

Geoarqueologia e Evolução da Paisagem: Abordagens Geoquímicas em Contextos Semiáridos do Nordeste Brasileiro

Geoarchaeology and Landscape Evolution: Geochemical Approaches in the Semi-Arid Environments of Northeastern Brazil

Ana Cristina de Lima Pedrozo Cardouzo¹; Bruno de Azevedo Cavalcanti Tavares²

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. Email: anacristina.cardouzo@ufpe.cbr
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4927-2742>

² Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. Email: bruno.tavares@ufpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1823-3016>

Resumo: A Geoarqueologia dedica-se ao estudo das interações entre o ser humano e o meio físico-natural. Entre elas, destacam-se as análises geoquímicas, voltadas à investigação dos componentes químicos das rochas da crosta, das alterações em perfis de solos e depósitos sedimentares, bem como da evolução da paisagem. Este trabalho apresenta aplicações desse enfoque na Arqueologia, especialmente em reconstruções paleoambientais e na proposição de modelos formativos da paisagem. Para isso, foram analisadas duas áreas arqueológicas: Morro do Chapéu (BA) e a Bacia do Rio Carnaúba (RN/PB), a partir de seções verticais coluvionar e fluvial. Em Morro do Chapéu, os resultados permitiram propor modelos evolutivos influenciados por fatores climáticos, geomorfológicos e sedimentológicos, indicando intensa alteração química, deposição de sedimentos maduros e estabilização pedogenética. Já os depósitos do rio Carnaúba revelam regime semiárido marcado por pulsos sazonais de alta energia e canais entrelaçados, refletindo a sazonalidade climática. A integração multidisciplinar, portanto, contribui para compreender a evolução de paisagens semiáridas e suas relações com ocupações humanas em contextos tropicais

Palavras-chave: Geoarqueologia; Geoquímica; Bacia do rio Carnaúba; Morro do Chapéu.

Abstract: Geoarchaeology focuses on the interactions between humans and their physical-natural environment. Among these, geochemical analyses stand out for investigating the chemical components of crustal rocks, soil profile alterations, sedimentary deposits, and landscape evolution. This study explores the applications of such approaches in archaeology, particularly in paleoenvironmental reconstructions and landscape formation models. Two archaeological areas were examined: Morro do Chapéu (Bahia) and the Carnaúba River Basin (Rio Grande do Norte/Paraíba), through colluvial and fluvial vertical sections. At Morro do Chapéu, the results enabled the proposition of evolutionary models influenced by climatic, geomorphological, and sedimentological factors, revealing intense chemical alteration, deposition of mature sediments, and pedogenetic stabilization. In contrast, deposits from the Carnaúba River indicate a semi-arid regime with seasonal high-energy pulses and a braided-channel system, reflecting climatic seasonality and variable transport conditions. Multidisciplinary integration thus provides valuable insights into the evolution of semi-arid landscapes and their connections with human occupations. These results highlight the relevance of geochemical approaches in reconstructing past climatic and environmental dynamics, especially in tropical settings where such processes strongly influenced cultural trajectories.

Keywords: Geoarchaeology; Geochemistry; Bacia do Carnaúba; Morro do Chapéu.

1. Introdução

O termo Geoarqueologia é empregado para definir a área da Arqueologia que se debruça sobre a relação entre o ser humano e o seu meio, munindo-se de técnicas das ciências da terra para a resolução de problemas de origem arqueológica, oferecendo assim compreensão de como os grupos humanos do passado se relacionavam com o ambiente e como este poderia influenciar a dinâmica destes grupos (Rapp e Hill, 2006; Cardouzo e Tavares, 2024). No Nordeste brasileiro, esses estudos vêm se debruçando sobre questões que envolvem o papel da formação do registro arqueológico a partir das nuances dos fatores de formação naturais (Mützenberg et al, 2013; Moraes, 2015; Galvão, 2019; Macedo, 2023), assim como na compreensão dos ambientes naturais das áreas arqueológicas do Nordeste do Brasil, principalmente no que tange à associação das dinâmicas paleoclimáticas e paleoambientais e sua correlação com as ocupações humanas do semiárido nordestino (Macedo, Felice e Corrêa, 2025).

Sob essa perspectiva, um leque de possibilidades pode ser utilizado para a compreensão do mundo que vivemos em um cenário pretérito. Essas possibilidades se associam aos proxies ambientais comumente utilizados para interpretação dos contextos ambientais pretéritos, como o uso de evidências biológicas, litológicas e geomorfológicas associados a depósitos do Quaternário (Bradley, 2015; Lowe e Walker, 2015; Karkanas e Goldberg, 2019). Entre essas possibilidades, destaca-se a geoquímica, que embora amplamente aplicada nas geociências, ainda é utilizada de forma incipiente na arqueologia.

Autores como Renfrew e Bahn (2005), ao tratarem dos métodos de análise e interpretação na Arqueologia, dedicam à geoquímica apenas o espaço da prospecção geoquímica do fosfato. Essa técnica tem como objetivo identificar evidências orgânicas em perfis estratigráficos, ou seja, indicar a provável presença humana em determinados níveis por meio da concentração de fósforo no sedimento. Para além dessa análise, a compreensão de níveis distintos a partir da análise geoquímica se faz necessário em contexto em que os níveis de deposição são homogêneos, e a análise macroscópica associada a possíveis descontinuidades, estruturas sedimentares e distintas litofácies não se apresentam de forma clara no perfil.

Nesse sentido, a identificação dos componentes químicos da seção vertical possibilita a verificação a partir da assinatura geoquímica de descontinuidades ao longo do perfil. Essa abordagem tem sido realizada em trabalhos importantes no Alto rio Uruguai por Lordeau et al (2025) e Pereira Santos et al (2024) em contextos arqueológicos para identificação de colúvios com intercalações de momentos de ocupação ao longo do Holoceno. Nessa perspectiva, a presente pesquisa tem trazido para o Nordeste Brasileiro essa abordagem associando a identificação de níveis de deposição e formação de solos em cenários de intensa ocupação arqueológica, com cronologias associadas ao Pleistoceno tardio e por todo o Holoceno.

Dessa forma, este artigo configura-se como uma revisão metodológica da aplicação da geoquímica em contextos arqueológicos do nordeste brasileiro, com o intuito de compreender como essas análises podem auxiliar na compreensão dos níveis de deposição e formação de solos em contexto de intensa ocupação arqueológica. Para tal, foram selecionadas duas áreas em contextos semiáridos distintos (Nordeste Setentrional e setor central da Bahia), onde os processos geomorfológicos e ambientais assim como os contextos de formação dos depósitos e registros arqueológicos ocorrem de forma distinta.

2. Metodologia

A pesquisa constitui-se em quatro etapas principais. A primeira refere-se ao levantamento bibliográfico para a caracterização das áreas em análise, que serão descritas posteriormente, e à compreensão da Geoquímica da Paisagem e de sua aplicação em estudos arqueológicos no âmbito da Geoarqueologia. A segunda está relacionada à coleta de amostras em campo realizadas nos anos de 2023 e 2024.

A terceira etapa está associada à aplicação dos índices de assinatura geoquímica nas amostras coletadas. A quarta, por fim, refere-se à comparação entre as duas áreas e as contribuições que a aplicação dos índices trouxe para ambientes arqueológicos distintos.

Os índices geoquímicos empregados (Cruz, 2006; Fonsêca et al., 2024; Santos, 2024), baseiam-se na resistência dos minerais ao intemperismo químico e na concentração dos elementos nas amostras. Em função das condições climáticas e geomorfológicas, tais índices variam de ambiente para ambiente. Isso porque cada contexto apresenta mineralogia e clima específicos, resultando em sedimentos com assinaturas geoquímicas distintas (Taylor & Eggleton, 2001). A água é o principal agente dessas transformações, atuando nos saprólitos e regolitos e promovendo a formação de novos minerais, sobretudo argilas e óxidos-hidróxidos de ferro e alumínio (Birkeland, 1999; Fonsêca, 2018).

As amostras utilizadas neste estudo foram coletadas em dois contextos distintos, coluvionar e fluvial, e analisadas por meio da técnica de Fluorescência de Raios X (FRX). Esse método baseia-se na produção e detecção de raios X característicos emitidos pelos elementos constituintes da amostra quando irradiados por elétrons, prótons, raios X ou gama com energias adequadas (Tavares, 2015). Os resultados, expressos em porcentagem dos elementos presentes, foram processados no software Origin, possibilitando a aplicação dos índices geoquímicos e a posterior visualização em forma de gráficos.

