



ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS COLÚVIAIS QUATERNÁRIOS NO MACIÇO DA SERRADA TAQUARA, AGRESTE DE PERNAMBUCO

Etchury Luisa Lopes Etchichury¹
Luana karla Lima dos Santos²
Daniel Rodrigues de Lira³

RESUMO

Este estudo, tem como objetivo analisar e caracterizar os sedimentos colúviais quaternários do maciço da Serra da Taquara, localizado em Taquaritinga do Norte, Agreste de Pernambuco. A pesquisa visa compreender a origem e os processos envolvidos na formação desses sedimentos. Foram aplicadas duas abordagens metodológicas complementares: A análise granulométrica a laser, para avaliar a distribuição do tamanho das partículas e inferir mecanismos de transporte e deposição; e a análise geoquímica por fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF), utilizada para determinar a composição elementar das amostras e calcular os índices de alteração química CIA, RI e WIP. As amostras, coletadas em ambientes de encosta com evidências de deposição colúvial, revelaram variações granulométricas significativas, indicando diferentes intensidades de energia no transporte, desde movimentos de massa até fluxos superficiais associados a chuvas intensas. Os dados geoquímicos evidenciaram graus distintos de intemperismo químico, refletindo desde depósitos intensamente alterados até materiais mais próximos da rocha matriz. Esses depósitos funcionam como importantes arquivos naturais da história ambiental local. Os resultados contribuem para o entendimento da dinâmica geomorfológica do semiárido.

Palavras-chave: Granulometria a laser, Geoquímica, Sedimentos colúviais.

¹Graduando do Curso de **Licenciatura em Geografia** da Universidade Federal - UFPE, luisa.etchichury@ufpe.br

²Licenciada do Curso de **Licenciatura em Geografia** da Universidade Federal - UFPE, luana.karla@ufpe.br

³Doutorado em Geografia da Universidade federal - UFPE, daniel.rlira@ufpe.br

INTRODUÇÃO

A partir de um recorte espacial, os estudos sobre análise granulométrica e geoquímica de sedimentos colúviais do quaternário no semiárido brasileiro, permite a reconstrução do cenário paleoambientais e paleoclimáticos fornecendo uma interpretação evolutiva da paisagem. Em virtude das variações climáticas, esses eventos extremos estão se tornando mais frequente e intensos. Analisando esses depósitos quaternários, o objetivo foi examinar os estágios evolutivos geoquímicos dos sedimentos estudados e aplicar a análise granulométrica a laser, para avaliar a distribuição do tamanho das partículas, inferir mecanismos de transporte e deposição, compreender um pouco melhor a importância dos aspectos físico-ambientais do semiárido brasileiro e os depósitos do quaternário.

A área de estudo se encontra no maciço da Serra da Taquara, é um brejo de altitude, classificam os brejos de altitudes como montanhas isoladas de altitude medias ou baixas, tendo como superfície de piso (piedmont) níveis aplainados, conservados entre interflúvios e vertentes bastante inclinadas. Esses brejos apresentam áreas de depósitos de encostas que são registros importantes para a cronologia, tendo em vista que, contém como se fosse um banco de dados a partir das mudanças geomorfológicas na escala de milhares de anos, principalmente entre o final do Pleistoceno e inicio do Holoceno.

Compreender e interpretar os processos de sedimentação e erosão nas paisagens semiáridas do Nordeste brasileiro é essencial, considerando a escassez de dados específicos sobre a origem e evolução dos sedimentos na região. A área semiárida, caracterizada por flutuações climáticas ao longo do Quaternário, exige uma análise mais detalhada dos sedimentos colúviais e dos processos geomorfológicos. Nesse contexto, a integração da análise granulométrica a laser proporcionando um mapeamento preciso da granulometria dos sedimentos, o que pode ajudar a determinar, por meio dos tamanhos das partículas, a evolução dos solos. A investigação dessas dinâmicas é crucial não apenas para o avanço do conhecimento científico, mas também para o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável e conservação ambiental, fundamentais para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas (Silva & Souza, 2019).

