



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS - CFCH
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS - DCG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGeo

ÍTALO RODRIGO PAULINO DE ARRUDA

**ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DOS DEPÓSITOS DE ENCOSTA NO MUNICÍPIO
DE CARPINA, ZONA DA MATA NORTE - PE**

RECIFE – PE

2020

ÍTALO RODRIGO PAULINO DE ARRUDA

**ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DOS DEPÓSITOS DE ENCOSTA NO MUNICÍPIO
DE CARPINA, ZONA DA MATA NORTE – PE**

Dissertação de Mestrado elaborado junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – Área de concentração em Dinâmica das paisagens naturais e ecossistemas, Linha de pesquisa em Dinâmica superficial e climática das paisagens naturais tropicais úmidas e semiáridas - como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Danielle Gomes da Silva Listo.



RECIFE

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

A779a Arruda, Ítalo Rodrigo Paulino de.
Análise geomorfológica dos depósitos de enconsta no município de Carpina,
Zona da Mata Norte - PE / Ítalo Rodrigo Paulino de Arruda. – 2020.
166 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Danielle Gomes da Silva Listo.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2020.
Inclui referências.

1. Geografia. 2. Geologia estratigráfica – Quaternário. 3. Mudanças ambientais.
4. Morfoestratigrafia. I. Listo, Danielle Gomes da Silva (Orientadora). II. Título.

910 CDD (22. ed.)

(BCFCH2021-165)



ÍTALO RODRIGO PAULINO DE ARRUDA

**ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DOS DEPÓSITOS DE ENCOSTA NO MUNICÍPIO
DE CARPINA, ZONA DA MATA NORTE – PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em geografia.

Aprovada em: 06/11/2020.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Danielle Gomes da Silva Listo (Orientadora – Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Vânia Sílvia Rosolen (Examinadora Externa)
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Profa. Dra. Rhaissa Francisca Tavares de Melo (Examinadora Externa)
Faculdade Luso-Brasileira



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO



PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO
EM GEOGRAFIA



Laboratório de Geomorfologia e Geotecnologias da UFPE



Grupo de Estudos em Mapeamento
Geomorfológico e do Quaternário Continental

Ao meu Grandioso Deus, a minha família, aos meus grandes amigos, aos meus professores e mestres, aos colegas e a todos que fizeram parte desta longa caminhada... Ontem foi o começo, HOJE outra batalha e isso me prepara para a guerra! #vivaaosus

*Um passo à frente todos os dias.
É bi, é bi, é bicampeão!*



AGRADECIMENTOS

Imensamente e infinitamente a Deus! Eu só tenho a agradecer ao Pai Celestial! Chegar até aqui não foi fácil, mas nunca me faltou fé. Dedico a Ti, todos os meus agradecimentos. Toda Honra e Toda Glória somente a Ti, perante a Ti. Obrigado Senhor!

Á todos os meus familiares, pais, irmão, avós maternos e paternos (in memoriam), tios (as), primos (as), padrinhos e madrinhas, afilhados, agregados, amigos e colegas próximos. Um beijo e abraço no coração de todos(as)! Em especial aos meus pais Rosicleide Tavares de Melo Arruda e Itamar Arruda por todo o apoio e dedicação durante a minha caminhada de vida. Todo esse conjunto é a base na qual eu sou hoje. Agradeço de coração a cada um que passou na minha vida! Ao meu Pai adotivo, Gilvan Santana (in memoriam) por todo o apoio, credibilidade e por sempre acreditar no meu sucesso. A minha querida Mãe adotiva Vânia Santana.

A minha orientadora Profa. Dra. Danielle Gomes da Silva Listo, por ter me aceitado, acreditado e orientado desde a graduação. Muitíssimo obrigado pelo voto de confiança, pelas conversas, sugestões, correções, pelo compromisso e todas as oportunidades. Obrigado por fazer parte do meu crescimento como cidadão, professor e pesquisador. Obrigado por acreditar no meu esforço, no meu trabalho e nas minhas habilidades e competências.

A minha grande amiga Profa. Dra. Thaís de Oliveira Guimarães, por todo carinho e apoio em diversos momentos e se fazer presente até hoje. Por acreditar em mim desde o início, por me orientar também (já falei e volto a repetir: com você escrevi meu primeiro trabalho acadêmico). Por compreender e ir comigo a fundo nas minhas hipóteses e achar solução para tudo. Sempre lhe dando trabalho né!?. Agradeço-te por todas as nossas conversas, as noites frias de desabafos, os cuidados, carisma e atenção de sempre. Desculpe-me pelas vezes que tanto lhe atrapalhei. Pelas excelentes puxadas de orelha! Obrigado por me deixar fazer parte de sua vida pessoal, profissional e acadêmica. Você foi, e é essencial na minha vida. Desejo-te o melhor de sempre. Eu só tenho a te agradecer por tudo! Você é o meu Decifrando a Terra em pessoa!

Meus sinceros agradecimentos aos amigos que a vida acadêmica me proporcionou e que são especiais na minha vida: Ao Gerlando Rodrigues de Lima, a Keila Suzana Glicério de Assis, Larissa Furtado Lins dos Santos, Viviane Pedroso Gomes, Wenderson Sávyo Aguiar da Silva, Stelandia Kaline Reis Silva, Aline de Freitas Tavares, Alexandre Martins Pinho, Rita de Cássia Gomes Lopes, Igor Carlos Dos Santos Nascimento, Jônatas Nascimento da Costa, Vicente

Batista Rangel, José Fabio Gomes da Silva, Lucas Antonio Cardoso da Silva, Sinara Gomes de Sousa, Sergio Bernardes da Silva, . Esses foram da academia para a vida!

A minha grande e imensurável amiga Viviane Trajano da Silva. Eu jamais poderia deixar de agradecer a você! Você foi uma das melhores coisas que me apareceu na academia. Nossos campos, nosso cuscuz, as bicadas e as enrolações. Vivemos um bocado juntos e temos muitas memórias para recordar. Saudades das lembranças que a gente ainda vai construir juntos. Amo você! Meu muitíssimo obrigado! Tu sabes que aqui tem um pedacinho teu, né?

Aos meus grandes amigos: Mario Vinicius de Oliveira Mota, Maria Aline Freitas Ferreira, Helton Danilo Rocha dos Santos, Lindaci Cavalcanti de Azevedo, Dijanete Carneiro Silva de Oliveira, Nazady Albertina Simão, Maria Madalena de Albuquerque, Bruno Souza Costa, Mônica Gabriella I. do Nascimento, Alice Barros da Silva, Thales Lima, Michel Bruno, Mery Arruda, Leonardo Mendonça, Emmanuel Franco Neto, Enfermeiro Joel, Alydyanny, Suel Queiroz, Thaline Rodrigues, Alice Amorim, Nelida Souza, Clara Nazário, Erika Nazário, Marilene Santos, Tia Aninha (Ana Cleide), Tio Mário, aos amigos da família Pio X, Juliana Gonçalves, Júlia Carmem, Lohwanna Menezes, Mery Arruda e tantos outros por me aguentarem nesse período de estresse... e por me compreenderem nos dias e farras que estive ausente.

À Banca examinadora, por todas as sugestões e contribuições para melhoria desse trabalho. Em especial a Profa Vânia Silvia, Profa Rhaissa Tavares, Profa Thais Guimarães e Prof Rodrigo Dutra por terem aceito o convite à formação da minha banca examinadora. Meu muitíssimo obrigado a todos vocês!!! Aos Professores que contribuíram com a minha qualificação de mestrado.