Neste trabalho, foram empregados os seguintes índices:

Tabela 1 – Índices empregados.

Índice	Finalidade	Fórmula	Descrição dos componentes
CIA – Chemical Index of Alteration	Avaliar o grau de alteração química	$CIA = \frac{Al_2O_3}{(Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)} \times 100$	CaO* = CaO em silicatos (corrigido).
Índice de Ruxton	Medir extensão do intemperismo químico	$Ruxton = SiO_2 / Al_2O_3$	Valores menores indicam maior alteração.
Índice Paleoambiental	Inferir ambiente formativo/deposicional	$(SiO_2 + K_2O) / (Al_2O_3 + Na_2O)$	Relações entre elementos móveis e imobilizados.
Índices de Proveniência	Determinar origem do material	Ex.: Al_2O_3/K_2O ; Zr/Ti ; Ti/Al	Discrimina fontes e grau de retrabalhamento.
Índice de Laterização	Identificar sedimentos lateríticos/intemperizados	$(Fe_2O_3 + Al_2O_3) / SiO_2$	Indica enriquecimento em Fe e Al e lixiviação de sílica.

Fonte: Taylor & Eggleton (2001); Fonsêca (2018); Santos (2024).

A próxima seção apresentará os resultados obtidos e uma breve discussão sobre sua relevância para análise do contexto arqueológico. Também serão associados os dados geoquímicos às informações paleoambientais de cada área, apresentando o papel da geoquímica na compreensão dos processos formativos dos sítios e seus contextos ambientais.

3. Resultados e discussão

3.1 Áreas de estudo - contexto ambiental

As regiões estudadas (figura 1) se encontram inseridas no Nordeste do Brasil associado ao clima semiárido. Uma delas está na região do Seridó Potiguar e a outra no estado da Bahia, no município de Morro do Chapéu, no setor norte da Chapada Diamantina.

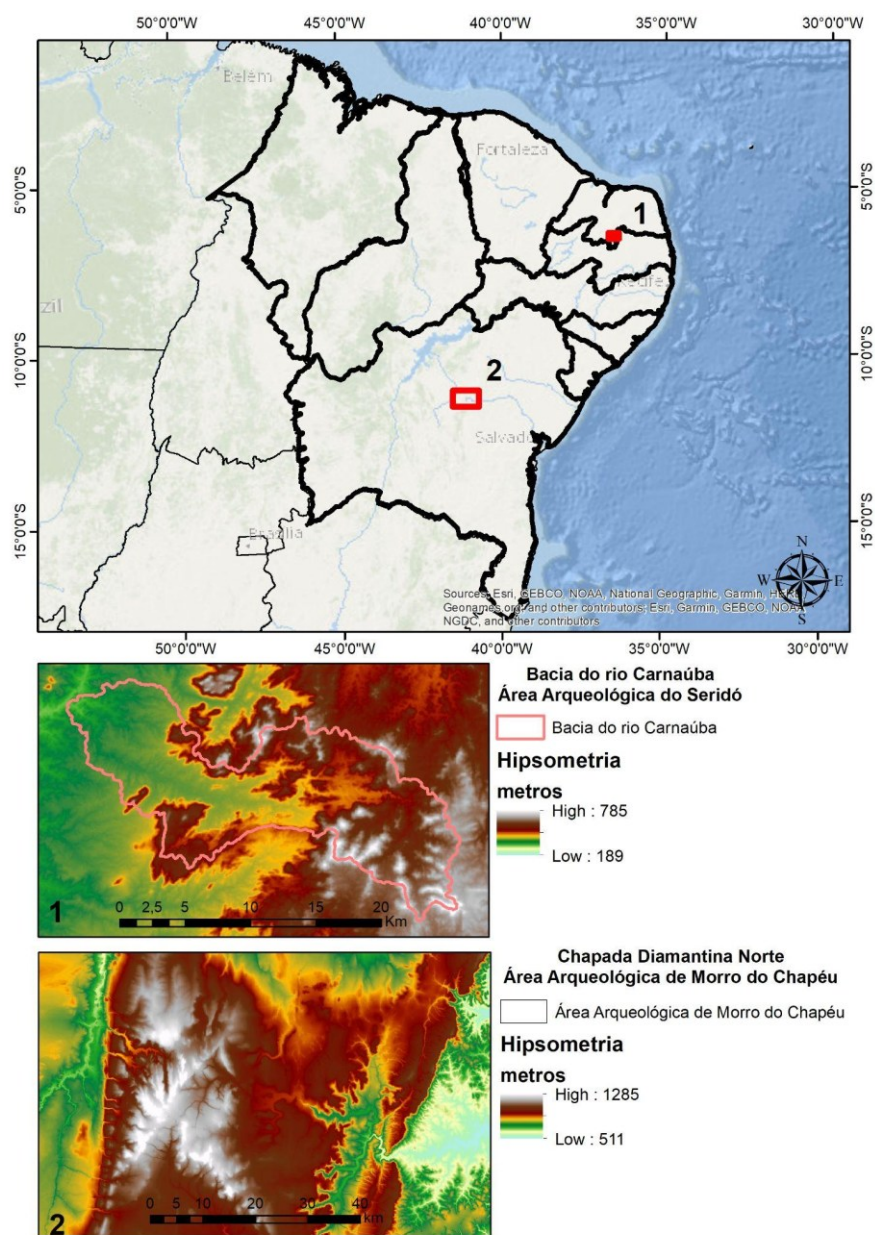


Figura 1 – Mapa de localização das duas regiões em análise no território do nordeste do brasileiro.
Fonte: Autores (2025).

3.2 Morro do Chapéu - Bahia

As coberturas superficiais que foram analisadas no Complexo Arqueológico Coreia localizam-se na região do município de Morro do Chapéu, na Bahia (figura 2). A área contém uma grande concentração de sítios arqueológicos, estes que se destacam pela arte rupestre presente em abrigos sob rocha, cavernas e grutas (Cardouzo e Tavares, 2024).

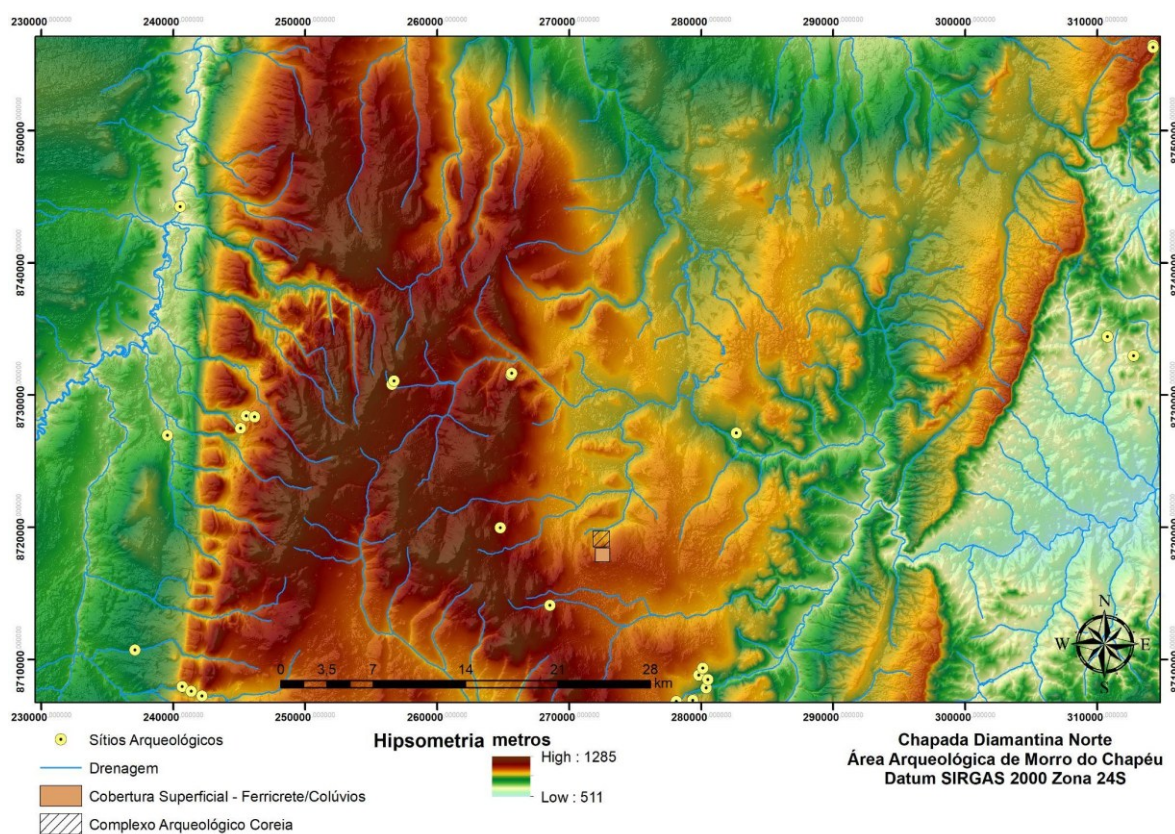


Figura 2 – Mapa Hipsométrico do Município de Morro do Chapéu.

