cuatrienio (2021-2025) en el sitio Toca da Entrada do Baixão da Vaca. Destaca la adaptabilidad de los grupos de cazadores recolectores, pues se identificó la existencia de fauna fluvial en los registros rupestres, lo cual testimonia la reconfiguración del ecosistema y la ocupación de los paleocauces del Desfiladeiro da Capivara. Los datos demuestran que el equilibrio ecológico ha sido alterado por procesos naturales y antrópicos: degradación del suelo, pérdida de la cobertura vegetal y aumento de las variaciones térmicas. Este escenario revela la necesidad de políticas integradas de gestión de recursos hídricos, restauración ecológica y adaptación climática para la conservación del patrimonio rupestre.

Palabras clave: Arte Rupestre; Bioma de la Caatinga; Conservación ambiental; Monitoreo del patrimonio; Parque Nacional da Capivara.

INTRODUÇÃO

Os grupos de caçadores-coletores que frequentaram o território que hoje corresponde à área do Parque Nacional (Parna) Serra da Capivara, no sudoeste do Piauí, deixaram diversas evidências arqueológicas nos sítios, como fogueiras, enterramentos, ferramentas líticas e registros rupestres, nos quais podemos identificar as relações entre grupos humanos, flora e fauna existentes neste território. Neste artigo, caracterizamos os efeitos das mudanças climáticas locais partindo do pressuposto de Schiffer (1973, 1983), ao considerar os processos de formação e de transformação dos sítios arqueológicos ao longo do tempo para compreendermos o registro arqueológico; isto é, entendemos que a responsabilidade dos profissionais de arqueologia vai além das prospecções, escavações, análises de materiais e consequentes modelagens, envolvendo modos de vida, tecnologias, entre outros aspectos. A responsabilidade está também na manutenção, prevenção e conservação dos sítios arqueológicos em si. Desenvolver protocolos, técnicas e métodos visando mensurar os efeitos das modificações no presente faz parte da busca para perceber os processos de transformação dos sítios arqueológicos: as *N-transforms* e *C-transforms* que Schiffer inferiu referem-se a processos contínuos que não se extinguiram no presente e continuam atuando e alterando os sítios. As mudanças climáticas fazem parte do conjunto de efeitos que afetam diretamente os registros arqueológicos, seja pela diminuição no regime de chuvas (Tomasella *et al.*, 2025), seja pelas alterações na cobertura vegetal e na composição faunística (Vieira *et al.*, 2020).

A Arqueologia Ambiental, definida por Dincauze (2008), tem como objetivo delinear e interpretar a ecologia dos sítios em um sentido mais amplo, preocupando-se com o estudo das relações entre organismos e seus ambientes. Para grupos caçadores-coletores, como adverte Ingold (2000), o ambiente não é percebido como um conjunto de recursos externos ou um espaço objetificado, mas um campo de relações vivenciais. O ambiente engloba, portanto, todas as relações físicas e biológicas que incidem sobre os grupos humanos, bem como as estratégias de adaptação e habitabilidade por eles adotadas (Costa, 2023). Evans (2004) relembra a importância do conhecimento detalhado das transformações ambientais do passado, sem o qual não podemos aspirar a compreender a história e a evolução humana. O paleoclima estabelece os contextos para as ações humanas passadas. O mesmo autor destaca a importância da conexão presente-futuro, em que o estudo do passado, informado pela reconstrução climática, ilumina tanto o agora quanto o porvir, uma vez que as condições pretéritas continuam a moldar o presente. Diante disso, se as condições climáticas atuais estão se transformando, como podemos lidar com as alterações recentes que estão ocorrendo nos sítios arqueológicos e em seus entornos?

De forma propositiva, iremos responder a este questionamento ao traçar um panorama sobre as transformações hídricas e climáticas da região do Parna Serra da Capivara e apresentar os efeitos regionais causados por tais mudanças dos últimos quarenta anos. Localmente, iremos nos ater ao caso do sítio da Toca da Entrada do Baixão da Vaca (TBV), apresentando os resultados obtidos e analisando os dados coletados no último quadriênio (2021-2025), de forma a demonstrar como o microclima regional tem sido impactado pelas mudanças climáticas. O sítio arqueológico TBV é um testemunho singular da relação entre os primeiros grupos humanos e o ambiente da Caatinga. Além de seu valor estético e patrimonial, o sítio contribui na construção de discussões mais amplas sobre a agência do ambiente nas sociedades pré-históricas e sobre os modos humanos de habitar e significar o espaço (Ingold, 2000).

Para a execução do trabalho, a equipe foi composta de maneira transdisciplinar, integrada por investigadores do domínio da Arqueologia, Biologia, Conservação

Patrimonial e Engenharias Ambiental e Meteorológica, a partir do projeto internacional em desenvolvimento pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) e a Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), em cooperação técnica com a Agência Espacial Brasileira (AEB).

ADAPTABILIDADE DOS GRUPOS DE CAÇADORES-COLETORES ÀS MUDANÇAS HIDROGEOLÓGICAS E CLIMÁTICAS NO SUDOESTE DO PIAUÍ

Entre os biomas brasileiros, a Caatinga é o mais recente: trata-se de um mosaico de arbustos espinhosos e florestas sazonalmente secas que cobre a maior parte dos estados do Nordeste e o norte de Minas Gerais (Leal *et al.*, 2005). De acordo com Prado (2003), o número de meses secos aumenta da periferia em direção ao centro da região, ou seja, do litoral ao interior, e algumas localidades experimentam períodos de sete a onze meses de baixa disponibilidade de água para as plantas. Esta condição hídrica é responsável por uma das principais adaptações do bioma: as plantas xerófitas, que transformaram suas folhas em espinhos em busca de uma menor evaporação. Outras plantas, durante a estação seca, perdem as folhas e os troncos esbranquiçados e brilhantes dominam a paisagem (Prado, 2003).

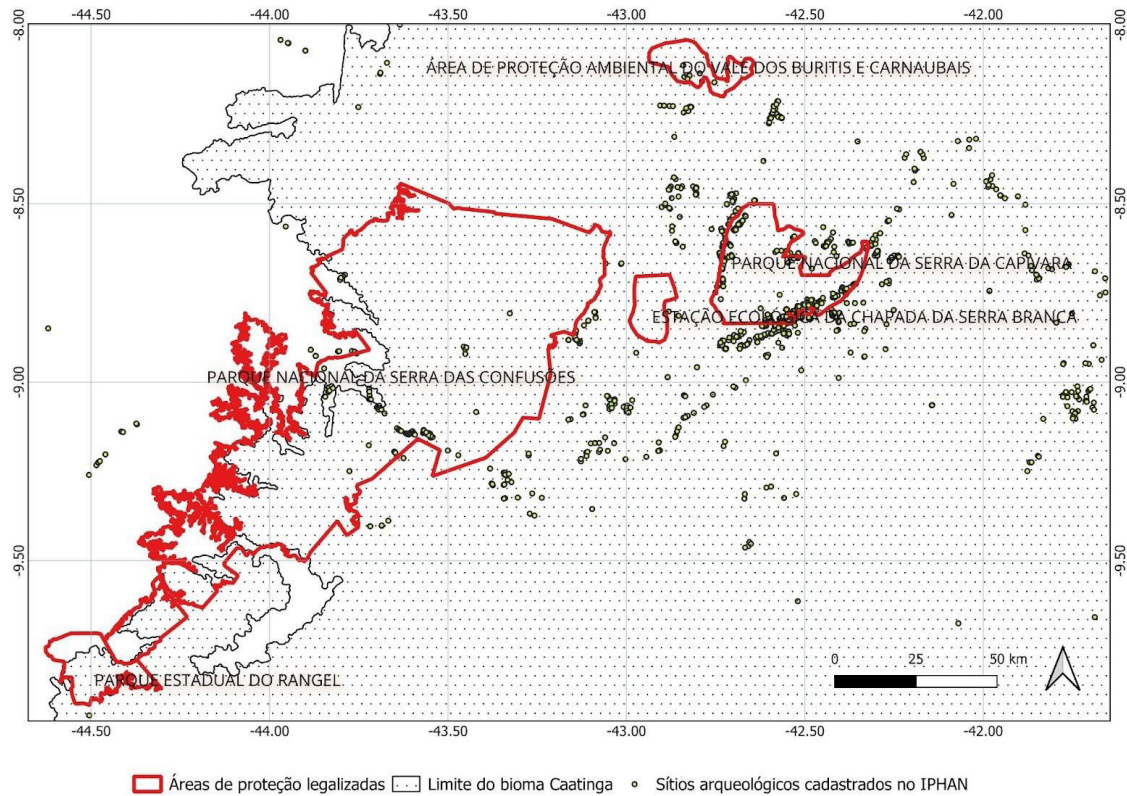
No Piauí, o cenário é semelhante, mas tal percepção pode se equivocar devido às áreas protegidas do Parque Nacional Serra das Confusões, do Parque Nacional Serra da Capivara, da Estação Ecológica da Chapada da Serra Branca, do Parque Estadual do Rangel e da Área de Proteção Ambiental do Vale dos Buritis e Carnaubais, que juntas formam o “Corredor Ecológico”; portanto, é de se considerar que seriam territórios com menor propensão ao impacto das mudanças climáticas, uma vez que são salvaguardados de ações antrópicas. Afinal, somando-se às áreas, temos mais de um milhão de hectares sem efeitos diretos de agroindústrias ou qualquer tipo de fábrica e atividade que degrade os serviços ecossistêmicos locais. Isto posto, será que podemos conduzir nosso raciocínio por este caminho? Observemos a Figura 1, em que estão representadas as áreas legalmente protegidas nos níveis federal e estadual, bem como os limites do bioma Caatinga e os sítios arqueológicos cadastrados no Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan).