Em especial a Profa Dra. Vânia Silvia Rosolen pelo apoio nas interpretações que foram fundamentais no desenvolvimento deste trabalho e por sua participação nesta banca. A minha amiga Msc. Fabiana Souza Ferreira, por ter tanto me ajudado nas horas de desespero e aflições. Ao Vanderlei de Farias (UNESP – Rio Claro) por ter feito o canal de comunicação e ter apresentado a Profa. Vania a Fabiana e conseqüentemente chegar até mim. Obrigado de coração a vocês dois!

Ao Laboratório de Geomorfologia e Geotecnologias (GEOTEC) da UFPE, e aos amigos e colegas que ali fazem parte e aos que construí uma parceria. Em especial ao Prof. Dr. Fabrizio de Luiz Rosito Listo e ao grande Igor Feoli por todo apoio e assistência. Aos grupos parceiros do GEOTEC: Grupo de Pesquisa em Geotecnologias Aplicadas a Geomorfologia de Encostas e Planícies – ENPLAGEO e ao Grupo de Estudos em Mapeamento Geomorfológico e do

Quaternário Continental – GEODEQC. Essa minha família do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE é enooooorme!

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica – LABOGEO em nome do Prof. Dr. Antonio Vicente Ferreira Junior por disponibilizar o espaço físico e equipamentos para os trabalhos de gabinete. A Técnica Luciana França por toda ajuda e apoio. Meu muitíssimo obrigado.

Ao meu orientador do Doutorado, Prof. Dr. Gorki Mariano, por sua enorme ajuda na obtenção dos resultados desta pesquisa. Ao Geolab - Soluções em Geologia pela preparação e confecção das lâminas de solo, em nome do meu amigo grande Msc. João Pedro Santana Bezerra e da minha amiga extraordinária Msc Rafaela Henrique Mendes França. Vocês foram cruciais! Obrigado!

Ao Departamento de Geografia e a todos que fazem parte, em especial a Itamar e Jaqueline. Ao Programa de Pós Graduação em Geografia e a todos fazem parte desta família, em especial a Eduardo Veras, por ser sempre tão solícito e atencioso em seu trabalho, ajudando inúmeras vezes no desenrolar das burocracias. Meu muitíssimo obrigado a todos estes funcionários e aos professores Metres e Doutores.

A Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC pela disponibilidade de dados cruciais no desenvolvimento desta pesquisa. Em especial ao amigo Prof. Luiz Augusto Clemente da Silva pela atenção e disponibilização de materiais essenciais para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo apoio financeiro a pesquisa, através da concessão da bolsa (12 meses) a nível de Mestrado.

E a todas as pessoas que mesmo aqui não citadas, direta ou indiretamente, contribuem com a minha caminhada. “Cola em mim, é sucesso garantido!”

“A CASA GRANDE SURTA QUANDO A SENZALA APRENDE A LER E
ESCREVER, IMAGINE QUANDO UM DE NÓS VIRA MESTRE”

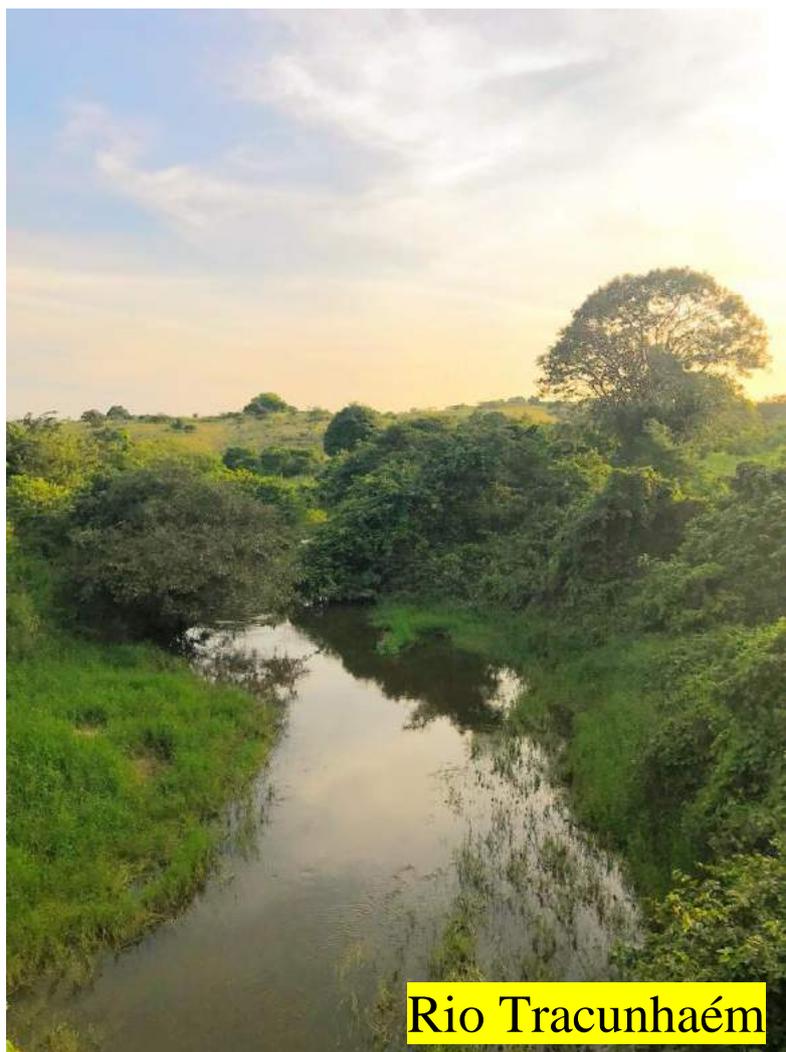
Vai ter Mestre e Doutor na Família Tavares e Arruda, sim!

Meu muitíssimo obrigado a todos!

Prof. Ítalo Arruda



Rio Capibaribe



Rio Tracunhaém

É de se esperar que, antes que a progressiva deterioração dos ambientes terrestres torne impossível a sobrevivência dos seres vivos (seres humanos, animais e vegetais), sejam tomadas providências decisivas (SUGUIO, 2008, p.07).



RESUMO

As mudanças ambientais ocorridas no Quaternário tardio proporcionaram a evolução morfológica do relevo atual. Os depósitos de colúvio, hoje encontrados na paisagem, são resultados de eventos que ocorreram dentro desse curto intervalo de tempo geológico. Nesse sentido, os estudos e interpretações da evolução da paisagem permitem o resgate das mudanças e transformações ocorridas no ambiente, possibilitando através da abordagem morfoestratigráfica e a junção de várias técnicas, a reconstrução paleoambiental/paleoclimática da área em estudo. Portanto, a pesquisa em tela, analisou qualitativamente a dinâmica geomorfológica das encostas situadas no município de Carpina - Pernambuco, buscando compreender a gênese, desenvolvimento, consolidação e conexão com os variados sistemas bióticos e abióticos presentes na área. Para isso, elaborou-se um mapeamento geomorfológico; analisou-se as propriedades sedimentológicas (físico-químicas) e pedológicas dos depósitos sedimentares, juntamente com a análise geocronológica e comparativa de tais depósitos, a partir do método de Luminescência Opticamente Estimada (LOE) na tentativa de correlacionar os eventos modificadores com as idades encontradas. Com isso, buscou-se estabelecer as áreas que antes foram receptoras de materiais e hoje são fornecedoras, além da maturidade do material frente ao intemperismo e os mecanismos desencadeadores da formação e deposição das coberturas superficiais identificadas. Com posse das análises e dos dados, foi possível certificar que os episódios deposicionais estão na sujeição de agentes desencadeadores de gêneses distintas, sendo eles os eventos climáticos regionais ocorridos durante variados imputs de alta energia que aconteceram entre o pleistoceno superior (Último Máximo Glacial nos eventos Herinch 2/1) e o Holoceno (durante o evento Ótimo Climático). Foi possível também estabelecer uma sequência de eventos formativos na paisagem possibilitando a correlação das mudanças ambientais do Quaternário nos depósitos de origem coluvial nas áreas conservadas do tabuleiro e vertentes até os dias atuais, na tentativa de preencher lacunas no cenário geomorfológico na Zona da Mata Norte Pernambucana, contribuindo também para o planejamento ambiental e gestão territorial.