Fonte: Autores (2025).

A escolha do local a ser coletado (figura 3), ocorreu por causa da variedade de informações sobre o ambiente pretérito que essa análise pode fornecer. Isso porque a compreensão da paisagem, sob a égide da reconstrução ambiental para esse setor da Chapada Diamantina, ainda carece de informações com essa abordagem de cunho geoarqueológico (Silva, 2025; Cardouzo e Tavares, 2024).



Figura 3 – Contexto circundante das coberturas superficiais na área arqueológica de Morro do Chapéu (BA).

Fonte: Tavares (2024).

A região se enquadra no domínio do clima semiárido, com chuvas que chegam à média anual de 808 mm no outono (IBGE,s.d). A hidrografia que circunda a área são as bacias do São Francisco e a do Paraguaçu (Silva, 2025). A vegetação é típica da caatinga, predominante no Nordeste, com adaptações às condições locais desempenhando um papel essencial na manutenção do ecossistema.

A litologia é composta por rochas sedimentares deformadas, em que a sucessão estratigráfica é um indicador de alternância entre eventos regressivos e transgressivos (tabela 2), refletindo a dinâmica marinha neoproterozoica da área (Rocha,2013).

Tabela 2 – Formações com suas respectivas litologias e contextos.

Formação	Litologia	Contexto
Tombador	Arenito e metaconglomerado	Regressão marinha
Caboclo	Calcário e calcário-arenito	Transgressão marinha
Morro do Chapéu	Arenitos, meta-arenitos e quartzitos	Regressão marinha

Fonte: Autores (2025), baseado em Rocha (2013).

Por fim, a Chapada Diamantina configura-se como planalto elevado, de relevo dobrado (Corrêa et al., 2019; Silva, 2025), atingindo até 2.038 m de altitude. O setor norte, onde se localiza a área estudada, as cotas chegam a cerca de 1.100 m (IBGE, s.d). O relevo é diversificado e de grande valor para o turismo ecológico. O Morro do Chapéu, localizado no município homônimo, é um morro testemunho que se destaca na paisagem, marcado por rampas suaves entre escarpas e vales de drenagem. A combinação entre esse relevo elevado e o clima semiárido fornece condições favoráveis para a formação de mantos de alteração e lateritas, foco das análises seguintes.

3.3 Área Arqueológica de Morro do Chapéu: análise das coberturas superficiais

A pesquisa iniciou-se com levantamento bibliográfico para a construção do arcabouço teórico da pesquisa, seriam estes: O Contexto da Região (Corrêa et al, 2019; Silva,2025), o conceito de Geoarqueologia (Rapp & Hill, 2006; Goldberg & Karkanias, 2019), Geoquímica e índices químicos (Eggleton e Taylor, 2001; Santos,2024), a Formação de Lateritas e Ferricretes (Widdowson, 2007) e a Evolução da paisagem (Rapp & Hill, 2006).

Após esse levantamento, foi realizada uma coleta de campo na região (figura 4), sendo coletado ao todo 16 amostras em um perfil de 1,85 m de altura por 85 cm de largura, sendo estas analisadas a posteriori pela técnica da Fluorescência de Raio -X (Cardouzo e Tavares, 2024).



Figura 4 – Perfil após a coleta das amostras em Morro do Chapéu (BA).

Fonte: Cardozo (2023).

O primeiro índice utilizado foi o índice de Ruxton, que avalia o grau de intemperismo químico das rochas com base na mobilidade relativa da sílica e do alumínio. As amostras analisadas, em geral, mostram um elevado intemperismo (figura 5), o que é confirmado posteriormente pelo gráfico do CIA.

No entanto, as amostras da base do perfil (D1L, D2L, C1L, C2L) apresentam maior concentração de sílica do que alumínio, apesar dos baixos valores no índice de Ruxton indicando forte intemperismo. Esse elevado teor de sílica pode estar relacionado à sua alta concentração geral nos elementos químicos, ou seja, embora as camadas apresentem intenso grau de alteração química, conforme evidenciado por CIA, essa alteração não foi suficiente para promover a lixiviação da sílica (Santos, 2024).

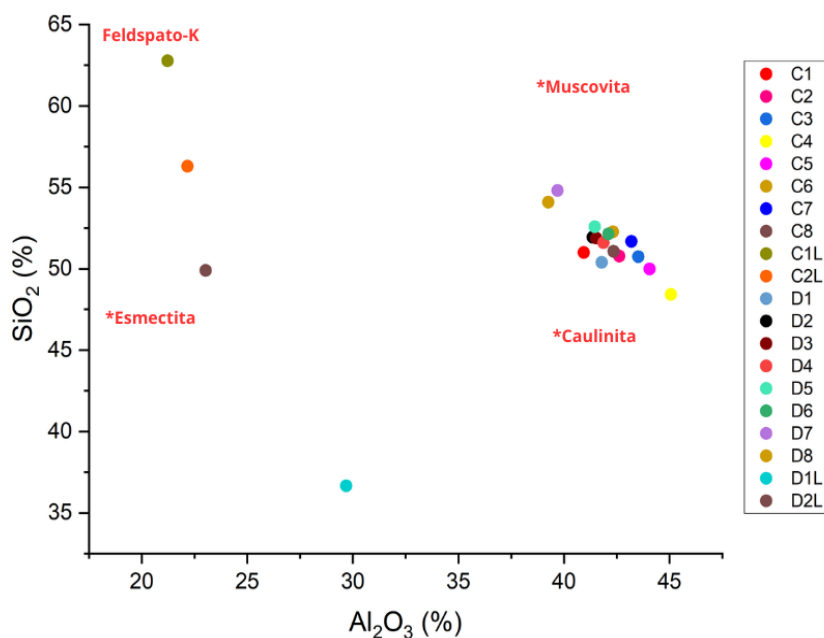


Figura 5 – Índice de Ruxton com todas as amostras.
Fonte: Autores (2024).

O Índice de Alteração Geoquímica (CIA) é utilizado para avaliar o grau de intemperismo químico nos sedimentos, refletindo as variações ao longo de um perfil. Valores acima de 80 indicam intemperismo moderado, enquanto valores superiores a 90 apontam para intemperismo intenso. Esse grau de alteração está diretamente relacionado às condições ambientais da área de origem, especialmente em regiões tropicais úmidas, evidenciando que a origem do depósito influencia significativamente o nível de intemperismo.

A figura 6 confirma a hipótese de que os materiais estão fortemente intemperizados, concentrando-se na faixa de forte intemperismo. Altos valores de CIA indicam um elevado grau de alteração química, geralmente associando-se a altos níveis de precipitação e, conseqüentemente, a uma maior maturidade química dos sedimentos (Nesbitt e Young, 1982). Assim, mesmo nas amostras em que algumas frações não apresentam alumínio, é provável que sua formação tenha ocorrido em um contexto de alta precipitação. No entanto, ao se considerar a geomorfologia e a topografia da região, fatores que influenciam diretamente a sedimentação e o intemperismo químico, esses níveis de precipitação podem estar relacionados a períodos de semiaridez mais branda (Nash e McLaren, 2007).

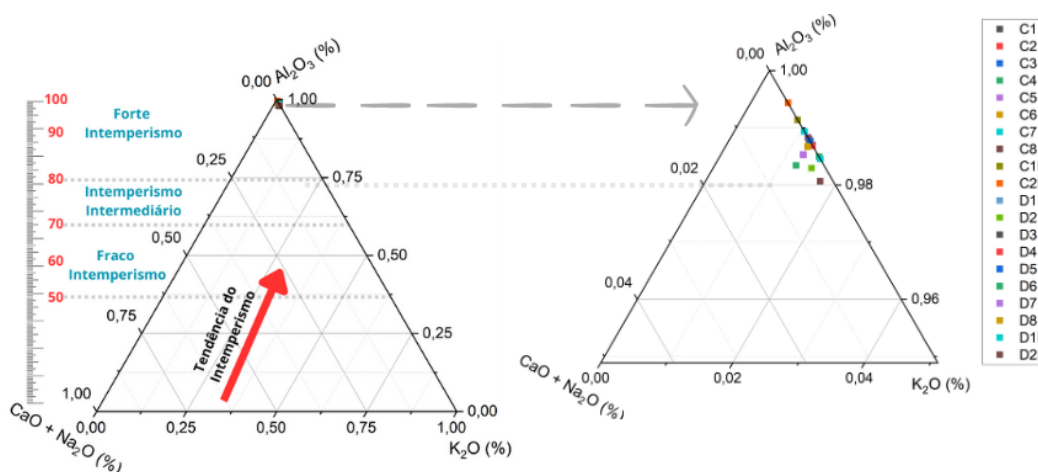


Figura 6 – Índice de CIA das amostras.
Fonte: Autores (2024).