O Parna Serra da Capivara foi a primeira área de proteção ambiental da região e foi criada no ano de 1979, em boa parte como fruto da sensibilização do Estado brasileiro em relação aos resultados das pesquisas de Guidon (1979) e da grande concentração de sítios arqueológicos no território. No ano de 1991, a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) concedeu ao parque o título de patrimônio cultural da humanidade e, em 1993, ocorreu o tombamento do local pelo Iphan, reconhecendo a importância do conjunto de sítios e do patrimônio rupestre. Hoje, o Parna tem estrutura para visitação turística, incluindo a musealização dos espaços e a manutenção das estradas, além da estrutura para a pesquisa acadêmica por meio do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Muitos artigos envolvem a temática de ocupações mais antigas, dos quais se destacam os trabalhos de Boëda *et al.* (2016), Lourdeau (2019), Villagran *et al.* (2021).

Até hoje, sua gestão envolve, além do ICMBio, a Fundação Museu do Homem Americano (FUMDHAM). Durante o final da década de 1980, as comunidades que ocupavam a área demarcada do Parna foram removidas, e o acesso passou a ser controlado por guaritas sob constante vigilância. Essa ação visou à preservação do patrimônio arqueológico identificado. Podemos ver, na Figura 2, o croqui da transição do uso e cobertura do solo na área da Serra da Capivara e seu entorno entre os anos de 1985 e 2024. A cor verde caracteriza as transições de classes de pastagem, agricultura

ou de áreas não vegetadas para cobertura florestal ou áreas naturais não florestais, perfazendo um total de 24,5%; a cor vermelha representa as conversões de áreas de cobertura florestal ou áreas naturais não florestais para pastagem, agricultura ou áreas não vegetadas, o que se traduz em 72,1%; os restantes 3,3% englobam relações de ampliação e redução de água em superfície.

Figura 1. Conjunto de áreas protegidas: (a) Parna Serra das Confusões; (b) Parna Serra da Capivara; (c) Estação Ecológica da Chapada da Serra Branca; (d) Parque Estadual do Rangel e (e) Área de Proteção Ambiental do Vale dos Buritis e Carnaubais.



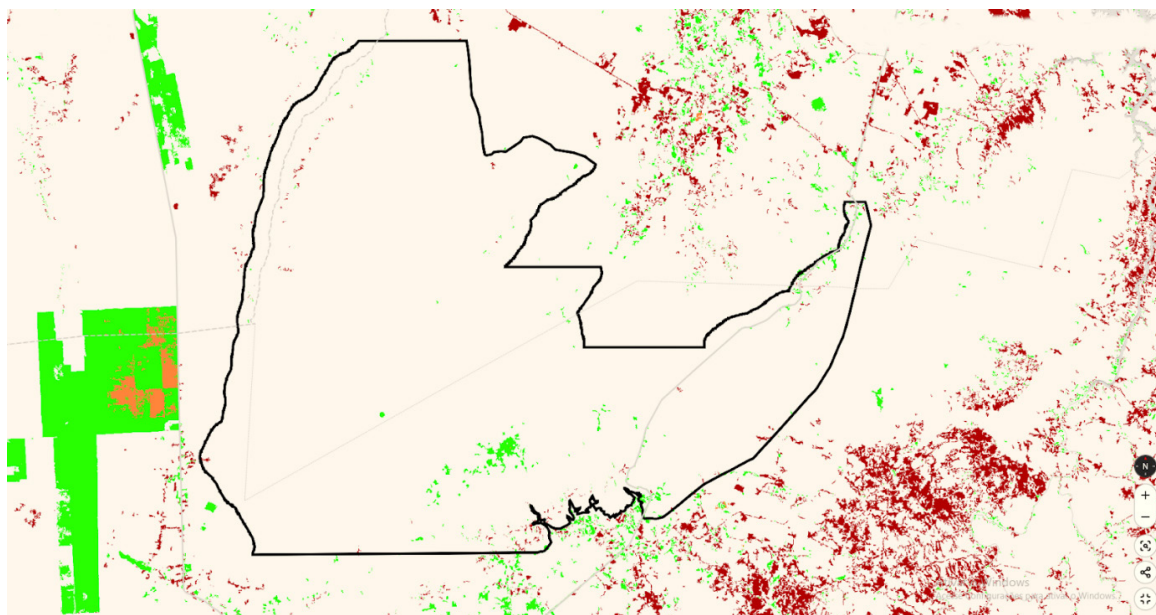
Fonte: Os autores, baseado no MapBiomas (2026), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2026) e Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Piauí, 2025a, 2025b).

É justamente na área central do Parna, onde se observam os espaços outrora ocupados pela comunidade anteriormente residente, que a formação florestal de Caatinga recuperou a área anteriormente degradada, como se pôde observar ao longo dos quase quarenta anos de observação. Não se trata aqui de uma crítica à comunidade, mas de uma análise estritamente ambiental. No entanto, ao observarmos a recomposição dos espaços ocupados pela comunidade nas áreas de entorno do Parna, é notório o crescimento vertiginoso da degradação da cobertura florestal, verificando-se a sistemática substituição por áreas de pastagens e pelas atividades agrícolas.

No contexto regional, a cobertura vegetal, tanto referente ao nível da estrutura física e do porte das plantas quanto à densidade, está condicionada à influência direta do clima, das condições geo-hidrológicas e do relevo. A Figura 3 consolida as transições das coberturas vegetais na área do Parna Serra da Capivara, com cada tipo apresentado individualmente. Nos atendo à formação dos tipos Florestal – que se caracteriza no bioma

nacional da Caatinga pelo predomínio de vegetação com dossel contínuo –, Savana-Estépica Florestada, Floresta Estacional Semidecidual e Decidual (*Food and Agriculture Organization* [FAO], 2012), podemos observar, na Figura 3a, o acentuado decréscimo ocorrido, salvo alguns picos na década de 1990, que coincidiu com momentos de emancipação de alguns municípios do entorno.

Figura 2. Croqui da transição do uso e cobertura do solo na área do Parna Serra da Capivara e seu entorno entre os anos de 1985 e 2024. A cor verde indica as áreas de ganho de vegetação nativa, e a cor vermelha, as áreas com alterações na vegetação nativa.