Se tratando da assinatura geoquímica dos sedimentos, para a identificação dos elementos químicos tem sido utilizada a técnica de Fluorescência de Raios-X (XRF-X-Ray Fluorescência), a qual consiste em uma técnica analítica multielementar e não



destrutiva empregada na obtenção de informações qualitativas e quantitativas da composição elementar das amostras (Zambello, 2001; Lira, 2014). A XRF está dividida em duas variantes analíticas distintas, onde iremos utilizar a que se fundamenta na dispersão por energia (EDXRF – Energy Dispersive X-Ray Fluorescence), idealizada na década de 1970 após o surgimento dos detectores de silício e germânio Zambello (2001).

A técnica de XRF aliada aplicação de índices geoquímicos tem sido utilizada para a compreensão das coberturas superficiais quaternária, partindo do princípio que há na paisagem elementos móveis e imóveis e que determinadas concentrações desses elementos podem servir como significado evolutivo do mosaico paisagístico (Cruz, 2006; Santos, 2024; Fonsêca *et al.*, 2024).

Visto isso, destaca-se o índice de alteração química – CIA proposto por Nesbitt e Young (1982), e mais recentemente utilizado por Santos (2024) e Fonsêca *et al.*, (2024), com o intuito de avaliar o grau de alteração química dos sedimentos. Outro índice que se destaca corresponde ao índice de Ruxton (1968), tal índice é utilizado para medir o grau de intemperismo dos sedimentos a partir da razão molar entre a Sílica e Alumínio. Além de índices que medem o grau de intemperismo e de alteração química, há também índice que permite estabelecer o ambiente formativo dos materiais sedimentares, denominado de índice de Paleoambiente utilizado recentemente por Santos (2024) e Fonsêca *et al.*, (2024).

A utilização da geoquímica por meio dos índices tem sido de suma importância para a compreensão evolutiva da paisagem semiárida, permitindo estabelecer o grau de alteração química e de intemperismo dos sedimentos, assim como estabelecer seu paleoambiente formativo, possibilitando realizar uma cronologia relativa (Lira, 2014; Fonsêca, 2018; Fonsêca *et al.*, 2020; Fonsêca *et al.*, 2024; Santos 2024).

OBJETIVOS

Os objetivos buscam compreender o grau de amadurecimento químico e o ambiente de deposição dos sedimentos quaternários do Maciço Serra da Taquara por meio de parâmetros geoquímicos e aprimorar a interpretação da evolução da paisagem semiárida do Nordeste brasileiro, contribuindo para a reconstrução paleoambiental e o preenchimento de lacunas no conhecimento geomorfológico e pedológico da área de estudo.



- Realizar trabalho de campo para a identificação e coleta dos materiais sedimentares.
- Investigar as relações entre a distribuição granulométrica dos sedimentos e os processos morfodinâmicos atuantes na paisagem semiárida, com ênfase nas dinâmicas deposicionais e erosivas.
- Aplicar os índices de CIA, RI e Paleoambiente nos sedimentos Quaternários do Maciço da Serra da Taquara.
-

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

Segundo Malena e Aurélio (2001) e Dias (2004), a análise granulométrica envolve a determinação das dimensões das partículas e o tratamento estatístico da frequência com que essas partículas aparecem em uma determinada faixa de tamanho. Os resultados dessa análise são geralmente representados por gráficos de distribuição de frequência acumulada, mostrando as porcentagens em massa de partículas separadas por diferentes faixas granulométricas. Essas faixas são compostas por frações grosseiras, intermediárias e finas, que são essenciais para a classificação dos solos, conforme os critérios da ABNT (NBR 6502/95). A apresenta os limites de tamanho para cada uma dessas frações, o que é importante na categorização do solo.