A relação entre alumínio e potássio está associada à origem do material. Na figura 7, observa-se um domínio caulinitico. Isso não indica necessariamente que o material original seja rico em caulinita, mas sim que o intenso intemperismo químico, favorecido por fatores como precipitação e relevo, promoveu a formação de minerais aluminosos, como a caulinita; sendo este processo compatível com os altos valores de CIA observados.

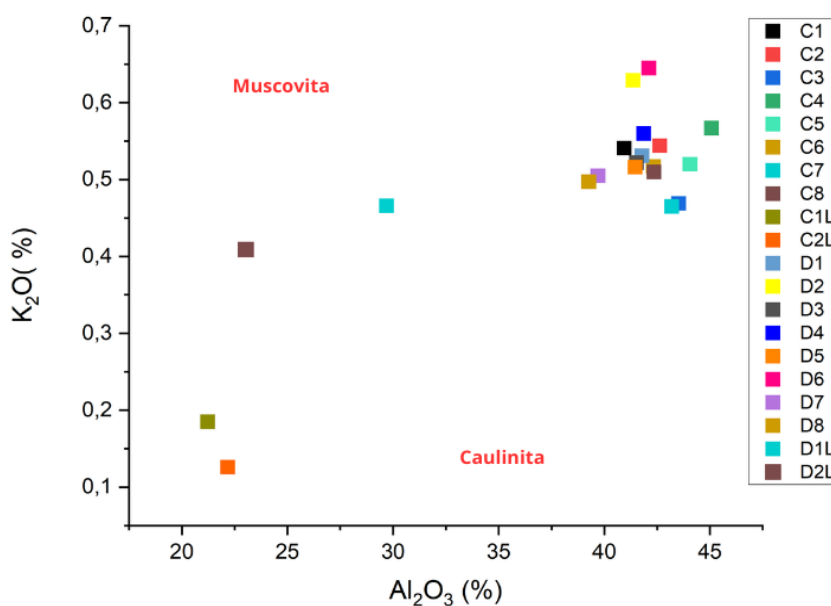


Figura 7 – Relação Alumínio e Potássio das amostras.
Fonte: Autores (2024).

A relação entre sílica, alumínio, potássio e sódio permite inferências sobre o ambiente de formação e deposição dos sedimentos. Conforme a figura 8, as lateritas indicam um ambiente úmido a subúmido, distinto do cenário semiárido atual, mas compatível com o alto grau de alteração química (CIA). Já as demais amostras, associadas ao clima semiárido

semelhante ao hodierno, sugerem sedimentos previamente intemperizados em outro ambiente e posteriormente transportados, refletindo um contexto deposicional distinto (Fonsêca, 2024; Santos, 2024).

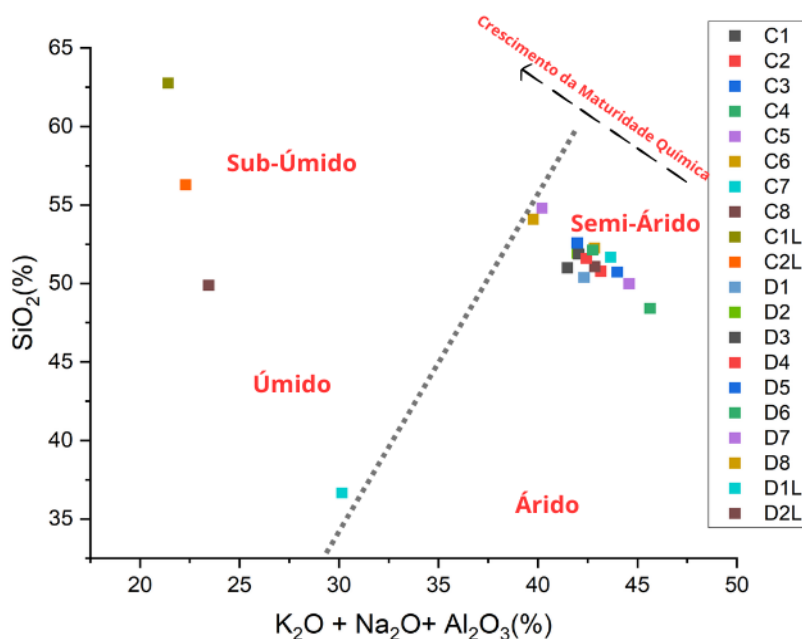


Figura 8 – Índice de Paleoambiente de todas as amostras.

Fonte: Autores (2024).

O Índice de Lateralização (gráfico 5) oferece a indicação dos sedimentos com maior desgaste geoquímico, além de distinguir aqueles que foram retrabalhados e não se formaram *in situ*. Considerando as amostras, a maioria apresenta fraca laterização, com exceção da base do perfil que exibe laterização moderada. Três dessas amostras (C1L, C2L, D2L) são classificadas como lateritas ferruginosas, sendo que D2L se encontra no limite entre os domínios ferruginoso, laterítico e caulínítico. A amostra D1-L é classificada como laterita caulínítica. Desta forma, esses dados sugerem que as lateritas da base do perfil representam estágios mais antigos e estáveis na formação da paisagem.

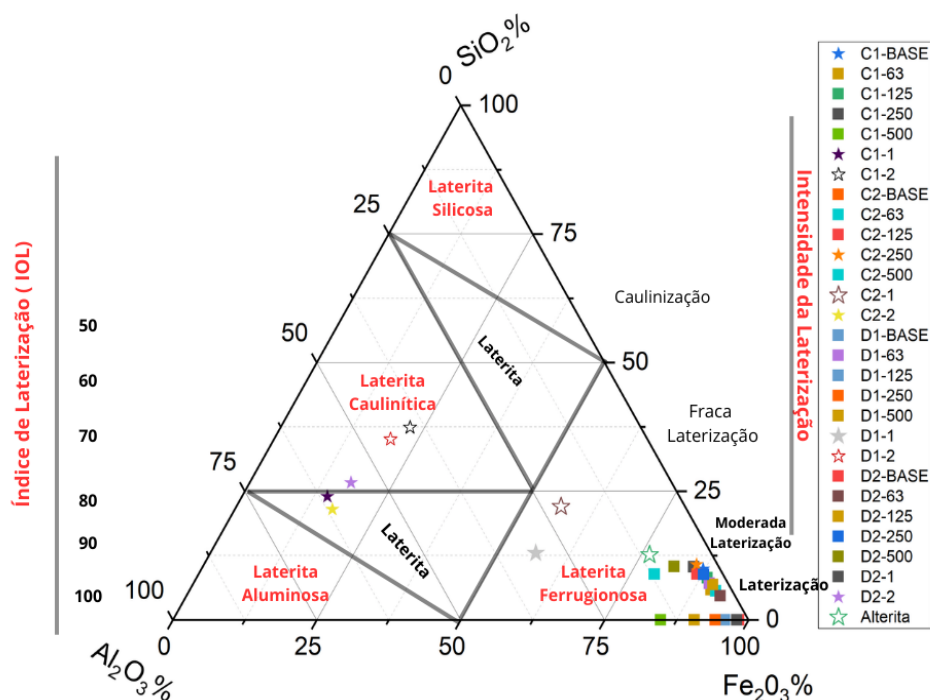


Figura 9 – Índice de Laterização de Todas as Amostras.

Fonte: Autores (2024).

3.4 Rio Carnaúba - Seridó Potiguar

A área em questão está inserida entre os domínios do Planalto da Borborema e Depressão Sertaneja, situado na Mesorregião Central Potiguar e na Microrregião do Seridó Oriental, entre os municípios de Carnaúba dos Dantas e Acari. Inserida no domínio da Faixa Seridó, seccionando as unidades litoestratigráficas de idade neoproterozoicas da Suíte de Médio a Alto Potássio Itaporanga do Grupo Seridó, a região corta perpendicularmente a Zona de Cisalhamento Transcorrente Dextral Carnaúba dos Dantas e a Falha Transcorrente Sinistral em orientação E-W, onde consta as Formações Equador, Seridó e Serra dos Martins (Mutzenberg, 2007; Tavares et al, 2025).