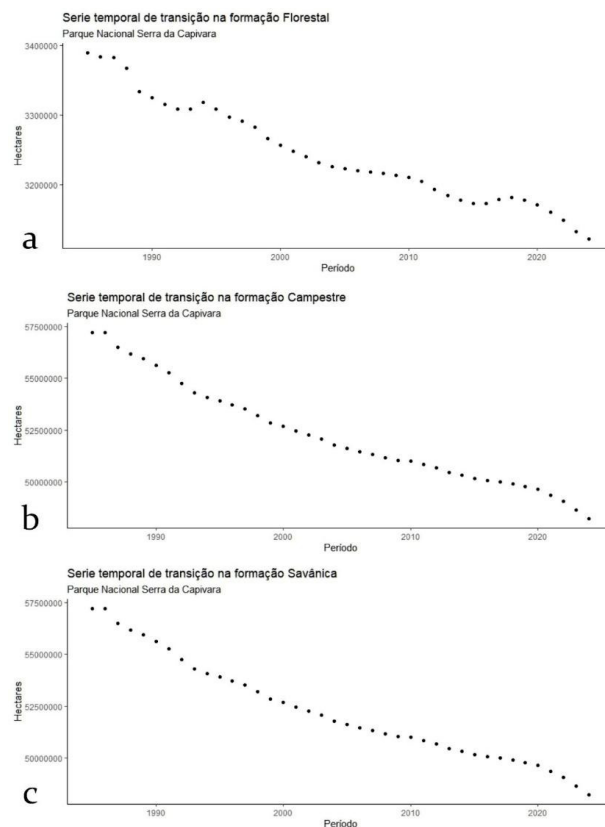


Fonte: Os autores, com base no MapBiomias (2025).

No que tange à formação Campestre no bioma, esta se caracteriza pelo predomínio de espécies herbáceas e se distingue entre Savana-Estépica Parque, Savana-Estépica Gramíneo-Lenhosa, Savana Parque e Savana Gramíneo-Lenhosa (FAO, 2012). Ao observarmos a Figura 3b, podemos constatar, igualmente, a diminuição regional desse tipo de cobertura vegetal.

Por último, a formação Savânica, que se caracteriza por tipos de vegetação com predomínio de espécies de dossel semicontínuo: a Savana-Estépica Arborizada e a Savana Arborizada representam uma transição entre as formações Florestal e Campestre (FAO, 2012). Nesse tipo de cobertura, a densidade de árvores é menor do que na formação Florestal e o dossel é descontínuo. Verificamos agora, na Figura 3c, a diminuição desse tipo de cobertura vegetal na área de estudo. Isto posto, fica evidente que, apesar da existência de um “Corredor Ecológico” e de diversas áreas legalmente protegidas no entorno, o Parna Serra da Capivara vem sofrendo impactos no uso e na cobertura do solo.

A paisagem do sudoeste do Piauí, onde se insere o Parna Serra da Capivara, constitui um laboratório natural para o estudo das interações entre processos geomorfológicos e climáticos e suas implicações na ocupação humana ao longo do Quaternário (Lourdeau, 2019). A região situa-se na zona de transição entre as bacias hidrográficas do Parnaíba, ao norte, e do São Francisco, ao sul, refletindo uma complexa história de evolução paleo-hidrológica controlada por fatores tectônicos, climáticos e litológicos (Oliveira, 2023).

Figura 3. Séries temporais da transição da cobertura vegetal na área do Parna Serra da Capivara.

Fonte: Os autores (2025).

As variações climáticas que caracterizaram o Quaternário, que altera entre fases úmidas e áridas, promoveram significativas modificações na dinâmica de drenagem e nos padrões de erosão e sedimentação (Campelo, 2010). Durante os períodos úmidos, cursos fluviais mais ativos modelaram vales e planícies aluviais; já nos períodos secos, a retração das drenagens e a intensificação do processo de aridização favoreceram o entalhe de cânions nos arenitos da Formação Serra Grande (Oliveira, 2023).

Nesse contexto, o Parna Serra da Capivara preserva evidências excepcionais de ocupação humana associadas a diferentes fases ambientais (Chaves, 2002). A distribuição dos sítios arqueológicos, o uso dos abrigos rochosos e a presença de paleossolos e depósitos coluviais indicam uma estreita relação entre as dinâmicas naturais e as estratégias adaptativas dos grupos humanos (Boëda *et al.*, 2016). Assim, a compreensão da evolução paleoambiental e a reorganização hidrográfica regional são essenciais para a interpretação da gênese da paisagem atual e dos condicionantes ambientais da ocupação humana no semiárido piauiense.

O regime hidrográfico atual é predominantemente intermitente, com cursos fluviais de pequena extensão e drenagem controlada pela litologia arenítica e pelos fraturamentos (Tomasella *et al.*, 2018). Entretanto, a presença de depósitos fluviais pleistocênicos e paleocanais indica que, em condições paleoclimáticas mais úmidas, existiram sistemas de maior porte e conectividade, responsáveis pela escultura dos vales que hoje são secos (Oliveira, 2023). Essas oscilações controlaram tanto o comportamento hidrológico quanto o desenvolvimento dos solos e das diferentes tipologias de cobertura vegetal, impactando diretamente as condições de habitabilidade. Durante as fases úmidas, o aumento da disponibilidade hídrica e a expansão de formações Savânicas e Florestadas

teriam favorecido a presença humana e a mobilidade entre os vales (Souza *et al.*, 2023). Em contrapartida, os períodos áridos levaram à retração dos recursos e à concentração das ocupações em áreas de abrigo e microambientes protegidos.

REGISTROS SOBRE PEDRA: O CASO DA TOCA DA ENTRADA DO BAIXÃO DA VACA

A interação entre os processos hidrogeológicos e as atividades humanas é evidente na Serra da Capivara (Guérin *et al.*, 2002). Os abrigos areníticos, produtos da erosão diferencial e do fraturamento tectônico, forneceram condições ideais para a preservação dos registros arqueológicos e do acervo gráfico e pictórico rupestre (Duarte Cavalcante *et al.*, 2008; Lage, 1999; Lage; Guidon; Borges, 2007; Lage *et al.*, 2002). A localização estratégica desses abrigos na proximidade de paleocanais e fontes intermitentes, como é o caso da Toca da Entrada do Baixão da Vaca, reflete uma escolha ambiental associada à obtenção de matérias-primas e à disponibilidade de água, caça e recoleção.

A Figura 4 apresenta os conjuntos de cânions que compõem o Desfiladeiro da Capivara. Conforme ilustrado, a drenagem ocorre apenas durante eventos de chuva, quando há escoamento pelos vales. Contudo, nos últimos anos, não se observa a presença natural de água nos meses mais secos na área do parque.