Palavras-chave: Quaternário tardio; Mudanças ambientais; Depósitos coluviais; Morfoestratigrafia.



ABSTRACT

The environmental changes that occurred in the late Quaternary provided the morphological evolution of the current relief. Colluvium deposits, now found in the landscape, are the result of events that occurred within that short geological time interval. In this sense, the studies and interpretations of the evolution of the landscape allow the rescue of the changes and transformations occurred in the environment, making possible, through the morpho-stratigraphic approach and the combination of several techniques, the paleoenvironmental / paleoclimatic reconstruction of the area under study. Therefore, the research on screen, qualitatively analyzed the geomorphological dynamics of the slopes located in the municipality of Carpina - Pernambuco, seeking to understand the genesis, development, consolidation and connection with the varied biotic and abiotic systems present in the area. For this, a geomorphological mapping was elaborated; the sedimentological (physical-chemical) and pedological properties of sedimentary deposits were analyzed, together with the geochronological and comparative analysis of such deposits, using the Optically Stimulated Luminescence (LOE) method in an attempt to correlate the modifying events with the ages found. With this, it was sought to establish the areas that were once material receptors and are now suppliers, in addition to the material's maturity in the face of weathering and the mechanisms that trigger the formation and deposition of the identified surface coverings. With the analysis and data in hand, it was possible to certify that the depositional episodes are subjected to agents of different genesis, being the regional climatic events that occurred during various high energy inputs that happened between the upper pleistocene (Last Glacial Maximum in the events Herinch 2/1) and the Holocene (during the Great Climate event). It was also possible to establish a sequence of formative events in the landscape enabling the correlation of Quaternary environmental changes in colluvial deposits in the conserved areas of the board and slopes until the days current, in an attempt to fill gaps in the geomorphological scenario in the Zona da Mata Norte Pernambucana, also contributing to environmental planning and territorial management.

Keywords: Late Quaternary; Environmental changes; Colluvial deposits; Morphostratigraphy.



LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Mapa de localização do Município de Carpina e da área de estudo. Fonte: Adaptado do IBGE (2019). 43
- Figura 2** - Climograma do município através de dados obtidos pelo Posto Carpina (Est. Exp. de Cana-de-Açúcar). Fonte: Agritempo, 2020. 45
- Figura 3** - Arcabouço litológico e de lineamentos estruturais de detalhe da área de estudo. Fonte: Adaptado da CPRM (2014). 48
- Figura 4** - Mapa das principais drenagens na área de estudo, associadas aos controles estruturais existentes. 51
- Figura 5** - Mapa de classes de solos da área de estudo. Fonte: Adaptado do ZAPE (2010) 54
- Figura 6** - Unidades de relevo da área de estudo conforme Mapa de Geodiversidade do Estado de PE. Fonte: Adaptado do CPRM (2010). 57
- Figura 7** - Modelo Digital de elevação da área de estudo. 58
- Figura 8** - Colinas suaves e onduladas ao noroeste da área urbana. 59
- Figura 9** - Área com poucas ondulações e bastantes dissecadas ao Norte do Piemonte da Borborema. 60
- Figura 10** - Área de antiga cabeceira de drenagem. No topo (A), área urbana sobre tabuleiro costeiro; no meio desse vale, planície de inundação do antigo braço fluvial do Rio Capibaribe. 61
- Figura 11** - Mapeamento de Perfil Topográfico no MDE da área de estudo. 62
- Figura 12** - Transecto das variações topográficas com imagens demonstrativas das formas morfológicas do relevo atual da área de estudo. 63
- Figura 13** - Transecto das variações topográficas com imagens demonstrativas das formas do relevo atual no município de Carpina – Pernambuco. 64

Figura 14 - Área com resquícios da Mata Atlântica (seta amarela) e bordas com intenso cultivo da cana de açúcar (seta vermelha).....	65
Figura 15 - Área de Tabuleiro com expansão urbana e resquícios de vegetação da Mata Atlântica (seta amarela) nas margens da PE053 sentido sul – em direção ao município de Lagoa de Itaenga.....	66
Figura 16 - Mapa com Índice vegetacional (NDVI) do município de Carpina/PE.	67
Figura 17 - Coleta de sedimento coluvial em área de abertura por ação antrópica para construção de moradia (Ponto 1). Fonte: Autor (2019).....	73
Figura 18 - Coleta de sedimento coluvial em abertura de estrada por ação antrópica para acesso a área rural (Ponto 2).	74
Figura 19 - Pesagem da amostra para peneiramento úmido. Fonte: Autor (2019)	75
Figura 20 - Peneira (2000mm) com sedimentos grossos.	77
Figura 21 - Diagrama representando os diferentes graus de arredondamento e esfericidade dos minerais que serão analisados Fonte: Adaptado de (Powers, 1982 apud Tucker, 1995).....	79
Figura 22 - Extração de amostra para análise micromorfológica.	80
Figura 23 - Material com impregnação da resina e endurecedor. Durante o preparo, é necessário indicar o topo e as fáceis do material.....	81
Figura 24 - Topos aguçados em forma de cristas ao norte da área de estudo.	89
Figura 25 - Topos aguçados entre as colinas dissecadas.	90
Figura 26 - Inselberg aflorado nos Tabuleiros Conservados.	91
Figura 27 - Mares de Morros com formato convexo.	92

Figura 28 - Topo Tabular (Tabuleiro predominante da área de estudo) às margens da PE090.	93
Figura 29 - Imagem panorâmica entre um topo tabular e outro.	93
Figura 30 - Transecto entre tabuleiros e área de coleta. Na imagem incisão de uma antiga cabeceira de drenagem. Fonte: Adaptado do Google Eart Pro 2020.....	94
Figura 31 - Abertura de terreno por ação antrópica em vertente planar.	94
Figura 32 - Vertentes Planares com cobertura em colúvio sob a Formação Barreiras.	95
Figura 33 - Representação das vertentes planas com recobrimento em colúvio.	95
Figura 34 - Vertentes dos tabuleiros costeiros com estratificação.	96
Figura 35 - Os pontos de A a W foram plotados em encostas que possuem o mesmo tipo de seção estratificada.....	97
Figura 36 - Vertentes côncavas com cobertura em elúvio e canal de drenagem estreito.	98
Figura 37 - Terraço fluvial localizado às margens do Rio Capibaribe.	99
Figura 38 - Planície fluvial do Rio Capibaribe. Seta Vermelha = Rio Capibaribe; Seta Amarela: Planície.	99
Figura 39 - Transecto entre a vertente, o canal principal do Rio Capibaribe e outra vertente convexa. Fonte: Adaptado do Google Earth Pro 2020.	100
Figura 40 - Canal principal do Rio Capibaribe (Seta Vermelha) - Nas margens, planície fluvial com uso e ocupação por parte da Usina Petribú – Cultivo de Cana de Açúcar (Seta Amarela).	100
Figura 41 - Rio Capibaribe à esquerda da imagem (seta vermelha); Planície fluvial com plantação de cana de açúcar e uso agrícola (seta amarela) e abertura de estrada no antigo terraço (seta azul).....	101