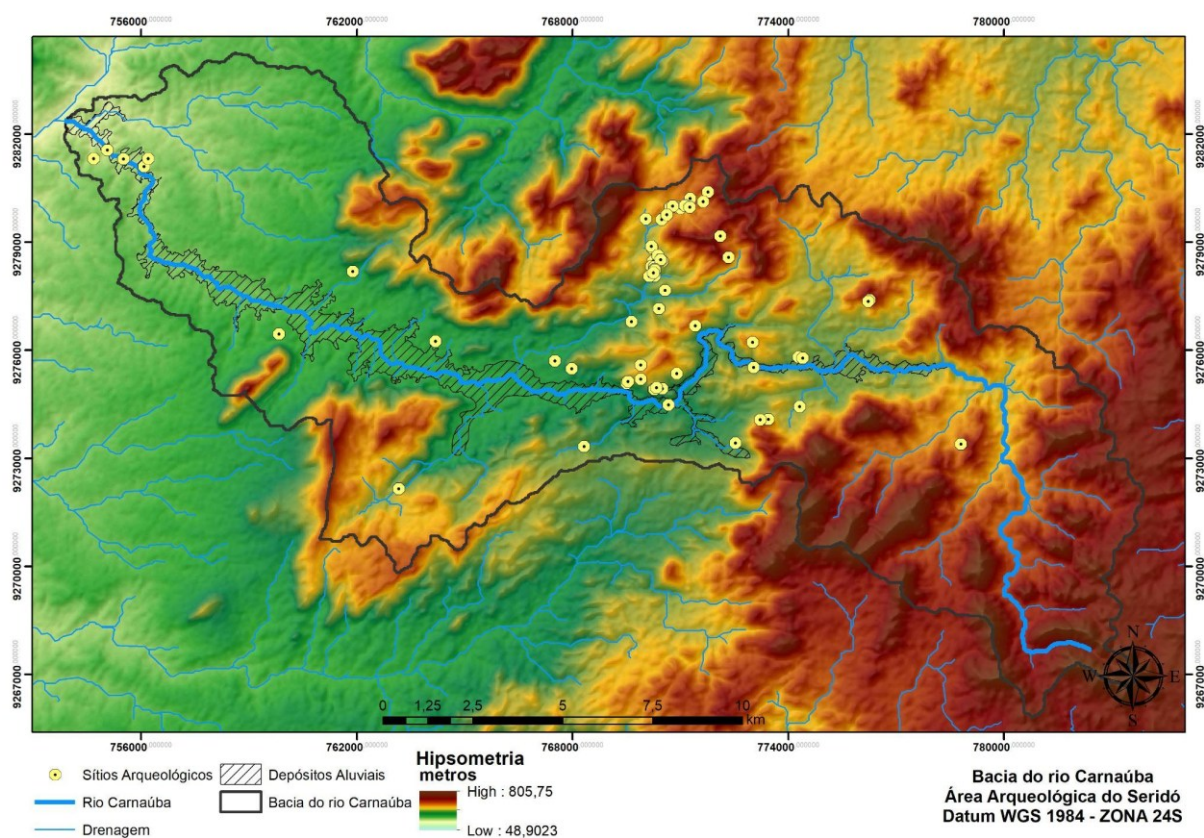


Figura 10 – Mapa Hipsométrico da Bacia do Carnaúba na região do Seridó.
Fonte: Autores (2025).

A bacia do rio Carnaúba abrange, em suas cabeceiras, um capeamento sedimentar. Este é formado pelos arenitos da Formação Serra dos Martins. Abaixo dos arenitos temos a biotita xisto da Formação Seridó e as intrusões ígneas da suíte Dona Inês. Também no alto curso, a suíte Itaporanga está presente, controlando o eixo de drenagem principal juntamente com algumas falhas de rejeito extensional. No médio curso, a biotita xisto da Formação Seridó é mais abrangente. Essa área é associada à diversos abrigos sob rocha, onde se encontram os sítios arqueológicos da área. Além da Formação Seridó, a muscovita quartzito da Formação Equador ocorre em setores elevados; concentrando-se na porção central da bacia. Esse suporte também está presente em sítios arqueológicos da porção central do rio. Nessa porção há uma considerável concentração de material aluvial, este decorrente do retrabalhamento do rio Carnaúba, formando extenso vale fluvial preenchido de material inconsolidado quaternário (Mützenber 2007; Tavares et al, 2025). No baixo curso do rio, há presença de granitos é marcante, ora da Suíte Itaporanga ora da Suíte São João do Sabugi. Neste setor, os sítios arqueológicos se distribuem em: matacões e estruturas de dissolução.

Por fim, a sedimentação presente no vale do rio Carnaúba, sob a forma do plano aluvial e dos seus terraços fluviais, possui um caráter arenoso típico do ambiente semiárido. Ela indica alternância de fases associadas ao ciclo sedimentar de um canal entrelaçado em regime semi árido, onde a variação de carga de fundo e carga em suspensão é uma resposta às condições climáticas de grandes irregularidades dentro do semiárido. Assim, a sequência sedimentar encontrada para a estratigrafia no médio curso do Carnaúba indica fases de canal ativo, carga de fundo, momentos de enchente e formação de barras cascalhosas e arenosas com indicação de migração delas. Essa sequência está de acordo com os postulados de Miall (1995) para os regimes de sedimentação de drenagens com morfologia entrelaçada e anastomosada.

3.5 A dinâmica fluvial a partir da geoquímica de ambientes semiáridos: o Rio Carnaúba, Seridó Potiguar

Diferente do contexto de Morro do Chapéu, onde a coleta foi realizada nos setores elevados do Planalto, em uma morfologia de encostas e pedimentos associados às deposições coluvionais, o perfil estratigráfico do Seridó está em um ambiente fluvial. O perfil em questão foi feito nos terraços que compõem o setor médio do rio Carnaúba, rio este que possui 48 km de extensão, tendo suas nascentes no Planalto da Borborema e seu exutório no rio Acauã, no domínio da Depressão Sertaneja (figura 11). No seu médio curso apresenta um vale preenchido de sedimentos fluviais, atingindo profundidades de até 10 metros (Tavares et al, 2025).



Figura 11 – Contexto circundante ao Rio Carnaúba na região do Seridó (RN).

Fonte: Bruno Tavares (2024).

O perfil em questão (figura 12), possui 2.50 de espessura indicando diversos ciclos de sedimentação associados com um canal entrelaçado em regime semiárido. A escolha desse perfil se dá pelo fato de ele ter características associadas a um regime de variação de carga atrelado a irregularidade da condição climática semiárida onde está inserida a área do vale do rio Carnaúba.



Figura 12 – Perfil de coleta no Rio Carnaúba (RN).

Fonte: Bruno Tavares (2024).

Em contraste com Morro do Chapéu, as amostras do Rio Carnaúba revelam um baixo grau de intemperismo, o que é evidenciado pelos índices de Ruxton e CIA. Entretanto, a relação Si/Al revela que essas amostras passaram por processos de intemperismo, sendo os elevados teores de sílica possivelmente atribuídos à proveniência ou à presença de litologias ricas em sílica na paisagem de estudo. A análise gráfica confirma essa alta concentração de sílica, a qual tende a decrescer em função da progressiva transformação mineralógica decorrente do intemperismo, como exemplificado pela amostra 11_RC, que se insere, graficamente, no domínio caulinitico. Para inferências mais robustas, torna-se imprescindível considerar a posição estratigráfica da amostra no perfil e sua relação com o contexto geomorfológico circundante.

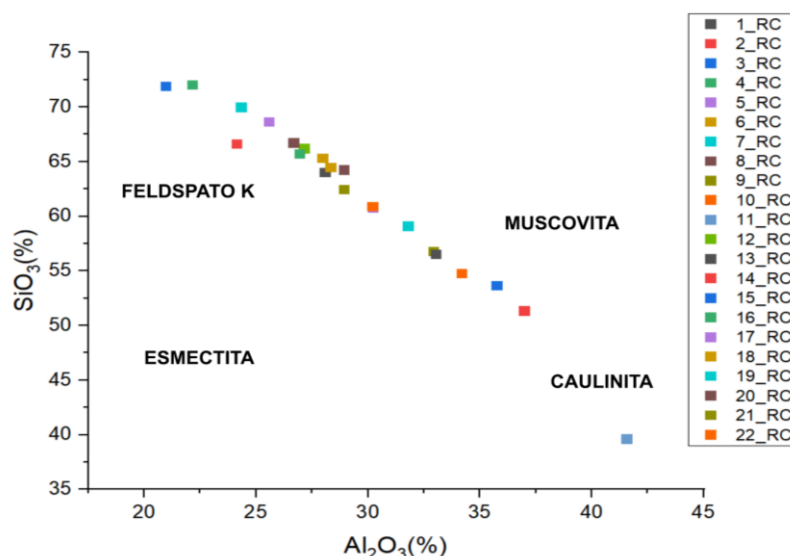


Figura 13 – Índice de Ruxton das amostras da bacia do Carnaúba.
Fonte: Autores (2025).