Descrição diâmetro das partículas: Argila: $<- 0,002$ mm/Silte: $0,002$ mm a $0,06$ mm/Areia Fina: $0,06$ mm a $0,2$ mm/Areia Média: $0,2$ mm a $0,6$ mm/Areia Grossa: $0,6$ mm a $2,0$ mm/ Pedregulho: $2,0$ mm a 60 mm.

A quantificação das frações grossas foi realizada a partir da metodologia de Gale e Hoare (1991) que incluíram a separação das amostras, peneiração e pesagem em balança de precisão. Enquanto para a quantificação das frações finas, foi estabelecida a partir do granulômetro a laser, seguindo a metodologia de Santos (2024). Após a quantificação, os dados foram plotados no programa Sysgran 3, para geração dos gráficos de Pejrup (1988) e Shepard (1954). Esses gráficos ternários interpretados sugerem o resultado da pesquisa.

Para atingir os objetivos propostos com a análise geoquímica, foi realizada a aplicação dos índices de CIA, RI e do índice de Paleoambiente. O índice CIA serviu para avaliar o grau de alteração química dos sedimentos Nesbitt e Young (1982), medindo



variações do intemperismo dentro do perfil de análise de acordo com a seguinte fórmula;

$$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100$$

Onde o valor de CIA vai ser diretamente proporcional ao grau de alteração do material. A partir dessa premissa, quando o CIA aumenta ocorre concomitantemente, o aumento na lixiviação, além da diminuição dos valores da perda de base, refletindo, por conseguinte, altos valores de precipitação, indicando que estes materiais foram submetidos a intensos processos de alteração química (Fonsêca *et al.*, 2024). De acordo com Fonsêca *et al.*, (2024), o índice de Ruxton é baseado na relação molar entre a Sílica e o Alumínio, partindo do pressuposto que em condições de maior intemperismo químico a sílica vai se comportar como elemento mais móvel, enquanto o Alumínio elemento menos móvel. Outrossim, na escala de 0 a 10, valores próximos a 0 indicam materiais muito intemperizados, já valores próximos a 10, sedimentos pouco intemperizado (Santos, 2024; Fonsêca *et al.*, 2024). O presente índice é representado pela seguinte formula; $RI = SiO_2 / Al_2O_3$

Por fim, o índice de Paleoambiente é estabelecido a partir da relação binária entre $SiO_2 / (Al_2O_3 + K_2O + Na_2O)$. Sua utilização em conjunto com os índices de CIA e RI tem auxiliado na compreensão da dinâmica superficial quaternária, como mostra os estudos de Fonsêca *et al.*, (2024) e Santos (2024). O equipamento utilizado foi de modelo EDX – 720. Posteriormente, os dados foram lançados no programa Origin (Licença Estudantil) para criação dos gráficos ternários e binários.

REFERENCIAL TEÓRICO

A área de estudo localizada no Agreste Setentrional do Estado de Pernambuco faz parte do Planalto da Borborema, a Serra da Taquara está inserida entre os municípios de Taquaritinga do Norte, Vertentes e Toritama, formada por maciços e com altitude variando entre 750 a 1.000 metros, a maior extensão da serra está localizada no município de Taquaritinga do Norte. A região é influenciada pela Teoria da Pediplanação de King (1953), que descreve um longo processo de desgaste e deplanamento, resultando em uma morfologia suavizada pelos processos erosivos, com a presença de formas de relevo típicas, como encostas e vales da serra.