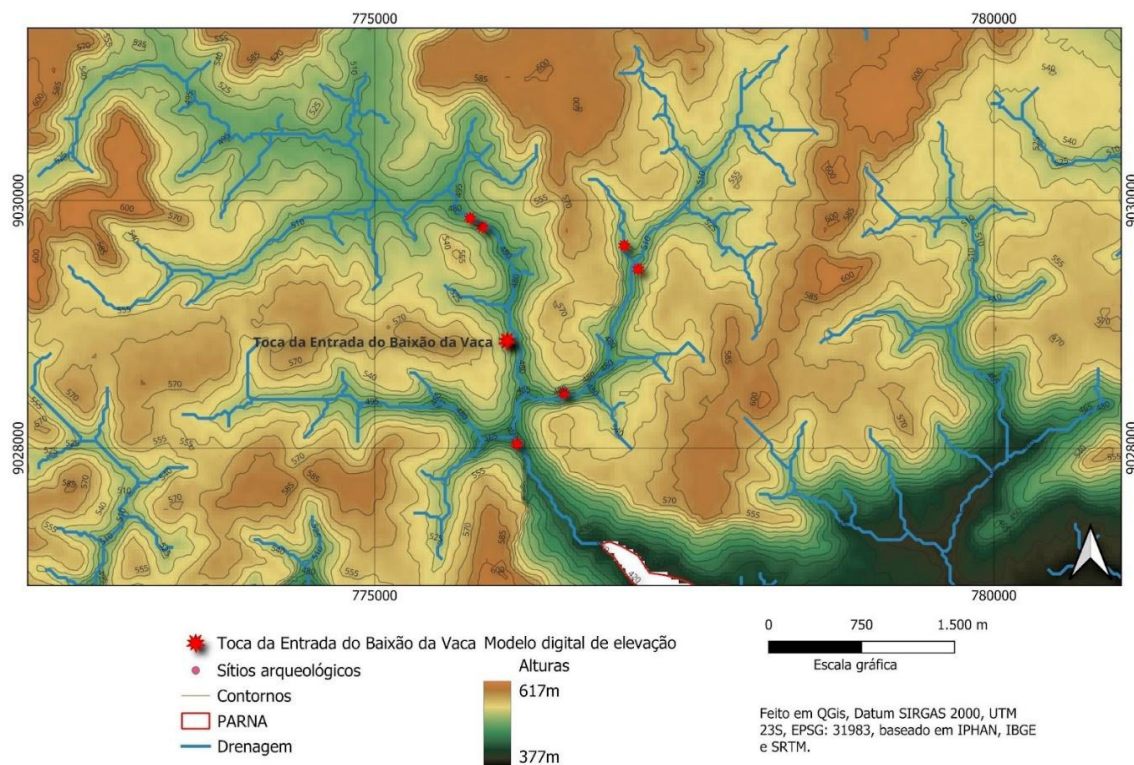
De fato, as pesquisas arqueológicas, conduzidas no Parna Serra da Capivara desde a década de 1970, registram uma sequência de ocupação contínua, evidenciada por artefatos líticos, remanescentes osteológicos, estruturas de combustão e um vasto e heterogêneo acervo gráfico e pictórico rupestre (Guidon *et al.*, 2002; Guidon; Buco; Ignácio, 2007). Dentro desse conjunto e contexto sobre o qual nos atemos neste artigo, o Desfiladeiro da Capivara reúne um considerável número de sítios arqueológicos que estão sujeitos à contínua ação de agentes naturais e antrópicos (Lima; Santos; Linke, 2020).

Em função desse apontamento, em 2017, iniciamos a recolha e o tratamento de dados meteorológicos em quatro sítios arqueológicos: Toca do Paraguaio, Toca do Barro, Toca da Entrada do Pajaú e Toca do Pajaú (Surya; Magalhães; Macêdo, 2019). Desde então, mais três sítios arqueológicos do braço adjacente do Desfiladeiro encontram-se em monitoramento contínuo, sendo eles: Toca da Entrada do Baixão da Vaca, Toca do Deitado e Toca das Eminhas Azuis. No que diz respeito ao acervo gráfico e pictórico, os sete sítios pertencem à tradição Agreste e Nordeste, dispostos sob formações areníticas finas e conglomeradas, apresentam temáticas antropomórficas, geométricas e zoomórficas, as quais estão distribuídas pelas paredes e tetos dos abrigos, a partir de pigmentos de tons amarelados e avermelhados, cujos suportes não foram preparados previamente (Cisneiros; Tavares; Costa, 2022; Pessis; Cisneiros; Mutzenberg, 2018).

Os primeiros registros dos sítios do Desfiladeiro da Capivara foram apontados por Guidon (1975), no âmbito do seu doutoramento. Ao longo dos anos e a partir da observação dos registros, são perceptíveis as alterações sofridas nesses sítios, ainda que existam intervenções pontuais de consolidação e restauro. Apontando especificamente o sítio da Toca da Entrada do Baixão da Vaca, a arqueóloga (Guidon, 1975) diz que existiam um total de 749 figuras, muito embora, embora parte desse quantitativo possa ter desaparecido pela ação do tempo ou devido à colonização por vespas.

Desde a publicação desse primeiro levantamento do patrimônio rupestre do Desfiladeiro da Capivara, o estado de conservação do acervo rupestre continua a sofrer com agravantes de ação natural e antrópica; são eles: a cristalização de sais, o deslocamento, a deposição de sedimentos, a erosão eólica, a percolação da água pluvial, a insolação, as marcas de fuligem, a oxidação, o verniz desértico, a ação de cupins e vespas, as colmeias de abelhas e marimbondos, os fungos e outros animais (Macedo; Barbosa; Felice, 2019), bem como o próprio processo de musealização, que impacta as áreas dos sítios arqueológicos e o seu entorno.

Figura 4. Desfiladeiro da Capivara com a identificação dos sítios arqueológicos sob monitoramento contínuo e a localização da Toca da Entrada do Baixão da Vaca.



Fonte: Os autores (2025).

Nos atendo ao repertório pictórico do sítio TBV, identificamos a existência outrora de fauna fluvial, de registros rupestres que testemunham a reconfiguração do ecossistema do Desfiladeiro da Capivara e, de forma particular, da zona de drenagem do *front de cuesta* (Boëda, 2016). Tais registros gráficos podem ser associados à Tradição Nordeste, que apresenta ocupações humanas em torno de 15 mil B.P., momento que coincide com maior umidade relativa, quando os vales possuíam drenagem ativa e solos mais desenvolvidos (Pessis; Cisneiros; Mutzenberg, 2018). Já os níveis mais recentes, associados aos Holoceno médio e tardio, evidenciam adaptações a um ambiente progressivamente mais seco e quente, caracterizado por processos de desertificação incipiente e reorganização superficial.

Nos painéis, é possível observar a representação de peixes, o que atesta as transformações ocorridas na fauna do sudeste piauiense (Chaves, 2002). Esses registros, efetuados sobre pedra, reinterpretados à luz dos dados recentes baseados no sensoriamento remoto (Surya; Carréra; Floquet, 2018) e na análise de elementos climáticos (Surya; Magalhães; Macêdo, 2019), tornam patentes as alterações em curso no bioma nacional da Caatinga, evidenciando a aceleração do processo de degradação das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo e as alterações da cobertura vegetal, ocasionada pelo desequilíbrio pluviométrico das últimas décadas (Mirzabaev *et al.*, 2022). Na Figura 5, vemos um panorama do sítio arqueológico em estudo, com destaque para o cânion (5a), que apresenta um contraste entre o microclima mais frio e úmido e o da chapada, que é mais quente e seco, sendo marcante a diferença de coloração das vegetações. Na porção direita da Figura 5b, vemos peixes ou representações pictóricas que remetem a momentos hídricos passados e jogam luz às mudanças climáticas pretéritas e atuais.

Figura 5. Fotografias do sítio arqueológico da Toca da Entrada do Baixão da Vaca com pormenor do registro pictórico da fauna fluvial.



Fonte: Os autores (2025).

METODOLOGIA

A fim de compreender os efeitos da ação dos elementos climáticos no sítio da Toca da Entrada do Baixão da Vaca, escolhemos o monitoramento de dados atmosféricos, em particular, da temperatura e da umidade relativa do ar, que foram coletados a partir da instalação de um *datalogger* no sítio. A metodologia adotada pode ser subdividida em dois passos principais: atividades de campo, para instalação e coleta iniciais de dados posteriores, e análise de laboratório.

Ao ser feita a instalação do equipamento no sítio, optamos pelo posicionamento na parte inferior do alambrado, de forma a não incidir sobre o aparelho a luz solar. O *datalogger* utilizado foi da marca Akso AK172, um instrumento digital automático responsável por medir e armazenar dados. Foram mensurados a temperatura em graus Celsius e a umidade relativa do ar, que, diferente da umidade absoluta, representa a porcentagem de vapor de água em determinada temperatura do ambiente. A cada hora, o *datalogger* grava uma leitura, sendo 24 registros por dia e cerca de 8.760 registros por ano. Os arquivos gerados foram extraídos via cabo USB e descarregados em um notebook no formato *.csv*. Os arquivos foram posteriormente organizados em planilhas eletrônicas. Nesses dados, foram aplicados os testes de análise de *outliers*, em busca de erros do tipo *spikes*, que nada mais são que picos repentinos causados por interferências eletromagnéticas ou falhas momentâneas no circuito. Esse tipo de erro é comum em sensores NTC como o Akso AK172. Realizou-se os testes *Z-Score*, que calcula em quantos desvios padrão um dado está longe da média, e de Intervalo Interquartil (IQR), que é um pouco mais robusto. Não foram identificados erros em nenhum dos testes, o que os torna aptos ao uso nesta pesquisa.