Em concordância com o gráfico de Ruxton, os valores de CIA indicam que as amostras analisadas apresentam baixo grau de alteração química. No entanto, nesse contexto, a proveniência dos depósitos pode ter influenciado o grau de maturidade química observado, considerando que a área estudada é caracterizada por mineralogias e litologias ricas em sílica.

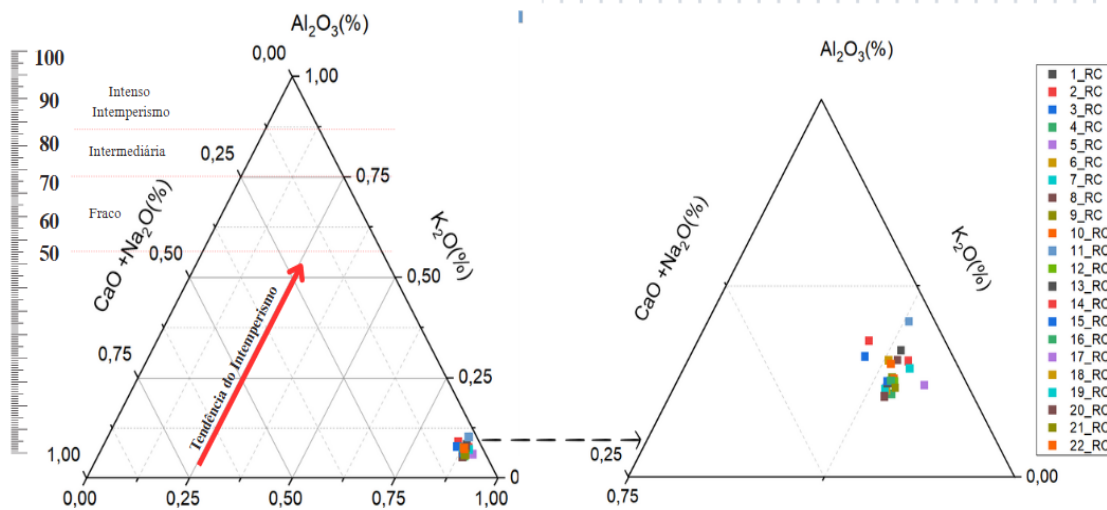


Figura 14 – Índice de CIA das amostras da Bacia do Carnaúba.
Fonte: Autores (2025).

No que tange o índice de Paleoambiente, existe uma concentração no domínio semiárido, o que corrobora os dados de baixa intensidade de intemperismo químico, ou seja, baixo grau de maturidade química, e comunga com o contexto atual da região que se enquadra no domínio morfoclimático do semiárido.

Dessa forma, os dados indicam um quadro de semiaridez persistente que teria restringido a formação de minerais secundários. Todavia, duas amostras (11_RC e 14_RC), se encontram no domínio morfoclimático subúmido, ou seja,

distinto do atual. Nesse cenário, os dados sugerem um episódio mais úmido para a formação desse sedimento. Logo, para mais inferências é necessário compreender a localização das amostras no perfil coletado e seu lugar na paisagem circundante.

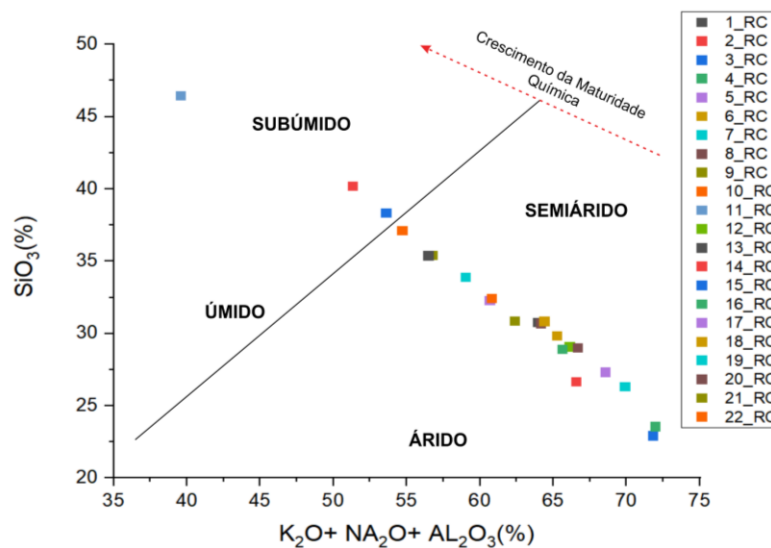


Figura 15 – Índice de Paleambiente das amostras na bacia do Carnaúba.
Fonte: Autores (2025).

Por fim, ao contrário do observado na Bahia, as lateritas aqui são incipientes, ou seja, as amostras analisadas se enquadram em um contexto de fraca laterização, refletindo condições de aridez. Todavia algumas amostras começam a entrar no contexto de uma laterização moderada, o que pode evidenciar um cenário de estabilidade para a formação das feições lateríticas. Além disso, a amostra 11_RC se enquadra, diferente das demais amostras, no contexto de uma laterita, o que corrobora a sua alta maturidade química e seu provável processo formativo em um ambiente mais úmido. Nesse sentido, tendo em vista a disposição dessa amostra no perfil coletado e a paisagem circundante, é possível que tenha ocorrido um momento mais úmido para a formação dessa feição laterítica que é mais madura geoquimicamente ou, em outro contexto, a amostra pode ter sido trabalhada em outro setor, mais úmido, e depois depositada na área em questão.

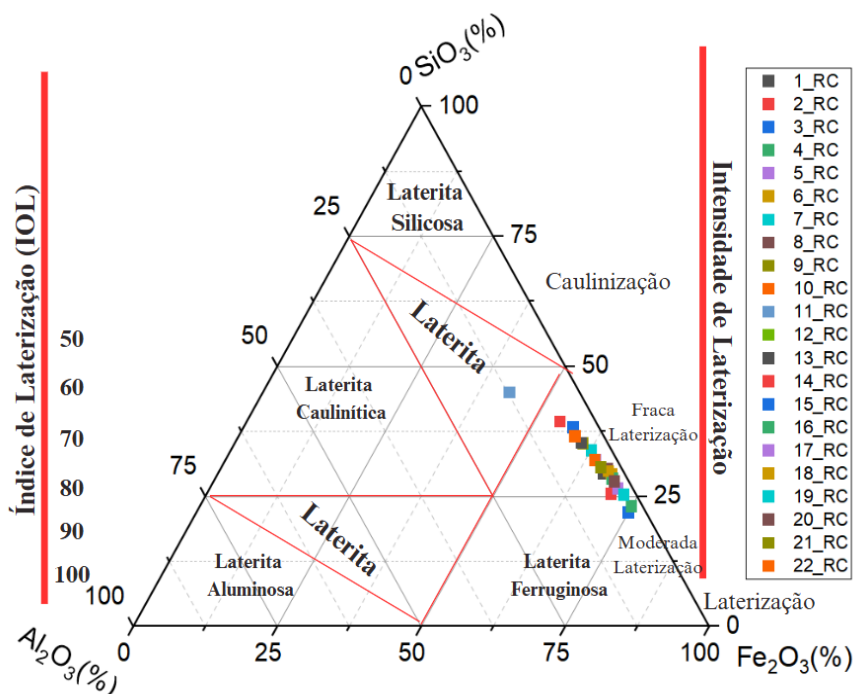


Figura 16 – Índice de Laterização das amostras da bacia do Carnaúba.

Fonte: Autores (2025).

A relação entre Alumínio e Potássio está relacionada com a própria origem do material. Para as nossas amostras, elas se estendem entre o domínio da Ilita ao da Muscovita, o que reflete o cenário circundante da paisagem.