No semiárido brasileiro, vários estudos de caráter paleoambiental têm sido desenvolvidos a partir da análise dos depósitos colúvio-aluviais, auxiliando na



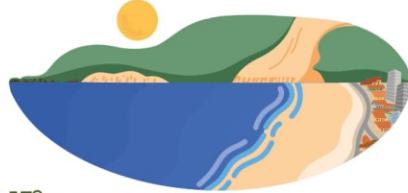
interpretação evolutiva da paisagem semiárida brasileira, destacando-se os trabalhos devidamente discutido pelos geógrafos (Corrêa, 2001; Mutzenberg, 2007; Lira, 2014; Fonsêca, 2018; Fonsêca, 2020; Lima *et al*, 2023 e Santos, 2024). Esses estudos têm sido desenvolvidos por meio das análises geoquímicas, sedimentológicas e datação por luminescência opticamente estimulada-LOE, as quais permitem o entendimento da progressão da paisagem, proveniência dos materiais sedimentares, assim como sua idade absoluta.

A utilização da técnica de análise de partículas por difração a laser foi iniciada no final dos anos de 1970 e se tornou amplamente utilizada devido à sua facilidade de operação, rapidez e precisão na análise do tamanho de partículas, Papinni, 2006. O granulômetro a laser tem grande importância na caracterização das partículas dos sedimentos fornecendo insights na reconstrução da modelagem dos depósitos paleoambientais, Capelli (2017) aponta que a distribuição do tamanho das partículas pode fornecer informações sobre diferentes condições de transporte, como correntes fortes ou fracas, e até mesmo mudanças nos processos climáticos e ambientais ao longo do tempo. Essa técnica ajuda na avaliação de coberturas superficiais e no delineamento dos padrões de erosão e sedimentação, especialmente em regiões semiáridas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise granulométrica dos sedimentos colúviais coletados nos perfis Ta01A, Ta02A, Ta03A e Ta04A indicou que todas as 11 amostras analisadas são predominantemente argilo-arenosas. A análise granulométrica dos sedimentos colúviais encontrados na Serra da Taquara forneceu insights essenciais sobre a paleoevolução ambiental da região.

A predominância de sedimentos argilo-arenosos, com características texturais e estruturais que indicam baixa hidrodinâmica, sugere um ambiente de deposição com fluxo reduzido. Essa constatação está em consonância com estudos realizados em outros ambientes de encostas no semiárido nordestino, que apontam para a predominância de argila e a escassez de frações grossas, como areia e cascalho. Os gráficos de Shepard (1954) e Pejrup (1988) confirmaram a baixa hidrodinâmica dos sedimentos, indicando que as condições atmosféricas e a dinâmica geológica da região têm um papel importante na sedimentação e na formação da pedogênese caracterizando a região com solos predominantemente argilosos e com baixa taxa de erosão. Essa evidência reforça a ideia



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA

de que a Serra da Taquara apresenta uma paisagem dinâmica, influenciada por períodos interglaciais de seca e de chuvas esparsas.

Figura 09: Gráficos de Shepard (1954). Fonte: Os autores, 2025.

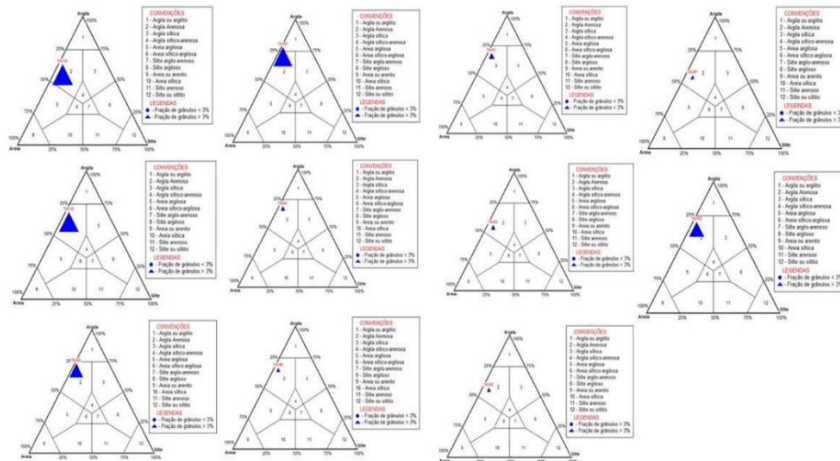
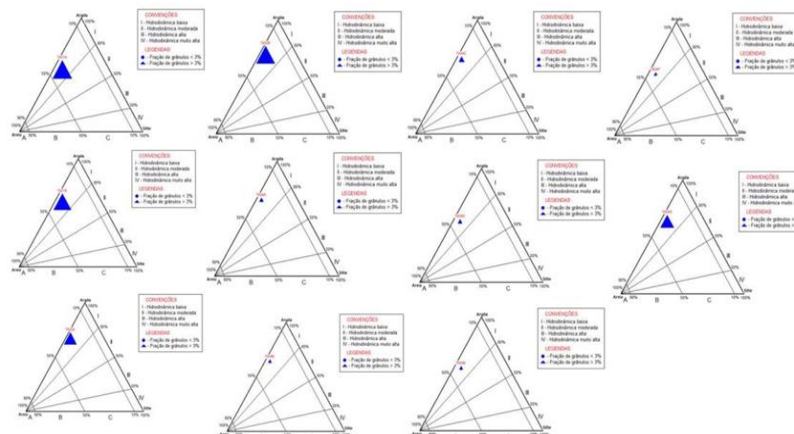