Na análise laboratorial, o conjunto de atividades englobaram o preparo dos dados para o uso no software RStudio. Para a análise e tratamento dos dados, desenvolvemos um script em linguagem R¹.

¹ Para garantir a reprodutibilidade, todos os códigos utilizados neste estudo estão disponíveis no repositório do GitHub – Laboratório de Arqueologia e Geociências (LAG): <https://github.com/lag-laboratorio/adaptabilidade-humana-as-transformacoes-hidrogeologicas-e-climaticas>.

A linguagem R é uma linguagem e um ambiente próprio para computação estatística, manipulação de dados, cálculos e gráficos (Beasley, 2004). Um script, por sua vez, é um conjunto de comandos executados sequencialmente para processamento de dados, voltado para a criação de rotinas de execução corriqueiras (macros) e para a integração entre aplicações, isto é, em situações em que a saída de uma aplicação serve de entrada para outra (Bazilio, 2018). O script recebeu os dados brutos e os processou, resultando em uma tabela com os valores mínimos, médios e máximos de temperatura e umidade relativa do ar mensal e anual, além de calcular as amplitudes dos dados. O script também gerou dois gráficos com as séries temporais observadas.

O teste estatístico de tendência de Mann-Kendall e Pettitt também foi realizado em R. Este teste é não paramétrico, sendo usado para avaliar a presença de uma tendência monotônica na série temporal coletada no sítio. Foi desenvolvido por H.H. Mann, em 1945, e posteriormente refinado por Maurice G. Kendall, em 1955. O teste é particularmente útil para detectar tendências em dados em que a distribuição subjacente é desconhecida ou não necessariamente gaussiana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A continuidade das pesquisas arqueológicas interinstitucionais e transdisciplinares – incluindo datações absolutas, análises dos pigmentos e levantamentos tridimensionais – é essencial para aprofundar a compreensão sobre a cronologia, as transformações dos ecossistemas e os significados culturais das manifestações rupestres do sítio Toca da Entrada do Baixão da Vaca e de todo o conjunto gráfico e pictórico do Parque Nacional da Serra da Capivara.

Na Tabela 1, de forma sintetizada, temos os valores observados, são eles: número de amostra e data, temperatura e umidade relativa do ar mínimas, médias e máximas, amplitude de temperatura e umidade. Os valores de amplitude de temperatura são de, no mínimo, 9,8 °C, e máximo de 20,8 °C. Para a umidade relativa do ar, o valor mínimo é de 28,8% e máximo de 71,5%, que podem ser considerados muito altos a partir do conceito de intemperismo físico atrelado à variação da dilatação dos minerais produzida por processos naturais de aquecimento e resfriamento das rochas. Esse fenômeno é resultado da interação complexa entre diversos agentes externos, tais como água, vento, variações de temperatura e atividades biológicas, incluindo organismos vivos (Buol *et al.*, 2011). O intemperismo físico promove a desagregação mecânica de partículas, tendo como um dos seus vetores principais a variação de temperatura, que atua no processo de fragmentação e desagregação da rocha, em que não há alterações mineralógicas (Bloom, 1996; Buol *et al.*, 2011).

Se considerarmos os meses de agosto e setembro como os mais secos (Steinke, 2012), os valores de amplitude da umidade relativa do ar são de: 50,8% para 2021, 54,7% para 2022, 52,6% para 2023, 49% para 2024 e 39% para 2025. De forma semelhante à temperatura, podemos considerá-la uma variação muito alta. Ainda que autores como Cavalcanti *et al.* (2009) e Cavalcanti e Ferreira (2021) destaquem uma acentuada variabilidade interanual na precipitação, com anos extremamente secos e outros extremamente chuvosos, as variações que podem impactar o sítio arqueológico estão registradas.

Tabela 1. Valores observados entre 2021 e 2025 no sítio Toca da Entrada do Baixão da Vaca.

Amostra	Data	Temperatura mínima	Temperatura média	Temperatura máxima	Umidade mínima	Umidade média	Umidade máxima	Amplitude de temperatura	Amplitude de umidade
1	2021-09	20,4	28,4	33,7	17,8	44,0	68,6	13,3	50,8
2	2021-10	22,5	28,6	34,4	21,8	52,1	93,3	11,9	71,5
3	2021-11	22,2	26,6	32	43,5	71,3	95	9,8	51,5
4	2021-12	20,8	25,9	32,4	50,5	78,6	94,5	11,6	44
5	2022-01	21,7	26,7	34,2	54,2	77,6	93,9	12,5	39,7
6	2022-02	21,4	26,8	35,9	50,7	76,4	93,6	14,5	42,9
7	2022-03	20,5	27	36,3	51,4	76,1	94,1	15,8	42,7
8	2022-04	21,8	27,9	38,4	43,8	70,2	89,9	16,6	46,1
9	2022-05	19,7	28	38	39,2	64,2	85,6	18,3	46,4
10	2022-06	18,8	27,3	36,5	41,2	60,1	86,4	17,7	45,2
11	2022-07	20,6	27,1	35,5	37,6	57,0	80,1	14,9	42,5
12	2022-08	17,3	27,9	38,1	25,6	51,7	80,3	20,8	54,7
13	2022-09	20,5	29,5	38,6	28,8	48,9	82	18,1	53,2
14	2022-10	24	30,7	40,4	28,6	49,3	88,2	16,4	59,6
15	2022-11	21,1	27	36,9	42,4	74,0	93,4	15,8	51
16	2022-12	21	26,6	34,3	50,7	74,4	90,2	13,3	39,5
17	2023-05	23	28	33,4	47,1	59,8	75,9	10,4	28,8
18	2023-06	20,5	27,5	35	42,4	60,8	83,1	14,5	40,7
19	2023-07	20,4	28	37,5	33,1	52,6	79,2	17,1	46,1
20	2023-08	22,4	29,3	39,1	29,9	51,0	82,5	16,7	52,6
21	2023-09	21,5	30,3	41,2	29	47,8	73,6	19,7	44,6
22	2023-10	22,1	32	40,4	22,3	43,0	66,5	18,3	44,2
23	2023-11	21,2	30,4	38	24,4	55,6	85,2	16,8	60,8

continua...

Tabela 1. Continuação

Amostra	Data	Temperatura mínima	Temperatura média	Temperatura máxima	Umidade mínima	Umidade média	Umidade máxima	Amplitude de temperatura	Amplitude de umidade
24	2023-12	22	30,8	39,4	32,7	55,2	85,5	17,4	52,8
25	2024-01	23,3	28,3	37,6	40,4	72,4	90,6	14,3	50,2
26	2024-02	21,4	27,7	36,6	47,5	73,7	91,2	15,2	43,7
27	2024-03	22,5	28,7	39,3	46	72,4	93,6	16,8	47,6
28	2024-04	22,4	28,2	37,8	46,8	74,1	93,6	15,4	46,8
29	2024-05	21,2	29	39,3	38	60,2	83,6	18,1	45,6
30	2024-06	21,4	28,2	36,8	34,5	56,9	83,7	15,4	49,2
31	2024-07	19,6	27,6	35,5	33,5	53,6	88,7	15,9	55,2
32	2024-08	21,4	28,6	39,8	29,1	49,1	78,1	18,4	49
33	2024-09	22,3	29,8	39	29,3	45,2	70,9	16,7	41,6
34	2024-10	22,5	31,4	39,7	19,9	46,4	84,5	17,2	64,6
35	2024-11	22,8	29,9	38,9	36,8	58,9	89,9	16,1	53,1
36	2024-12	22,4	29,8	36,7	29,6	58,4	84,4	14,3	54,8
37	2025-01	22,2	27,2	37,1	39,9	75,5	93	14,9	53,1
38	2025-02	22,8	28,7	37,1	41,3	63,9	85,6	14,3	44,3
39	2025-03	23,4	29,6	38,2	34,7	60,6	89	14,8	54,3
40	2025-04	22,2	29,7	38,8	32	61,0	89,5	16,6	57,5
41	2025-05	21,4	29,3	37,8	35,6	56,0	81,1	16,4	45,5
42	2025-06	22	28,3	37,6	31,8	54,3	78,5	15,6	46,7
43	2025-07	18,8	27,9	38,7	26,2	51,4	78,2	19,9	52
44	2025-08	21,5	27,8	37,5	32,5	50,8	71,5	16	39