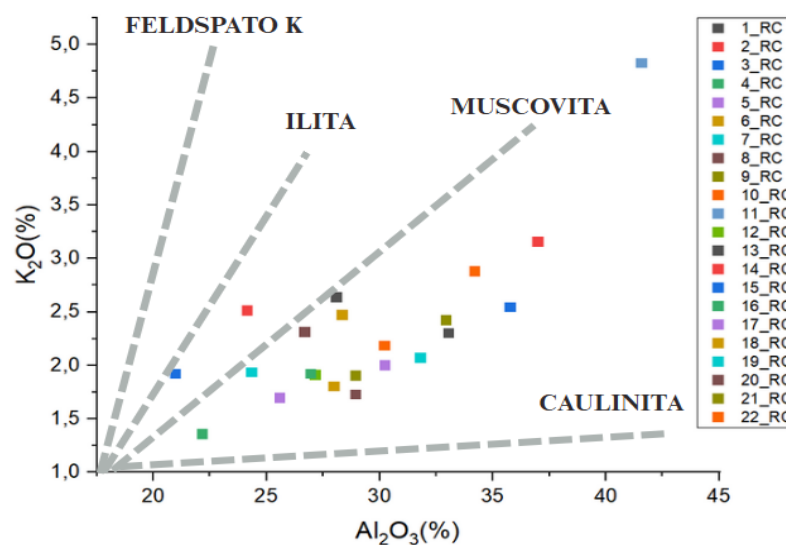


Figura 17 – Relação entre Potássio e Alumínio nas amostras da Bacia do Carnaúba.

Fonte: Autores (2025).

3.6 Geoquímica de Morro do Chapéu e a bacia do Rio Carnaúba: contrastes climáticos e paisagísticos no Semiárido nordestino

Considerando os índices geoquímicos analisados para a área do Complexo Coreia (Morro do Chapéu, BA) e a distinção proposta por Widdowson (2007) para os conceitos de lateritas e ferricrete, é possível propor o seguinte modelo evolutivo: **1-** Fase de alteração in situ do saprólito, resultando na formação de lateritas. Os índices geoquímicos indicam que esse estágio ocorreu em um contexto climático mais úmido, favorável à intensa alteração química. **2-** Fase de deposição de sedimentos quimicamente mais alterados, conduzindo a formação de ferricretes. Os dados sugerem um ambiente climático mais seco, semelhante ao clima atual. Além disso, o material depositado apresenta elevada maturidade química, o que traz a possibilidade de o material ter passado por processos de erosão e transporte antes de sua deposição. **3-** Fase atual de estabilidade, que favorece o desenvolvimento de processos pedogenéticos, ou seja, formação de solos que, dependendo das condições de intemperismo, podem evoluir para lateritas ou solos enriquecidos em ferro, por meio de alteração in situ dos materiais previamente formados.

Apesar dos índices geoquímicos corroborarem o modelo evolutivo inicialmente proposto, alguns aspectos merecem destaque. Como pontuado por Nash e McLaren (2007), a paisagem geomorfológica, especialmente o relevo, pode influenciar significativamente as condições de umidade local, independentemente de mudanças climáticas globais. Esse fator é particularmente relevante para a região de Morro do Chapéu, situada no setor norte da Chapada Diamantina, dentro do núcleo semiárido, mas com altitudes que chegam a 1260 metros. Essa elevação favorece a recepção de ventos úmidos oriundos dos sistemas atmosféricos do Atlântico e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), como ressaltado por Bigarella et al. (2008). Além disso, a topografia suavemente inclinada da área contribui para o desenvolvimento de mantos de alteração mais profundos em determinados setores.

Nesse cenário, existe a possibilidade de as lateritas identificadas na base do perfil estarem relacionadas a um período de maior umidade, um contexto de semiaridez mais branda, ou até mesmo terem sido formadas sob condições semelhantes às atuais, em que os fatores locais, como relevo e altitude, promoveram umidade suficiente para permitir esse tipo de alteração in situ. Junto a isso, existe a hipótese de que a base do perfil, pode ter sido formada em momentos distintos para a coluna C e coluna D, isso porque a laterita do D1L é a única que se encontra em domínio caulinitico e úmido, o que pode ser um indicativo de distintos momentos de formação para o lado C e D, ou de alguma descontinuidade lateral entre as partes.

Concomitante a isso, também existe a possibilidade de todo o perfil, incluindo as lateritas, terem origem alóctone, conduzindo a um segundo modelo: **1-** Formação de lateritas em um pulso úmido em uma área relativamente próxima da área de deposição. **2-** Transporte e deposição das lateritas. **3-** Breve momento de estabilidade e desenvolvimento de um manto de intemperismo. **4-** Deposição de sedimentos ricos em ferro e alumínio, quimicamente maduros, em contexto semiárido levando a formação de Ferricrete. **5-** Momento atual de estabilidade que pode conduzir a alteração autóctone, levando a formação de lateritas, ou processo pedogenético.

No rio Carnaúba é possível verificar que o clima semiárido deixa a sua marca no próprio regime de sedimentação. A variação de carga indica pulsos sazonais associados aos sistemas sinóticos atuantes no período de chuva na área. As chuvas são de Verão-outono com concentrações de chuvas nos meses de fevereiro e março, onde em poucos dias chove o acumulado previsto para todo o mês, com isso o rio consegue retrabalhar o seu vale, reativando o entrelaçamento dos seus canais e a disposição da sedimentação no seu eixo principal.

A estrutura do sedimento indica materiais de pouca maturidade química, condizentes com o clima semiárido da área, que responde por uma das áreas mais secas do nordeste brasileiro (Corrêa et al, 2019). Essa condição tem como resposta um material friável, pouco compactado, com baixos níveis de formação argilosa, exceto nos momentos de enchente e retorno da vazão normal, onde há decantação de argilas expansivas no momento do extravasamento do canal principal. Essa condição de formação argilosa 2:1 está em consonância com o ciclo sedimentar de um canal entrelaçado ativo e que deixou na paisagem momentos pretéritos associados à episódios de cheia e formação de planícies de inundação com acúmulo de material argiloso.

Outra característica desses depósitos é a ausência de formação de mantos nas encostas, o que impossibilita o retrabalhamento desses materiais no eixo de drenagem. Sem formação de solos mais maduros quimicamente, vemos como consequência a escassez de material siltico-argiloso ao longo da drenagem. O Material argiloso encontrado em concentrações mais elevadas para a área do Carnaúba, foi discutido por Mützenbergl (2007) ao verificar a presença de caulinita em colúvios na média encosta do sítio Arqueológico Pedra do Alexandre, isso com cronologia dos depósitos associados ao último interestadial.

Assim, temos uma área semiárida, com remoção de materiais quimicamente inalterados, minerais primários dentro da composição dos materiais que estruturam os depósitos fluviais do rio Carnaúba. Todavia, cabe salientar que essa inalteração aparente nos gráficos pode ser resultado da alta concentração de sílica presente na paisagem circundante ao próprio vale, ou seja, mesma que o valor do índice indique uma certa maturidade química, sua visualização gráfica tende a pender para a sílica em razão do seu contexto circundante.

Destarte, aponta-se que em conjunto os resultados sugerem que os ambientes coluviais e fluviais do semiárido nordestino apresentam respostas geoquímicas distintas, mas complementares, fundamentais para compreender a formação e transformação dos sítios arqueológicos

4. Considerações finais

Os resultados obtidos para o Complexo Coreia (Morro do Chapéu, BA) possibilitaram propor modelos evolutivos que integram variáveis climáticas, sedimentológicas e geomorfológicas na gênese das coberturas superficiais. A análise dos índices geoquímicos indicou uma trajetória evolutiva complexa, marcada por fases de intensa alteração química, deposição de sedimentos quimicamente maduros e posterior estabilização pedogenética. O relevo elevado e suavemente inclinado mostrou-se determinante na retenção de umidade e no desenvolvimento de mantos de alteração profundos, mesmo sob clima semiárido predominante.

A distinção entre lateritas e ferricretes (Widdowson, 2007), foi essencial para compreender os processos sedimentares e pedogenéticos. Os dados sugerem que as lateritas na base dos perfis podem estar relacionadas a períodos mais úmidos ou a condições semiáridas moduladas pelo relevo. Os ferricretes refletem um contexto mais seco, alinhado às condições atuais. Em contraste com os ambientes fluviais semiáridos analisados no Seridó, propõe-se a coexistência de dois modelos evolutivos para o Planalto: um autóctone, com formação in situ de lateritas, e outro alóctone, envolvendo transporte e deposição de materiais previamente formados, ambos complementares à complexidade geomorfológica e sedimentar regional.