Figura 42 - Mapeamento Geomorfológico para a área de estudo.	102
Figura 43 - Transecto entre os dois pontos de coleta. Fonte: Adaptado do Google Earth Pro 2020.	103
Figura 44 - Modelo Digital do Terreno e perfis topográficos da área de coleta. Os círculos representam a área de depósito de colúvio.	104
Figura 45 - Depósito coluvial na encosta planar do Tabuleiro costeiro.	105
Figura 46 - Medição do depósito de colúvio – Ponto 01.	106
Figura 47 - Coleta de sedimentos para datação em LOE.	107
Figura 48 - Seção vertical do depósito de colúvio.	108
Figura 49 - Pacote sedimentar com presença de descontinuidade formada por uma stone-line (Linha amarela).....	109
Figura 50 - Área de depósito coluvial – Formação Barreiras (Ponto 1).	110
Figura 51 - Modelo Digital do Terreno para a área de coleta e perfis topográficos traçados. Os círculos representam o local de extração do depósito.	112
Figura 52 - Área de coleta do Ponto 2 – Estrada para área rural do município.	113
Figura 53 - Medição e análise do perfil in loco em rampa sedimentar.	114
Figura 54 - Seção vertical do depósito de colúvio.	115
Figura 55 - Análise da seção vertical do depósito sedimentar.	116
Figura 56 - Análise da rampa coluvial associada às estruturas existentes na área.	117

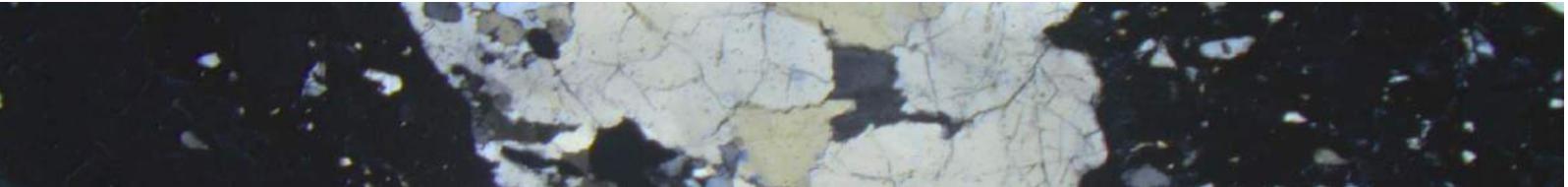


Figura 57 - Digrama triangular segundo Folk & Ward para os sedimentos do ponto 01.	119
Figura 58 - Digrama triangular segundo Folk & Ward para os sedimentos do ponto 02.	120
Figura 59 - Morfoscopia dos sedimentos do ponto 01.	121
Figura 60 - Morfoscopia dos sedimentos do ponto 02.	122
Figura 61 - Distribuição granulométrica do Ponto 01.	127
Figura 62 - Distribuição granulométrica do Ponto 02.	128
Figura 63 - Curva cumulativa do ponto 01.	129
Figura 64 - Curva cumulativa do ponto 02.	130
Figura 65 - Diagramas de Pejrup do ponto 01.	131
Figura 66 - Diagramas de Pejrup do ponto 02.	132
Figura 67 - Lâmina de coleta da medição 0,10cm - PONTO 01.	134
Figura 68 - Lâmina de coleta da medição 0,60cm - PONTO 01.	136
Figura 69 - Lâmina de coleta da medição 120cm - PONTO 01.	138
Figura 70 - Lâmina de coleta da medição 0,30cm - PONTO 02.	141
Figura 71 - Lâmina de coleta da medição 0,80cm - PONTO 02.	144

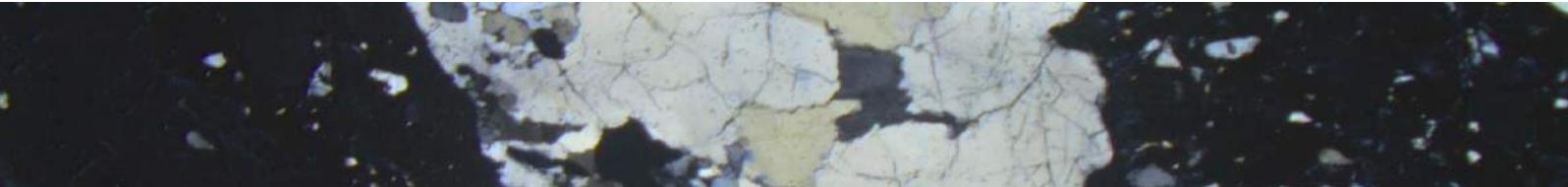
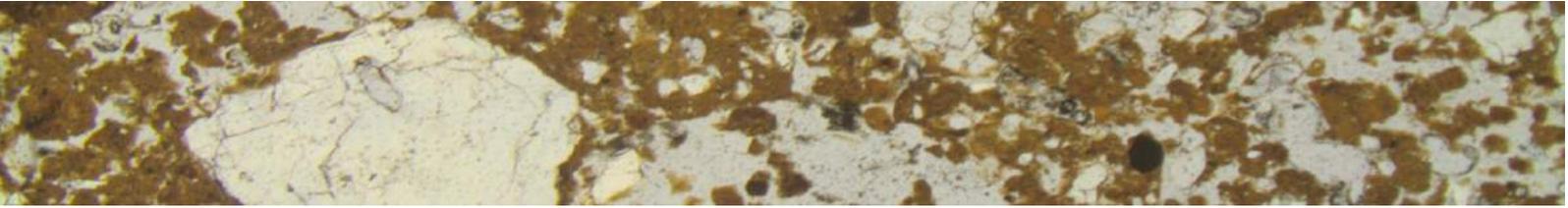


Figura 72 - Lâmina de coleta da medição 160cm - PONTO 02.	146
Figura 73 - Curva de Vostok com paleotemperaturas registradas nos últimos 12.000 mil anos. No gráfico temperatura média global X idade. Fonte: Adaptado de Petit et al., (1999).....	149
Figura 74 - Curva de Vostok com paleotemperaturas registradas entre 25.000 a 10.000 A.P. No gráfico temperatura média global X idade. Fonte: Adaptado de Petit et al., (1999).....	150
Figura 75 - Inter-relação entre idades encontradas no Município de Carpina/PE plotadas na Curva de Vostok com Paleotemperaturas e indicação de eventos climáticos ocorridos entre o Holoceno e Pleistoceno Superior (Petit et al., 1999).....	152



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala quantitativa de Folk e Ward (1957) para descrição do grau de seleção.	76
Tabela 2 - Escala quantitativa de Folk e Ward (1957) para descrição do grau de assimetria.	76
Tabela 3 - Tabela 3. Escala quantitativa de Folk e Ward (1957) para descrição de valores de curtose.....	76
Tabela 4 - Análise morfooscópica da fração 0,25 mm do ponto 01.	123
Tabela 5 - Análise morfooscópica da fração 0,25 mm do ponto 02.	124
Tabela 6 - Parâmetros estatísticos das unidades deposicionais do ponto 01.	124
Tabela 7 - Resultados estatísticos Folk Ward (1957) para o Ponto 01.	124
Tabela 8 - Parâmetros estatísticos das unidades deposicionais do ponto 02.	125
Tabela 9 - Resultados estatísticos Folk Ward (1957) para o Ponto 02.	125
Tabela 12 - Distribuição anual de Th, U, K e cálculo das idades finais das amostras do ponto 01.	147
Tabela 13 - Distribuição anual de Th, U, K e cálculo das idades finais das amostras do ponto 02.	148