Figura 10: Gráfico de Pejrup (1988). Fonte: Os autores, 2025.



Os resultados das análises granulométricas, juntamente com a classificação encontrada no mapa de unidades de solos. Solos compactados apresentam baixa hidrodinâmica, capacidade reduzida de infiltração e alta plasticidade, conservando registros importantes de mudanças climáticas passadas, como evidenciado pelas cicatrizes na paisagem.

A análise geoquímica, foi analisada no perfil que apresenta três níveis amostrais, o primeiro nível TA01A, apresentou maiores porcentagens dos elementos mais móveis, a exemplo da SiO_2 , K_2O , CaO e BaO , enquanto os elementos menos móveis Al_2O_3 , Fe_2O_3 , ZrO_2 e TiO_3 foram identificados em menor quantidade. O nível TA01B, foi identificada elevadas concentrações dos elementos mais móveis, a SiO_2 .

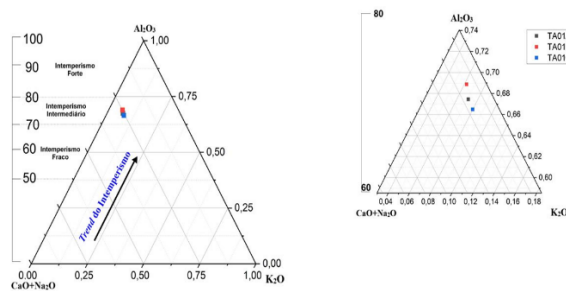
O terceiro nível refere-se ao regolito, amostra TA01C, apresentou elevadas porcentagens dos elementos móveis com destaque para o BaO e o CaO; Já em relação aos elementos imóveis Al_2O_3 , Fe_2O_3 , ZrO_2 e TiO_3 observa-se que estão em menores proporções, com o Ferro distinguindo-se do demais, apresentando maior porcentagem.

Tabela 1: Geoquímica Geral

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ELEMENTO QUÍMICO EM PORCENTAGEM															
2	AMOSTRA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	BaO	TiO ₂	ZrO ₂	SrO	PdO	Y ₂ O ₃	ZnO	Nb	Rb ₂ O	MnO
3	TA01A	40.638	26.321	17.095	9.934	2.769	0.644	1.453	0.491	0.135	0.085	0.064	0.065	0.029	0.046	0.225
4	TA01B	41.180	26.164	17.847	9.460	2.364	0.588	1.392	0.476	0.122	0.0	0.049	0.064	0.034	0.054	0.205
5	TA01C	41.02	24.535	18.695	9.416	2.948	1.786	0.937	0.341	0.135	0.0	0.069	0.064	0.026	0.025	0.0

Partindo do princípio dos elementos móveis e imóveis, pode-se inferir que o perfil, apresenta o nível TA01C com menor grau de alteração química, o que é esperado para o nível regolítico. Enquanto o nível TA01A configura-se como o segundo menor alterado, já o nível TA01B expõe-se com maior grau de alteração química.