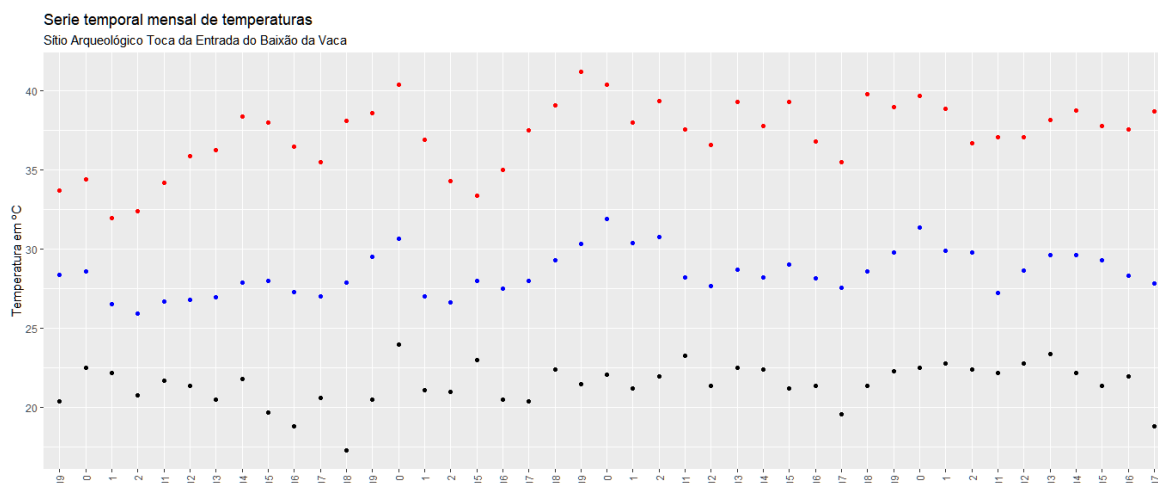
Fonte: Os autores (2025).

As séries temporais de temperatura e umidade relativa do ar estão apresentadas nas Figuras 6 e 7, respectivamente. Os dados coletados revelam uma relação inversa, em que temperaturas médias mais altas correspondem a umidades médias mais baixas e vice-versa. Nos meses mais quentes, a umidade tende a cair; nos mais frios, a umidade aumenta. Essa relação inversa explica-se principalmente pela forma como a temperatura afeta a capacidade do ar de reter vapor d'água. Conforme o que diz Mendonça (2005), mudanças climáticas de menor intensidade estariam relacionadas a temperaturas associadas à alteração da umidade, o que corrobora os padrões observados. Em termos de conservação das rochas, esse processo de degradação provocado pela variação térmica na superfície das massas rochosas é denominado de termoclastia (Borges *et al.*, 2016); segundo os autores:

o fenômeno de aquecimento/dilatação, resfriamento/contração repete-se diuturnamente e após milhares de ciclos a resistência do material rochoso fica comprometida, aparecendo as fissuras e esfoliações. A esfoliação gerada pela variação de temperatura põe em risco a conservação das inscrições na medida em que a descamação da rocha compromete o relevo das inscrições (Borges *et al.*, 2016, p. 173).

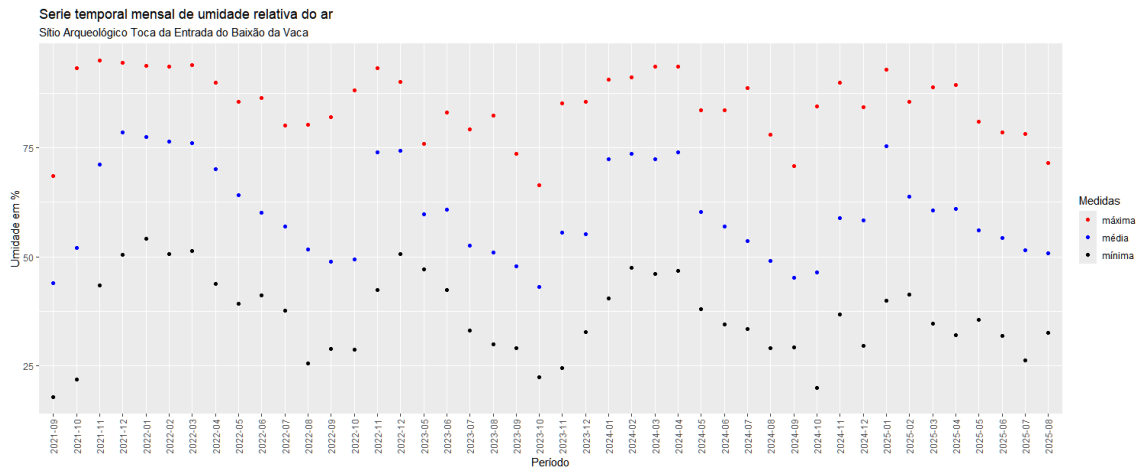
Os resultados desta investigação consolidam a compreensão de que as variações nos parâmetros termo-higrométricos – especificamente os ciclos de expansão/ contração e a aceleração de reações químicas impulsionadas pela temperatura e umidade relativa – estabelecem um risco estrutural e material aos sítios e às evidências arqueológicas. Fica claro, portanto, que o potencial destrutivo desses fenômenos climáticos deve ser o ponto de partida para qualquer plano de conservação preventiva.

Figura 6. Dados de temperatura no sítio TBV.

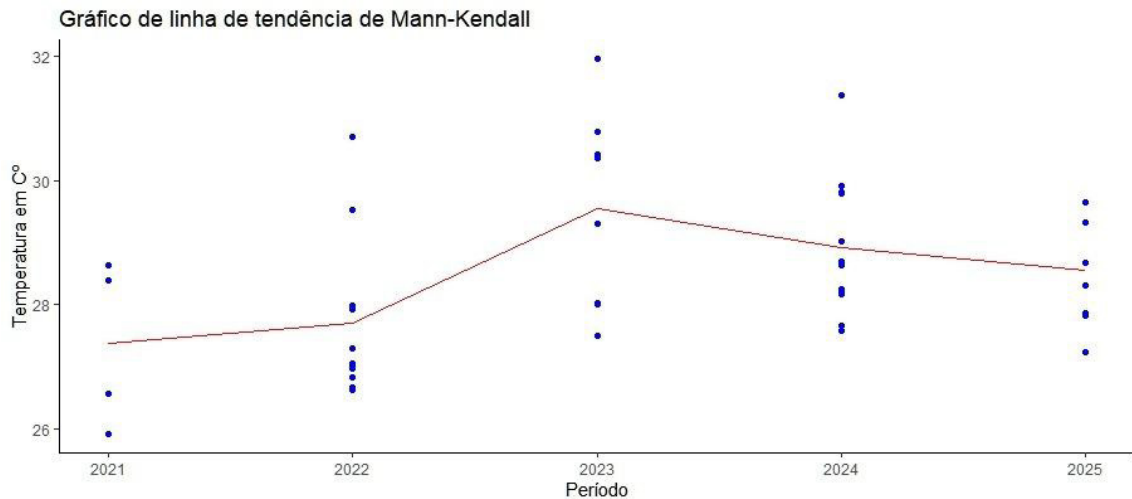


Fonte: Os autores (2025).