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CER	COLÚVIO EM ENCOSTA PRÓXIMO AO RIO
CPRM	COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
CTD	COLÚVIO EM TABULEIRO DISSECADO
H1	EVENTO HERINCH 1
H2	EVENTO HERINCH 2
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
INQUA	INTERNATIONAL UNION FOR QUATERNARY RESEARCH
UMG	ÚLTIMO MÁXIMO GLACIAL
ZAPE	ZONEAMENTO AGROECOLÓGICO DE PERNAMBUCO

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	JUSTIFICATIVA.....	25
1.2	OBJETIVOS	25
1.2.1	Objetivo geral	25
1.2.2	Objetivos específicos	25
2	CONCEPÇÕES TEÓRICO-METODOLÓGICAS	27
2.1	ANÁLISE GEOAMBIENTAL DA PAISAGEM: UM BREVE RELATO	27
2.2	O PERÍODO QUATERNÁRIO, A DINÂMICA DO RELEVO ATUAL E OS DEPÓSITOS COLUVIAIS.....	29
2.2.1	Período Quaternário: Uma breve introdução aos estudos da morfologia da paisagem recente	29
2.2.2	A dinâmica do relevo nos modelados de acumulação	32
2.2.3	Depósitos de gênese eluvial	33
2.2.4	Depósitos de gênese coluvial	34
2.2.5	Depósitos de gênese aluvial	35
2.3	O USO DA ABORDAGEM MORFOESTRATIGRÁFICA NA RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL DE ÁREAS ÚMIDAS NO NORDESTE DO BRASIL	38
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	42
3.1	ASPECTOS CLIMÁTICOS	44
3.2	ARCABOUÇO LITOLÓGICO	46
3.3	REDE DE DRENAGEM	49
3.4	ASPECTOS PEDOLÓGICOS	52
3.5	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	55
3.6	ASPECTOS VEGETACIONAIS DA ÁREA.....	65
4	METODOLOGIA	69

4.1	PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA E CONSTRUÇÃO DE BANCO DE DADOS DA ÁREA DE ESTUDO	69
4.1.1	Material de apoio aos mapas confeccionados	69
4.1.2	Arcabouço Litológico em escala de detalhe e de lineamentos estruturais	70
4.1.3	Mapeamento dos aspectos geomorfológicos.....	70
4.1.4	Mapa com classificações pedológicas	71
4.1.5	Atividades de campo e coletas de materiais.....	72
4.2	ANÁLISES EM LABORATÓRIO	74
4.2.1	Abordagem Morfoestratigráfica.....	74
4.2.2	Análise Granulométrica.....	75
4.2.3	Pipetagem.....	77
4.2.4	Morfoscopia	78
4.2.5	Micromorfologia de Solos.....	80
4.2.6	Datação em LOE	82
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
5.1	MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO CONFORME METODOLOGIA DO IBGE	86
5.1.1	Domínios Morfoestruturais	86
5.1.2	Região Geomorfológica.....	87
5.1.3	Unidade Geomorfológica	89
5.2	ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DOS DEPÓSITOS DE ENCOSTA	103
5.2.1	Análise da seção vertical CTD (Ponto 01)	103
5.2.2	Análise da seção vertical CER (Ponto 02)	111
5.3	ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA DOS DEPÓSITOS DE ENCOSTA	118
5.3.1	Granulometria e morfoscopia.....	118
5.3.2	Micromorfologia de solos nas áreas de coleta	133
5.3.3	Datação por Luminescência Oticamente Estimulada (LOE)	147

5.4	INTERPRETAÇÃO DA DINÂMICA AMBIENTAL PARA A ÁREA DE ESTUDADO	150
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
	REFERÊNCIAS	156

1 INTRODUÇÃO

Compreender a dinâmica do relevo a partir de estudos geomorfológicos, aplicando como base de análise às áreas de dissecação (produção de sedimentos) e acumulação (estocagem de sedimentos), vem permitindo identificar e/ou compreender mudanças ocorridas na estrutura, na forma da paisagem e os elementos a ele conectados, em específico no relevo.

Tais modificações, de grandes magnitudes em escalas regionais/globais, que ocorreram no Período do Quaternário foram capazes de desorganizar/reorganizar os processos geomórficos atuais. Portanto, a análise da paisagem dentro dos âmbitos da geomorfologia, geotecnologias e sua ascensão baseiam-se na combinação de diversas razões, em diferentes escalas de análise no espaço e tempo, que juntos influenciam e possibilitam os processos superficiais atuais e a reconstrução ambiental.

O período do Quaternário é definido pelo conjunto de dados disponíveis da *International Union for Quaternary Research* (INQUA), que presume seu início há aproximadamente 2,5 milhões de anos e é dividido em duas épocas distintas: o Pleistoceno com 2,4 M.a. (associada ao período Glacial) e o Holoceno (inputs de energia distintos, sendo eles mais quentes e úmidos, ao contrário do glacial), que abarca os últimos 11,5 mil anos da Terra. Este período foi marcado por intensas e recorrentes oscilações climáticas globais em forma de energias registradas em todas as épocas geológicas através de evidências que ficaram aprisionadas e incólumes em muitos lugares pelo mundo – sedimentos continentais e marinhos (SALGADO LABOURIAU, 1994; CHRISTOFOLETTI, 1999; SUGUIO, 2010; CORRÊA, 2001; MELO, 2014).

Dessa forma, esse período geológico recente, possibilitou o desenvolvimento de tudo que compõe a paisagem atual e as inter-relações do meio natural e ambiental. Nesse período também, o homem surge e se estabelece como principal agente modificador e potencializador do relevo. De acordo com Guimarães (2016), o meio natural se estabelece em modo geral como a soma dos elementos bióticos (com vida) e abióticos (sem vida) do Planeta, bem como a dinâmica de todos os processos a ele relacionados (ARRUDA & GUIMARÃES, 2019; ARRUDA & GUIMARÃES, 2020; LIMA, et al., 2021; ARRUDA, et al., 2021).

Em suma, a importância do Quaternário está estritamente relacionada com as mudanças ambientais e climáticas que ocorreram nesse curto intervalo no tempo geológico e que repercutiu em todo o planeta (MELO, 2014; FÔNSECA, 2018; SILVA, 2019). Neste sentido, Salgado-Laboriau (1994) afirma que, nos últimos 15 mil anos de existência da Terra, as

evidências geomorfológicas disponíveis hoje são de extrema importância para os estudos e interpretação da evolução paleoambiental e paleoclimática dos sedimentos continentais, pois este intervalo de tempo abarca o maior número de informações paleoecológicas existentes.

Estas informações incluem a história da civilização humana, as grandes intervenções da humanidade nos ecossistemas naturais e o possível desequilíbrio provocado por estas ações. Ressalta-se que as modificações provocadas pelo homem estão interconectadas nesse período, dentro dos últimos 300 mil anos. É dentro do Holoceno, que temos as maiores reorganizações e/ou modificações pelos processos naturais e antrópicos no relevo do mundo todo.

De acordo com diversos autores, no Nordeste do Brasil, encontram-se registros das variadas mudanças ambientais que ocorreram no Quaternário através de agentes exógenos e endógenos, responsáveis pelos diversos processos geomórficos e pela evolução da paisagem atual, evidenciando a existência de ciclos úmidos e secos alternados com fases áridas e semiáridas e a atuação neotectônica (CORRÊA, 2001; SILVA, 2007; SILVA, 2013; LIRA, 2014; LIMA, 2015; TAVARES, 2015; MONTEIRO, 2015; RANULPHO, 2016; FÔNSECA, 2018; SILVA, 2019; MELO, 2019).