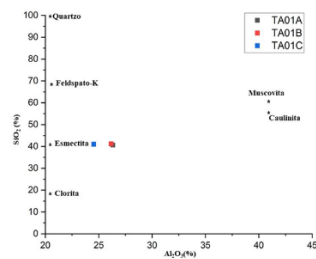
Figura 3: Gráfico do Índice de CIA do perfil 1



Fonte: O autor (a), 2024.

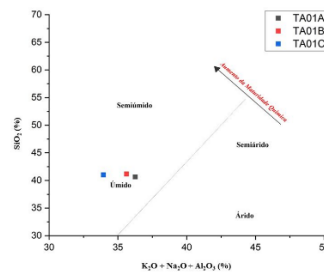
Os resultados a partir do índice de RI apontam para um perfil muito intemperizado, nível TA01C encontra-se menos intemperizado, o nível TA01A em uma posição intermediária, enquanto o nível TA01B o mais intemperizado.

Figura 4: Gráfico do Índice de Ruxton do perfil 1



Fonte: O autor (a), 2024.

Figura 5: Gráfico de Palcoambiente do perfil 1



Fonte: O autor (a), 2024.

Tabela 2: Tabela com os valores dos índices CIA e RI

Amostras	Valores dos índices de Intemperismo	
	CIA	RI
TA01A	67,4	1,54
TA01B	68,8	1,57
TA01C	66,4	1,67

Fonte: O autor (a), 2024.



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA

Evidenciam que os níveis TA01A e TA01B são materiais de origem alóctone, enquanto o nível TA01C trata-se do regolito, a ocorrência de um evento climático que levou à deposição do nível TA01B, o qual recobriu a camada regolítica.

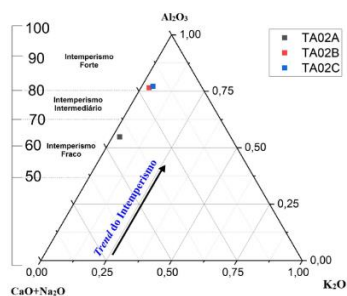
O presente perfil apresenta três níveis amostrais representados pelas camadas TA02A, TA02B e TA02C. O nível TA02A apresentou altos valores dos elementos móveis CaO, BaO, SiO₂, K₂O, destacando-se com maiores porcentagens a SiO₂ e o K₂O. Por sua vez, os elementos imóveis Al₂O₃, Fe₂O₃, ZrO₂ e TiO₃ também exibem altas concentrações.

Tabela 3: Tabela da Geoquímica Total do perfil 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ELEMENTO QUÍMICO EM PORCENTAGEM															
2	AMOSTRA	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O	BaO	ZrO ₂	TiO ₃	CaO	Y ₂ O ₃	Rb ₂ O	SrO	ZnO	NbO	Sm	Ac
3	TA02A	47.344	19.112	16.046	12.427	1.910	1.017	0.923	0.829	0.102	0.086	0.082	0.069	0.51	0.0	0.0
4	TA02B	36.035	24.136	27.471	7.303	2.159	0.534	0.895	1.147	0.107	0.025	0.063	0.071	0.54	0.0	0.0
5	TA02C	34.971	25.266	25.967	6.225	4.694	0.480	0.258	1.472	0.216	0.030	0.055	0.080	0.040	0.220	0.027

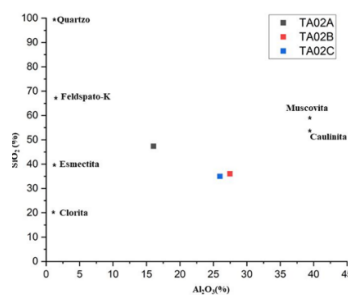
O nível TA02C e TA02B encontram-se em estágio de maturidade geoquímica maior do que o nível TA02A. Tal interpretação pode ser validada através do gráfico do índice de CIA, o qual apontou que os níveis TA02C e TA02B estão inseridos na zona de intemperismo forte, o nível TA02A intemperismo fraco.