Com a aplicação dos testes estatísticos de Mann-Kendall e Pettitt (Figura 8), ambos não paramétricos – em que o primeiro objetiva detectar tendências monotônicas em dados de séries temporais e o segundo testa os pontos de mudança em séries temporais –, verifica-se, de forma estatisticamente significativa a 5% que, no decurso do período, o Parna registrou um gradual aumento da temperatura média anual.

Figura 7. Dados de umidade relativa do ar no sítio TBV.

Fonte: Os autores (2025).

Figura 8. Dados de umidade relativa do ar no sítio TBV.

Fonte: Os autores (2025).

A linha sobe e desce, apresentando o aumento e a diminuição da temperatura e resultando em grandes amplitudes diárias, o que significa uma tendência a ações do intemperismo físico nos afloramentos rochosos do sítio.

Os resultados indicam a necessidade de políticas integradas que considerem a relação entre gestão dos recursos hídricos, restauração ecológica, adaptação climática e conservação do patrimônio arqueológico. O fortalecimento das iniciativas de preservação na Caatinga é essencial, não apenas para a manutenção do bioma nacional, mas também para assegurar a conservação do acervo gráfico e pictórico rupestre a longo prazo.

Entre as possíveis medidas mitigatórias, podemos assinalar o uso de dados climáticos, como temperatura e umidade, prioritariamente em projetos de monitoramento longos, pois, quanto maiores as séries temporais, mais precisas serão as análises. É possível distinguir as áreas de maior vulnerabilidade de outras áreas equilibradas em termos da avaliação das amplitudes térmicas e de umidade mensal e/ou anual. Ao longo do tempo, também é possível identificar períodos de maior risco de eventos do clima, como estações de calor extremo ou de baixa umidade relativa do ar.

Não podemos deixar de entender o sítio em um contexto ecológico; portanto, a vegetação do entorno, os insetos e demais animais nativos são como termômetros das transformações. Infestações de carrapatos, cupins, formigas podem ser relacionadas às modificações sutis do clima, que apenas um quadro bem construído de monitoramento poderia ser capaz de registrar. Medidas preventivas poderão ser tomadas a partir de dados robustos e de certa previsibilidade no comportamento dos fenômenos associados ao clima.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise integrada dos elementos geomorfológicos, paleo-hidrológicos e arqueológicos do sudoeste do Piauí nos revela que a paisagem atual é produto de uma longa história de adaptabilidades ambientais ocorridas ao longo do Quaternário (Santos, 2007). A alternância climática entre fases úmidas e áridas somada à reativação estrutural e à erosão seletiva dos arenitos controlou a morfogênese regional e criou condições favoráveis à ocupação humana durante diferentes momentos históricos. Hoje, a diminuição das chuvas, a intensificação da evapotranspiração e a redução dos fluxos subterrâneos de água têm modificado a dinâmica hídrica local, afetando diretamente a umidade do solo, a vegetação e a temperatura superficial. Tais alterações comprometem tanto a biodiversidade endêmica da Caatinga, quanto o microclima que contribui para a conservação do patrimônio rupestre.

Isto posto, a compreensão dessas relações entre bacias hidrográficas, cobertura vegetal e dinâmica climática amplia o conhecimento sobre a evolução do semiárido piauiense, além de reforçar a importância do Parque Nacional da Serra da Capivara como patrimônio natural e arqueológico de relevância global, ao articular as transformações ambientais e a trajetória adaptativa das populações humanas ao longo do tempo.

O território do sudoeste piauiense testemunha a interação milenar entre os diferentes grupos humanos e o ambiente semiárido, revelando como antigas populações ajustaram seus modos de vida diante de mudanças climáticas, variações de fauna e flora e transformações hidrogeológicas (Prochoroff; Brilha, 2017). O Parque Nacional da Serra da Capivara é, ao mesmo tempo, uma área protegida com elevada concentração de sítios arqueológicos e um testemunho da resiliência humana, mas um testemunho da resiliência humana diante das transformações ambientais, que conecta passado, presente e futuro, mostrando que a sobrevivência e a adaptabilidade das populações humanas sempre dependeram da relação equilibrada com o meio ambiente (Holtorf, 2023). Proteger o acervo gráfico e pictórico da Toca da Entrada do Baixão da Vaca significa preservar o *registro sobre pedra* das transformações ecossistêmicas, que testemunham a adaptabilidade e a resiliência dos grupos de caçadores-coletores e o papel que desempenharam no Antropoceno; testemunho ancestral que é relido em uma fase histórica em que conservar o patrimônio natural e cultural tornou-se uma responsabilidade global (Hollesen, 2022). Nesse sentido, nós, os profissionais da arqueologia, devemos considerar este tipo de estudo entre nosso *hall* de habilidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAZILIO, Carlos. *Linguagens de Script*. Disponível em: <https://www.kufunda.net/publicdocs/LinguagensScript.pdf>. Acesso em: 29 agosto. 2026.
- BEASLEY, Colin R. Bioestatística usando R: *apostila de exemplos para o biólogo*. Bragança: UFPA, 2004. Disponível em: <https://cran.r-project.org/doc/contrib/Beasley-BioestatisticaUsandoR.pdf>. Acesso em: 18 set. 2018.
- BLOOM, Arthur L. *Superfície da Terra*. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

- BOËDA, Eric *et al.* New Data on a Pleistocene Archaeological Sequence in South America: Toca do Sítio do Meio, Piauí, Brazil. *PaleoAmerica*, v. 2, n. 4, p. 286-302, 2016.
- BORGES, Lucila E. P. *et al.* Estudo petrográfico do suporte rochoso do sítio arqueológico da Pedra do Ingá, PB. *Geonomos*, v. 24, n. 2, p. 169-174, 2016.
- BUOL, Stanley W. *et al.* *Soil Genesis and Classification*. 6. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2011.
- CAMPELO, Frederico. Potencialidade hidrogeológica do estado do Piauí. In: PFALTZGRAFF, Pedro A. S.; TORRES, Fernanda S. M.; BRANDÃO, Ricardo L. *Levantamento da Geodiversidade do estado do Piauí*. Recife: CPRM, 2010. p. 71-76.
- CAVALCANTI, Iracema F. A. *et al.* (org.). *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de textos, 2009.
- CAVALCANTI, Iracema F. A.; FERREIRA, N. J. (org.). *Clima das regiões brasileiras e variabilidade climática*. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.
- CHAVES, Sergio A. M. História das Caatingas: a reconstituição paleoambiental da região arqueológica do Parque Nacional Serra da Capivara através da Palinologia. *FUNDHAMentos*, v. 1, n. 2, p. 85-103, 2002.
- CISNEIROS, Daniela; TAVARES, Bruno; COSTA, Hércules. A utilização do ocre na pré-história da Serra da Capivara, Piauí, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Ciências Humanas, v. 17, n. 3, e20210046, 2022.
- COSTA, Diego M. Ecoarqueologia das mudanças climáticas: da resiliência pré-histórica à sustentabilidade contemporânea. *Revista de Arqueologia*, v. 36, n. 2, p. 274-298, 2023.
- DINCAUZE, Dena F. *Environmental Archaeology: Principles and Practice*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- DUARTE CAVALCANTE, Luis *et al.* Conservação de sítios de arte rupestre: resultados preliminares do estudo químico de pigmentos e depósitos de alteração no sítio Toca do Pinga da Escada. *Revista de Arqueologia*, v. 21, n. 2, p. 41-50, 2008.
- EVANS, John G. *Environmental archaeology and the Social Order*. Londres: Routledge, 2004.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. *Manual for integrated field data collection*. Roma: National Forest Monitoring and Assessment Working Paper, 2012.
- GUÉRIN, Claude *et al.* Toca da Janela da Barra do Antonião (São Raimundo Nonato) PI – Rica fauna pleistocênica e registro da Pré-história brasileira. In: SCHOBENHAUS, C. *et al.* (ed.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNMP, 2002. p. 131-137. Disponível em: <https://sigep.eco.br/sitios.htm#Vol1>. Acesso em: 10 out. 2025.
- GUIDON, Niède *et al.* Notas sobre a pré-história do Parque Nacional Serra da Capivara. *FUNDHAMentos*, v. 1, n. 2, p. 105-141, 2002.
- GUIDON, Niède. Peintures rupestres de Várzea Grande Piauí, Brésil. *Cahiers d'Archéologie d'Amérique du Sud*, n. 3, p. 1-174, 1975.
- GUIDON, Niède. As pinturas rupestres do Piauí. *O Estado de São Paulo*. Suplemento Cultural, v. 3, n. 147, p. 9-11, 1979.
- GUIDON, Niède; BUCO, Cristiane; IGNÁCIO, Eliane. Escavações em três abrigos da Serra Branca. *FUNDHAMentos*, v. 6, p. 52-73, 2007.