Portanto, identificar e analisar as variadas formas do relevo, suas conectividades e desconectividades, na busca da compreensão dos arranjos morfológicos da topografia e da geodinâmica responsável pela gênese e modelagem da paisagem, ganha maior relevância mediante o auxílio que oferece ao entendimento da morfologia da paisagem atual, como elemento do sistema natural e condicionante da atividade humana e seus arranjos espaciais (SILVA, 2007; GALVÃO, 2012; SILVA, 2013; MELO, 2014; MELO, et al., 2016; ARRUDA, 2017; SOUSA, et al., 2019; SILVA, 2019; MELO, 2019).

Desta forma, os depósitos sedimentares são hoje os melhores geoindicadores para os estudos paleoclimáticos na geomorfologia do Quaternário, pois os minerais guardam as marcas do clima passado e dos agentes formadores e modificadores da paisagem (MELO, 2019). A proposta central que alicerça essa pesquisa é de caráter qualitativo, tendo em vista que a base teórico-metodológico foi por meio da análise do método morfoestratigráfico, na necessidade de analisar, interpretar e compreender toda a dinâmica dos processos de erosão/deposição atuantes na área de estudo.

O colúvio, sedimentos que foram transportados e conservados na encosta, se caracteriza como uma unidade morfoestratigráfica mais utilizada nos estudos paleoambientais e paleoclimáticos diante da sua capacidade em armazenar marcas (intemperismos e processos erosivos) que possibilitem a reconstituição da história geomórfica das paisagens (SILVA, 2013; RAMOS, 2014; MELO, 2014; MELO, 2019). Dessa forma, considerando que o material possui

diferentes sequências sedimentares, se constituem como registros valiosos que possui a história do relevo, e possibilita o entendimento e a cooperação entre a forma e o depósito, configurando-se como um dos mecanismos imprescindíveis à perspectiva das mudanças ambientais recentes.

A identificação e análise dos processos de encosta na área de estudo, foram consideradas neste trabalho sendo de importância fundamental para a determinação dos agentes modeladores das formas de relevo (SILVA & CORRÊA, 2009). Assim, a premissa norteadora deste estudo foi a de que esta evidência geomorfológica – o recobrimento sedimentar coluvial – embora aprisionada espacialmente, esteja associadas às flutuações climáticas que ocorreram no Quaternário superior, cujas pulsações de maior energia alcançaram até mesmo o Pleistoceno Superior, com repercussões notáveis sobre o registro sedimentar e arranjos paleoambientais da região corroborados em trabalhos de Corrêa (2001), Silva (2013), Melo (2014), Ramos (2014), Silva (2019), Silva, (2019), Fônsaca (2018) Melo (2019) entre outros.

Diante disso, a técnica de datação em LOE, micromorfologia de solos combinada aos estudos geomorfológicos de detalhe (SILVA, 2007) podem prover importantes dados, muitos deles inéditos, que irão gerar interpretações voltadas ao estudo da evolução de depósitos sedimentares (colúvios), propiciando inferir uma cronologia inicial para as causas ambientais nos quais o transporte e as deposições se procederam na paisagem (SILVA, 2013).

Portanto, o presente estudo proporcionou a análise da dinâmica ambiental do município de Carpina/PE, onde os dados obtidos permitiram identificar e entender a sequência evolutiva da paisagem e a extensão temporal nas análises dos sistemas físicos, em termos de processos, taxas, registros e respostas através do método morfoestratigráfico, na tentativa de preencher lacunas no cenário geomorfológico do município, contribuindo para o planejamento ambiental e gestão territorial.

1.1 JUSTIFICATIVA

O presente projeto de pesquisa vincula-se a uma linha de investigação voltada para as mudanças paleoambientais e climáticas do Quaternário tardio e seus desdobramentos sobre a interligação dos elementos e sistemas geomorfológicos continentais no Nordeste do Brasil, com ênfase sobre os depósitos quaternários (sedimentos) localizados em ambientes úmidos e subúmidos, áreas de transição entre o litoral e o agreste.

O foco principal deste trabalho está voltado para as correlações desses sistemas e possíveis interpretações do significado geomorfológico, paleoambiental e paleoclimático dos depósitos sedimentares inconsolidados e estocados nas vertentes dos tabuleiros conservados no município de Carpina, Zona da Mata Norte do estado de Pernambuco – Nordeste do Brasil.

Contudo, trabalhos desenvolvidos no segmento da geomorfologia histórica voltada para o Nordeste do Brasil em específico ao estado de Pernambuco têm demonstrado a necessidade de uma análise mais detalhada das áreas de depósitos no intuito de esclarecer a correlação entre: 1) áreas que antes foram receptoras de materiais que se acumularam, e hoje, na dinâmica atual, se estabeleceram como áreas fontes que dispõem de erosão e de transporte de sedimentos na paisagem; 2) as áreas que sofreram erosão formando materiais em decorrência de eventos de grande magnitude e baixa ocorrência que também possibilitaram o transporte (ora rápido, ora lento), posteriormente a estocagem desses materiais que passaram a ser colúvio e 3) das áreas com elementos conectivos (por exemplo, o rio) que possibilitam a estocagem de materiais (alúvios) na áreas de planície, possibilitando o entendimento e a gênese do relevo como resposta aos sistemas erosivo-deposicionais.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 **Objetivo geral**

A pesquisa ora apresentada tem por objetivo principal compreender, por meio dos depósitos sedimentares, a gênese e a evolução geomorfológica do município de Carpina/PE, buscando correlacionar suas implicações na configuração atual da paisagem com a dinâmica do Período Quaternário.

1.2.2 **Objetivos específicos**

Conforme o objetivo geral desse trabalho, alguns pontos em específicos foram determinados aspirando à sucessão sistemática de múltiplas informações e construção dos

estudos voltados ao desdobramento do objeto principal a esse estudo. Destarte, seguem os objetivos específicos:

- Realizar um levantamento do quadro natural da área de estudo para a compreensão da dinâmica local;
- Elaborar um mapeamento geomorfológico na necessidade de interpretar as atuais unidades morfoestruturais que condicionam a paisagem;
- Identificar e analisar a distribuição espacial dos depósitos sedimentares na área de estudo para compreensão da evolução do relevo dentro da escala geológica atual;
- Analisar as propriedades sedimentológicas e pedológicas dos depósitos somadas à análise geocronológica em LOE na tentativa de compreender a evolução da paisagem geomorfológica.
- Avaliar qualitativamente as taxas de sedimentação das áreas de estocagem de sedimentos da área, na tentativa de apresentar considerações sobre a dinâmica do relevo em questão.

2 CONCEÇÕES TEÓRICO-METODOLÓGICAS

A partir do vasto levantamento bibliográfico realizado neste estudo, verificou-se que existe disponível em periódicos, revistas e livros uma infinita gama de pesquisas que tratam da análise integrada da paisagem através do uso da abordagem geossistêmica, do período quaternário e dos depósitos sedimentares para reconstrução paleoambiental no Nordeste do Brasil, enfatizando os trabalhos recentes de Corrêa (2001); Silva (2007; 2013); Azambuja (2007); Melo (2008); Souza (2008); Galvão (2012); Ribeiro (2012); Ramos (2014); Lima (2014); Barros (2014); Amorim (2015); Tavares (2010, 2015); Lima (2015); Monteiro (2010; 2015); Silva (2016); Ranulpho (2016); Fônseca (2012; 2018); Barros (2018); Melo (2014; 2019); SouSa (2019) e Silva (2019) que muito têm contribuído para o entendimento dessa vertente dentro da Geografia Física, em especial da Geomorfologia para o Nordeste brasileiro.