Figura 6: Gráfico do Índice de CIA do perfil 2



Fonte: O autor (a), 2024.

Figura 7: Gráfico do índice de Ruxton do perfil 2



Fonte: O autor (a), 2024.

Figura 8: Gráfico de Paleoclima do Perfil 2

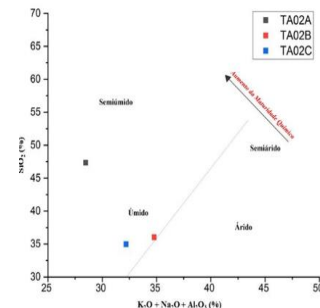


Tabela 4: Tabela com os valores dos índices de CIA e RI do perfil 2

Amostras	Valores dos índices de Intemperismo	
	CIA	RI
TA 02A	56	3
TA 02B	76	1,31
TA 02C	80	1,34

Fonte: O autor (a), 2024.

Os resultados a partir do índice de RI o índice de CIA, a qual aponta o nível TA02C e TA02B com maior grau de intemperismo, e o nível TA02A em menor grau.

Nos Resultados, deverá constar a esquematização dos dados encontrados, na forma de categorias analíticas e sistematização dos achados empíricos.

As discussões (análises) geradas a partir dos resultados deverão ser criativas, inovadoras e éticas, de maneira a corroborar com as instruções de pesquisa científicas do



país. Levando em consideração a referência a autores e teorias, bem como referenciando os resultados encontrados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise geoquímica a partir da aplicação dos índices de CIA, RI e Paleoambiente comprova que mesmo diante de um ambiente de maior umidade, consagrado como Brejo de Altitude, a cobertura superficial apresenta pouco desenvolvimento geoquímico, como também constata que os materiais constituintes são de origem alóctone e foram gerados a partir de variações climáticas úmidas e semiúmidas.

O paleoclima da região, aliado à ocorrência de argissolos e à hidrodinâmica dos sedimentos, permite uma compreensão mais profunda das variações entre períodos interglaciais, marcando os processos de formação e evolução dos solos. Esses eventos extremos, combinados com processos erosivos e sedimentares sucessivos, desempenharam um papel fundamental na modelagem do relevo e no impacto sobre a vegetação da região. A interação desses fatores ao longo do tempo permitiu a formação dos solos observados, proporcionando um registro importante das dinâmicas climáticas e geológicas passadas.

Palavras-chave: Granulometria a laser, Geoquímica, Sedimentos colúviais.

REFERÊNCIAS:

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.

FONSECA, D. N. **Evolução Geomorfológica e Sedimentação Neocenozóica na Porção Continental da Bacia Paraíba, PE/PB**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, 189p. 2018

LIRA, D. R. **Evolução geomorfológica e paleoambiental das bacias do Riacho do Pontal e GI-8 no Sub-Médio São Francisco**. Recife, PE. 234f. 2014. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, 2104.

PAPINI, C. J.; NETO, R. M. L. **Análise granulométrica de pós-metálicos por difração de laser via seca**. 17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2006.

RIBEIRO, I. **Análise granulométrica de solos tropicais com granulômetro a laser**. 59 f. Monografia. ENC/UEG, 2014. RORIZ, C. O. **Análise estatística do comporta**.

SANTOS, J. D. C. **Evolução geomorfológica da paisagem da Bacia Hidrográfica do Riacho do Meio, afluente do rio Ipanema, Pesqueira-PE. 2024**. Dissertação (Mestrado em Geografia) -Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.