Em contraste ao cenário mais úmido de Morro do Chapéu, os depósitos do rio Carnaúba refletem condições semiáridas persistentes. A dinâmica sedimentar, influenciada por eventos sazonais e pulsos de alta energia durante chuvas de verão-outono, integra-se aos ciclos sedimentares semiáridos, corroborando fácies descritas por Miall (1985; 2006) e estudos regionais recentes (Mützenber, 2007; Tavares et al., 2025; Andrade, 2025; Brandão & Tavares, 2020).

A integração de dados geoquímicos, geomorfológicos e sedimentológicos reforça a relevância de múltiplos fatores na evolução de paisagens semiáridas, oferecendo subsídios para a compreensão de processos geológicos pretéritos e atuais. Considerando que as áreas estudadas apresentam vestígios arqueológicos, evidencia-se o potencial da geoquímica para compreender contextos de ocupação humana prolongada, fornecendo base para modelos de ocupação e dinâmica ambiental pretérita.

Agradecimentos

Bolsa PIBIC (nº 230719655) do CNPq para a A.C.L.P.C. Os procedimentos de coleta e organização das amostras foram realizados no LABGEOARQ da UFPE, tendo como apoio o GEAGT associado ao laboratório. As análises de Geoquímica foram realizadas com o apoio do GEQUA, do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE.

Referências

- ANDRADE, Bianca Ariane Barbosa. *Dinâmica fluvial semiárida e ambientes de ocupação na Área Arqueológica do Seridó: um estudo de caso no baixo curso da bacia do rio Carnaúba – RN*. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arqueologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2025.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. *Estrutura e Origem das Paisagens tropicais e subtropicais*. 2º Ed. Florianópolis: Editora da UFSC, v.2, 2008.
- BIRKELAND, P. W. *Soils and geomorphology*. New York: Oxford University Press, 1999. 372 p.
- BRADLEY, R. S. *Paleoclimatology : reconstructing climates of the Quaternary*. Elsevier: Academic Press, 2015. Terceira Edição, 677.

- BRANDÃO, Gibran; TAVARES, Bruno.** *Análise paleoambiental do contexto fluvial do vale do rio Carnaúba: navegabilidade pretérita associada às imagens de pirogas presentes no contexto arqueológico da Área Arqueológica do Seridó, Carnaúba dos Dantas – RN.* *Rev. Noctua*, v. 2, n. 5, p. 83–105, 2020. DOI: 10.26892/noctua.v2i5p83-105.
- CARDOUZO, A. C. L. P.; TAVARES, B. A. C.** *Coberturas superficiais no contexto arqueológico de Morro do Chapéu - BA: uma análise geoquímica.* In: **REUNIÃO DA SOCIEDADE DE ARQUEOLOGIA BRASILEIRA – REGIONAL NORDESTE**, 8., 2024, Delmiro Gouveia. *Livro de Resumos – SAB NE 2024*. Delmiro Gouveia: SAB, 2024. v. 1.
- CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; LIRA, D. R.; MUTZENBERG, D. S.; CAVALCANTI, L. C. S.** The semi-arid domain of the Northeast of Brazil. In: **VETTORAZZI, C. A.; ROSA, R. (org.).** *The physical geography of Brazil*. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 119–150.
- CRUZ, L. O. M.** *Assinatura geoquímica de unidades colúviais da bacia do Córrego do Rio Grande, Depressão de Gouveia/MG.* 2006. 152 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- FONSÊCA, D. N. et al.** Climatically driven quaternary sedimentation in a passive margin tropical context: insights into the geomorphological evolution in northeastern Brazil. *Geomorphology*, v. 461, 2024.
- GALVÃO, D. C.** *Evolução do Paleoambiente e da Paisagem Quaternária do Sudeste do Piauí.* Tese de Doutorado (UFPE). 145p, 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).** Cidades e Estados: Morro do Chapéu - BA. Rio de Janeiro: IBGE, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/morro-do-chapeu.html>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- KARKANAS, P.; GOLDBERG, P.** *Reconstructing Archaeological Sites: Understanding the Geoarchaeological Matrix*. Wiley Blackwell. 2019, 298p.
- LORDEAU, A., MÉLIAN, M. J., PEREIRA SANTOS, M. C., BARCELÓ, F., CARBONERA, M., VOLARICH, J., REY, F., & SUÁREZ, R.** Early settlements in the Uruguay river basin: a new reading based on recent data from Uruguay and Brazil. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 63, 105098. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2025.105098>, 2025.
- LOWE, J. J.; WALKER, M.** *Reconstructing Quaternary Environments*. New York: Routledge. Terceira Edição, 2015. 569p
- MACEDO, A. O.** *O paleoambiente e as ocupações humanas pré-históricas na região da Serra da Capivara: análise geoarqueológica dos depósitos quaternários.* 2023. 270 f. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Recife, 2023.
- MACEDO, A. O.; FELICE, G. D.; CORRÊA, A. C. DE B.** Depositional processes and the formation of the paleontological and archeological record at the Lagoa dos Porcos site, Southeastern Piauí. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 26, n. 2, 5 maio 2025.
- MORAES, B. N.** Geoquímica e Geomorfologia de Sedimentos arqueológicos como fundamentos na indicação de níveis de ocupação humana pré-histórica no Parque Nacional da Serra da Capivara - Piauí, Brasil. **Tese de Doutorado**, UFPE. 180f, 2015.
- MÜTZENBERG, D. et al.** Sítio arqueológico Lagoa Uri de Cima: cronoestratigrafia de eventos paleoambientais do semiárido nordestino. **Fundamentos**, p. 51-68, 2013.
- MÜTZENBERG, D. S.** Gênese e ocupação pré-histórica do sítio arqueológico Pedra do Alexandre: uma abordagem a partir da caracterização paleoambiental do Vale do Rio Carnaúba-RN. 2007. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/XXXX>. Acesso em: 24 nov. 2025.

-
- NASH, D. J.; McLAREN, S. J.** Introduction: Geochemical sediments in landscapes. In: NASH, D. J.; McLAREN, S. J. (Ed.). *Geochemical Sediments and Landscapes*. Australia: Blackwell Publishing Ltd, 2007. p. 1–10.
- NESBITT, H. W.; YOUNG, G. M.** Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, v. 299, p. 715–717, 1982.
- RAPP, G.; HILL, C. L.** *Geoarchaeology: the Earth-science approach to archaeological interpretation*. New Haven: Yale University Press, 2006. 339 p.
- RENFREW, Colin; BAHN, Paul.** *Archaeology: theories, methods, and practice*. 7. ed. London: Thames & Hudson, 2016.
- ROCHA, A. J. D.** *Geoparque Morro do Chapéu, Bahia (Proposta)*. Salvador: CBPM, 2013. 64 p.
- SANTOS, J. D. C.** *Evolução geomorfológica da paisagem da bacia hidrográfica do Riacho do Meio, afluyente do rio Ipanema, Pesqueira-PE*. 2024. 132 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.
- PEREIRA SANTOS, M. C.; ROSINA, P.; CARBONERA, M.; HATTÉ, C.; LOURDEAU, A..** Geoarchaeology of open-air sites of the Foz do Chapecó area in the upper Uruguay river, southern Brazil. *Quaternary Science Reviews*, 325, 108489, 2024.
- SILVA, Thaysa Gisella Mendes de Araújo.** *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.
- SOUZA, João A.; SILVA, Maria B.; OLIVEIRA, Pedro C.** *Clima e recursos hídricos no semiárido brasileiro*. Fortaleza: FUNCEME, 2013.
- TAVARES, B. A. C.; SILVA, W. F.; MELO, J. H. S.; OLIVEIRA, G. P.; LIRA, D. R.; CORRÊA, A. C. B.; MÜTZENBERG, D. S.; ARAÚJO, R. O.; GIRÃO, O.** Structural controls and dysconnectivity in a semi-arid watershed: a case study from northeastern Brazil. *Geogr. Res.*, 2025.
- TAVARES, B. A. C.** *Evolução morfotectônica dos pedimentos embutidos no Planalto da Borborema*. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. 251 f.
- TAVARES, K. C. O.** *Relações quimioestratigráficas entre os sedimentos quaternários do maciço Serra da Baixa Verde e seu significado geomorfológico*. 2020. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.
- TAYLOR, G. R.; EGGLETON, R. A.** *Regolith geology and geomorphology*. Chichester: John Wiley, 2001.
- WIDDOWSON, M.** Laterites and ferricretes. In: NASH, D. J.; McLAREN, S. J. (Ed.). *Geochemical Sediments and Landscapes*. Australia: Blackwell Publishing Ltd, 2007. p. 46–95.