Este capítulo apresenta uma discussão teórica e metodológica, sobre a evolução da paisagem, o Período do Quaternário, ambientes de deposição (depósitos sedimentares-colúvio/alúvio), abordagem morfoestratigráfica e reconstrução ambiental, trazendo como elementos a relevância desses estudos para o entendimento das dinâmicas ambientais e sua complexidade para a área de estudo.

2.1 ANÁLISE GEOAMBIENTAL DA PAISAGEM: UM BREVE RELATO

Compreender a evolução da Terra nunca foi uma tarefa fácil. Os domínios geológicos, geomorfológicos e antrópicos presentes em todas as paisagens do mundo sempre geraram muitas discussões e resultados para evolução significativa do homem. A Geografia, é a ciência encarregada justamente de analisar e compreender a superfície terrestre e a distribuição dos fenômenos significativos em qualquer paisagem do mundo.

Quando associada aos elementos com vida e sem vida e suas correlações, os estudos em específicos estão voltados para a Geografia Física. Mas, quando atreladas ao domínio antrópico e suas necessidades sociais fica de encargo da Geografia Humana. Ciente de que ambas conversam entre si e baseiam-se numa análise geoambiental, variando dos interesses e especificidades. Este trabalho, está voltado a uma análise geoambiental voltada para a Geografia Física em uma escala de análise de elementos que contam a história evolutiva de um determinado território.

Dentro da literatura científica, a definição da Geografia Física é de estar encarregada pela análise, compreensão e interpretação geoespacial de todos os elementos, processos e

mudanças que compõem um determinado ambiente: oriundas da interação e dinamismo dos elementos bióticos e abióticos, a própria Terra. A interação cíclica desses sistemas e/ou elementos estabelecem os sistemas ambientais em um determinado território, que por sua vez, dispõem uma rugosidade espacial que se caracteriza e materializa na superfície terrestre, sob influência contínua ou pontual de inputs de matéria e energia (CHRISTOPHERSON, 1994; CHRISTOFOLETTI, 2001; SOUSA, 2018; ARRUDA & GUIMARÃES, 2020).

Conforme Sousa (2019), a demanda pelo entendimento da natureza, dos múltiplos elementos e das variadas interrelações e correlações estabelecidas entre eles, sempre foi uma pauta de debates, discursos e de pesquisas nas ciências naturais, objetivando respostas para satisfazer as necessidades da humanidade, além da forte necessidade da sede de aprendizagem e conhecimento.

No ano de 1960, atrelado a este crescimento científico nas geociências voltado aos estudos ambientais surge a de maneira estruturada e organizada a perspectiva geossistêmica, com a inserção do termo geossistema no campo das ciências geográficas (SOUSA, 2019). Conforme Monteiro (1996) o geógrafo Russo Viktor Borisovich Sochava foi o pioneiro na construção e consolidação da análise geossistêmica na paisagem, acabando de vez com as antigas dicotomias existentes entre os diferentes ramos das ciências naturais que setorizavam de maneira distinta os elementos físicos e/ou naturais da paisagem geográfica a partir da fragmentação e dissociação destes com o meio ambiente.

Assim, com o avanço da análise e interpretação integrada da paisagem através da soma de variáveis de toda uma paisagem em um determinado espaço foi a quebra de um limite para a Geografia, em especial para Geografia Física. A inserção desta categoria de análise não só marcou uma nova forma de abordagem e análise dos elementos naturais, como também representou o fortalecimento da ciência geográfica e as discussões a ela relacionadas. O geossistema permitiu a união dos conceitos, categorias e sub-ramos na compreensão totalitária do meio físico e sua dinâmica com as relações do presente, somando também a participação antrópica (SOUSA, 2019).

Ainda de acordo com a autora supracitada, utilizar a abordagem geossistêmica não é uma tarefa simples, pois, faz-se necessária a compreensão da dinâmica, do funcionamento e evolução da paisagem, É válido mencionar que hoje existem diversas concepções na literatura quanto a conceituação do geossistema, as taxonomias e os métodos utilizados para classificar as unidades geossistêmicas em suas múltiplas escalas temporais e espaciais.

Para Monteiro (1996), o Geossistema postulasse em um paradigma para a Geografia Física, visando não só a tentativa de aproximação das diferentes esferas do meio natural, como

se referem as amplas áreas das ciências que tratam da relação entre os meio físico e/ou ambiental (geologia, geomorfologia, climatologia), mas levava a discussão uma certa aproximação, proporcionando um maior entrosamento entre os fatos sociais e os naturais.

Mabesoone (1983) apresenta em seu trabalho que os modelados de acumulação do relevo estariam ligados a uma abordagem geossistêmica de modelo processo-resposta, no qual os processos seriam definidos pelo tipo de energia que opera o sistema, e este seria regulado pelas características fisiográficas da área (MELO, 2014). Tendo em vista o caráter de entendimento integral dos fenômenos proposto por este trabalho, se faz necessário, utilizar como base a Teoria Geral dos Sistemas.

Neste sentido, quando pretende-se analisar a paisagem como um todo a abordagem mais utilizada é o Geossistema, desenvolvida no Brasil por Christofolletti (1999), onde o foco volta-se para uma visão na modelagem de sistemas ambientais e suas interações com as organizações espaciais. Reitera-se que a proposta dessa pesquisa foi comparativa, por meio da análise dos dados e o comportamento dos processos erosivos atuantes nas áreas de estudo.

2.2 O PERÍODO QUATERNÁRIO, A DINÂMICA DO RELEVO ATUAL E OS DEPÓSITOS COLUVIAIS

2.2.1 **Período Quaternário: Uma breve introdução aos estudos da morfologia da paisagem recente**

Este recente período geológico, divide-se em Pleistoceno, que vai desde os últimos 2,5 milhões de anos até cerca de 11.750 mil anos AP, e Holoceno que abrange os últimos 11.750 mil anos AP. Ambos momentos, são pontos chaves para o desenvolvimento dessa pesquisa. Sabe-se que as grandes alterações climáticas ocorridas nesse intervalo se caracterizam pelo fim de uma fase glacial com início de uma fase interglacial em nosso planeta.

Diferente do Pleistoceno, o Holoceno é um período geológico relativamente curto e suas evidências costumam ser mais numerosas e bem preservadas em relação aos períodos mais antigos. Os dados obtidos podem ser prontamente comparados com informações da mesma natureza, ligados aos processos atuais. Na literatura, é considerado como interglacial, por apresentar temperaturas médias mais quentes que separam os períodos glaciares. (CHRISTOFOLETTI; 1999; CORRÊA, 2001; SUGUIO, 2005, SUGUIO, 2010; SILVA, 2013; RAMOS, 2014; MELO, 2019). Sabe-se que as idades encontradas na área de estudo guardam informações desde o Pleistoceno Superior até os dias atuais.

Conforme Mello (1989), a atuação dos processos geomorfológicos ocorridos durante todo o Quaternário ficaram registrados nos modelados da paisagem, sejam estas expressas em sua totalidade ou não a partir da sua resistência à erosão, diferindo de outras evidências exumadas pelo fato de ainda estarem atuantes no modelado da paisagem atual (FÔNSECA, 2018). Portanto, é possível concatenar estes eventos a acontecimentos pretéritos, possibilitando prever possíveis respostas do sistema na tentativa da reconstrução da paisagem geomorfológica.