- HOLLESEN, Jørgen. Climate change and the loss of archaeological sites and landscapes: a global perspective. *Antiquity*, v. 96, n. 390, p. 1382-1395, 2022.
- HOLTORF, Cornelius. The Climate Heritage Paradox – how rethinking archaeological heritage can address global challenges of climate change. *World Archaeology*, v. 55, n. 3, p. 268-281, 2023.
- INGOLD, Tim. *The Perception of the Environment: Essays on livelihood, dwelling and skill*. Londres: Routledge, 2000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Malha municipal digital: base digital georreferenciada 2025*. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 29 ago. 2025.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). *Parque Nacional da Serra da Capivara: limites territoriais*. Brasília: ICMBio, 2026. Disponível via: Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí (SEMARH). Portal Clima: Unidades de Conservação. Teresina: SEMARH, 2025. Arquivo digital em formato KML/KMZ. Disponível em: <https://www.semarh.pi.gov.br/unidades-conservacao>. Acesso em: 29 ago. 2025.
- LAGE, M. C. *et al.* Intervention de Conservation sur un site: la Toca da Entrada du Pajaú, Parc National de la Serra da Capivara (Piauí, Brésil): Premiers résultats. In: HOCQUETTE, Robert *et al.* (org.). *L'Art avant l'Histoire: la conservation de l'Art Préhistorique*. Paris: Éditions SFIIC, 2002. p. 159-163.
- LAGE, Maria C. S. M. Dating of the prehistoric paintings of the archaeological area of the Serra da Capivara National Park, Piauí, Brazil. In: STUECKER, Matthias; BAHN, Paul (ed.). *Dating and the earliest known rock art*. 1. ed. Londres: Oxbow Books, 1999. p. 49-52.
- LAGE, M. C.; GUIDON, Niède; BORGES; Jôina F. Safeguard and conservation of the rock art at the Serra da Capivara National Park. *FUMDHAMentos*, v. 5, p. 47-56, 2007.
- LEAL, Inara R. *et al.* Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 139-146, 2005.
- LIMA, Dhara R.; SANTOS, Janaina C.; LINKE, Vanessa. Contexto paisagístico de sítios arqueológicos do Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil: o circuito turístico do Desfiladeiro. In: MAGESTE, Leandro; AMARAL, Alencar M.; CARDOSO, Rosemary A. (org.). *Arqueologia e Patrimônio*. Vol. I – Experiências, Métodos e Teorias. São Raimundo Nonato: UNIVASF, 2020. p. 52-69.
- LOURDEAU, Antoine. A Serra da Capivara e os primeiros povoamentos sul-americanos: uma revisão bibliográfica. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Ciências Humanas, v. 14, n. 2, p. 367-398, 2019.
- MACEDO, Andréia O.; BARBOSA, Maria F.; FELICE, Gisele D. Agentes naturais de degradação em sítios rupestres: exemplos no Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil. *FUMDHAMentos*, v. 16, n. 1, p. 89-125, 2019.
- MAPBIOMAS. *Plataforma MapBiomass: cobertura e uso da terra*. [S.l.]: MapBiomass, 2026. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/plataforma/>. Acesso em: 20 ago. 2026.
- MENDONÇA, Francisco. Clima, tropicalidade e saúde: uma perspectiva a partir da intensificação do aquecimento global. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, n. 1, p. 100-112, 2005.
- MIRZABAEV, Alisher *et al.* Deserts, Semiarid Areas and Desertification. In: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*:

- Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. p. 2195–2231.
- OLIVEIRA, Victor G. *Paleohidrodinâmica de sistemas fluviais entrelaçados da formação Jaicós (Bacia do Parnaíba) utilizando modelos virtuais de afloramentos*. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.
- PESSIS, Anne-Marie; CISNEIROS, Daniela; MUTZENBERG, Demétrio. Identidades gráficas nos registros rupestres do Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil. *FUMDHAMentos*, v. 15, n. 2, p. 33-54, 2018.
- PIAUÍ. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH). *Parque Estadual do Rangel: limites territoriais*. Teresina: SEMARH, 2025a. Arquivo digital em formato KML/KMZ. Disponível em: <https://www.semarh.pi.gov.br/unidades-conservacao>. Acesso em: 29 ago. 2025.
- PIAUÍ. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH). *Área de Proteção Ambiental do Vale dos Buritis e Carnaubais: limites territoriais*. Teresina: SEMARH, 2025b. Arquivo digital em formato KML/KMZ. Disponível em: <https://www.semarh.pi.gov.br/unidades-conservacao>. Acesso em: 29 ago. 2025.
- PRADO, Darien E. As Caatingas da América do Sul. In: LEAL, Inara; TABARELLI, Marcelo; SILVA, José M. C. *Ecologia e conservação da Caatinga*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2003. p. 3-74.
- PROCHOROFF, Rachel.; BRILHA, José B. R. Inventário de sítios geológicos no Parque Nacional Serra da Capivara (Piauí, Brasil) e entorno: resultados parciais de uma estratégia de geoconservação visando o desenvolvimento sustentável. *Comunicações Geológicas*, v. 104, n. 1, p. 75-81, 2017.
- SANTOS, Janaina C. *O Quaternário do Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil: morfoestratigrafia, sedimentologia, geocronologia e paleoambientes*. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- SCHIFFER, Michael B. *Cultural formation processes of the archaeological record: applications at the Joint Site, east-central Arizona*. Dissertação (Doutorado em Filosofia) – University of Arizona, Tucson, 1973.
- SCHIFFER, Michael B. Toward the identification of formation processes. *American Antiquity*, v. 48, n. 4, p. 675-706, 1983.
- SOUZA, Daniel *et al.* Relict soil features in cave sediments record periods of wet climate and dense vegetation over the last 100 kyr in a present-day semiarid region of northeast Brazil. *Elsevier*, v. 226, e107092, 2023.
- STEINKE, Ercília T. *Climatologia fácil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- SURYA, Leandro; CARRÉRA, Mércia; FLOQUET, Sérgio. Avaliação de uma metodologia de monitoramento com imagens digitais para a conservação preventiva de pinturas rupestres. *Cadernos do LEPAARQ*, v. 15, n. 30, p. 147-161, 2018.
- SURYA, Leandro; MAGALHÃES, Danilo; MACÊDO, Renê J. A. Dados de elementos climáticos para a conservação de sítios arqueológicos na área do Parque Nacional Serra da Capivara – PI. *Revista de Geologia*, v. 32, n. 2, p. 269-276, 2019.
- TOMASELLA, Javier *et al.* Changes in the aridity index across Brazilian biomes. *Science of The Total Environment*, v. 989, e 179869, 2025.

- TOMASELLA, Javier *et al.* Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000-2016. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 73, p. 197-206, 2018.
- VIEIRA, Rita M. D. S. P. *et al.* Desertification risk assessment in Northeast Brazil: Current trends and future scenarios. *Land Degradation & Development*, v. 32, n. 1, p. 224-240, 2020.
- VILLAGRAN, Ximena S. *et al.* Formation processes of the late pleistocene site Toca da Janela da Barra do Antônio – Piauí (Brazil). *PaleoAmerica*, v. 7, n. 3, p. 260-279, 2021.