Dentro de uma concepção mais dinâmica, a evolução do relevo se dá de modo sistêmico, isto é, a partir das ações dos diversos fatores físicos que atuam de forma rápida (FÔNSECA, 2018), os eventos climáticos sobre os modelados geram processos geofísicos e dos fatores geoquímicos que deixarão evidências claras na paisagem geomorfológica (MELO, 2014).

Apesar das dificuldades na obtenção de informações sobre as glaciações em todo o planeta dificultarem o entendimento das características ambientais de cada ciclo, os dados obtidos até o presente permitem um progresso no entendimento da dinâmica climática global e as suas repercussões na paisagem. No que afirma Silva (2019), as mudanças climáticas geram alterações no desempenho das ações antrópicas, modificam a vegetação e de modo consequente alteram/modificam as taxas de erosão e denudação do relevo, o que torna significativo tentar analisar e compreender as últimas mudanças ocorridas no planeta e quais foram as suas possíveis consequências na evolução da paisagem geomorfológica da área em estudo.

Os estudos do Quaternário no Brasil remontam das primeiras décadas do século XX (SILVA, 2019). Entre os principais autores da época estavam João José Bigarella e Aziz N. Ab'Saber. Nos últimos anos, mais trabalhos foram surgindo na explicação da dinâmica do relevo. No contexto regional, voltado para o Nordeste do Brasil, esses trabalhos são mais recentes. Um dos problemas dessa baixa popularização das geociências é devido ao tamanho da região, no entanto, a temática voltada para a reconstrução paleoambiental e paleoclimática em depósitos de colúvio vêm crescendo nos últimos anos. De maneira mais abrangente, a maior parte das pesquisas relacionadas ao Quaternário Tardio, apontam para eventos deposicionais recentes na região, pertencentes em sua maioria ao Último Máximo Glacial, a transição Pleistoceno/Holoceno e ao Holoceno.

Um dos objetivos das pesquisas ligadas ao quaternário é a evolução geomorfológica de uma determinada paisagem, além de compreender quais elementos foram responsáveis pelos picos de sedimentação na área de estudo. Na pesquisa de Gurgel (2012), se estabeleceu a evolução morfotectônica pós-cretácea do Maciço do Pereiro. A área de estudo está localizada no núcleo do semiárido, e é limitada pela Zona de Cisalhamento de Jaguaribe e pela Zona de Cisalhamento Portalegre. Segundo a autora, estas zonas de cisalhamento apresentam evidências

de reativação dentro do cenozoico, na sua maioria, como falhas normais e de nível crustal raso. A sedimentação quaternária em torno da área de estudo se concentra em escarpas de falhas, num padrão geral em cascata, no qual as idades diminuem das cimeiras aos sopés das escarpas. O trabalho apresenta evidências de uma nova bacia quaternária, aqui denominada de Bacia Merejo.

Assim, através dos resultados obtidos por datações, conclui-se que há evidência de tectônica pós-cretácea na evolução morfológica, pois as suas escarpas recuam paralelamente às falhas, seguindo invariavelmente o *trend* das zonas de cisalhamento. A erosão das escarpas em grande escala de tempo é controlada pelas zonas de fraqueza geradas pelos falhamentos. Por outro lado, a erosão das escarpas em curtos espaços de tempos, com a formação dos depósitos coluvionares e horizontes pedogenizados, possui controle climático. A autora ainda conclui que na área de estudo existe a preponderância da tectônica pretérita e atual sobre os processos erosivos na evolução morfológica.

Lira (2014), realizou-se uma análise geomorfológica de uma deposição de sedimentos na porção oeste de Pernambuco especificamente dentro das Bacias hidrográficas Riacho do Pontal e GI-8, que possibilitou o surgimento de Latossolos. O autor, indica uma gênese climática controlada por fatores da circulação geral da atmosfera. Através de uma análise detalhada das propriedades sedimentológicas dos materiais, ele obteve a estruturação das formas de relevo que possibilitou a reconstrução dos processos de superfície terrestre atuantes na gênese dos modelados. Assim, segundo ainda o autor, os depósitos relacionados aos Latossolos, que integram a Planície do Rio São Francisco, são originados a partir da redução dos níveis das águas do Rio e conseqüente surgimento de barras arenosas, que foram retrabalhadas pelo vento durante os períodos de maior semiaridez, formando campos de dunas e mantos de areia em períodos mais úmidos.

Tavares (2015), pesquisou depósitos de encosta e do intemperismo nas superfícies de cimeira Maciço da Serra da Baixa Verde em função de controles estruturais cenozóicos, sendo estes os responsáveis pela criação dos espaços deposicionais no ambiente, assim como da disposição geométrica das bacias intraplanálticas presentes na área. O autor, estabeleceu uma análise na qual os componentes estruturais e de ordem erosiva se complementam. Daí a tectônica cria os loci deposicionais e o clima trabalha com a remoção dos mantos de intemperismo e conseqüente deposição desses sedimentos nos setores da média e baixa encosta. Segundo ele, os achados apontam para a ocorrência de fases quiescentes e de redinamização tectônica.

Nesse contexto, as evidências provavelmente remetem ao Mioceno, quando da formação de mantos de intemperismo sob condições de maior estabilidade climato-tectônica. Após o Plioceno, a morfogênese aponta para a fragmentação das superfícies de cimeira, rebaixamento dos níveis de base e criação de novos espaços de acomodação para a sedimentação quaternária. Os fluxos climáticos, por fim, produziram materiais que foram aprisionados nos espaços de acomodação espacialmente controlados pela dinamicidade das zonas de cisalhamento e suas encostas subordinadas.

Assim, conforme Sousa et. al (2019), a paisagem geomorfológica atual pode ser compreendida através da reconstrução de sua evolução ao longo da escala geológica. Compreender esta dinâmica é tarefa da geomorfologia, subsidiada por outras áreas do conhecimento, como a geologia. Segundo autores, variadas são as abordagens usadas na geomorfologia para compreender a evolução da paisagem de um determinado espaço, cientes de que o relevo é um elemento concreto deste cenário. As modelagens observadas hoje, são de suma importância aos estudos geomorfológicos, pois guardam registros de variadas mudanças ambientais que ocorreram no passado, sobretudo climáticas, que refletem as características observadas atualmente.

2.2.2 A dinâmica do relevo nos modelados de acumulação

Dentro do período do Quaternário, os sedimentos estocados e os atuais modelados de acumulação resultantes na paisagem, transfiguram-se como importantes registros dos processos geomórficos que exerceram controle sobre a evolução desse determinado espaço geográfico (MELO, 2019), especialmente nos contextos geotectônicos plataformais da zona tropical, resultantes de notáveis relevos deposicionais ou de um prosseguimento de estratos inumados que revele a história evolutiva da paisagem (SILVA, 2013).

Dessa forma, os depósitos quaternários são hoje os melhores indicadores para os estudos paleoclimáticos (MELO, 2014), pois guardam as marcas do clima passado e dos agentes formadores e modificadores da paisagem (MELO, 2019). Corroborando com este entendimento, Suguio (2010) afirma que o valor científico de tais depósitos está no registro de grandes mudanças paleoambientais, vinculadas aos paleoclimas e as paleolinhas da costa como importantes reflexos na biosfera.

Dentro de um contexto da dinâmica de modelo processo-resposta da paisagem, os trabalhos que utilizaram áreas de depósitos voltadas para o Nordeste na reconstrução geomorfológica, paleoambiental e paleoclimática corroboram com o uso da abordagem

geosistêmica, no qual os processos seriam definidos pelo tipo de energia que opera o sistema, e este seria regulado pelas variadas características da paisagem. Em vista disso, os sedimentos exibiriam traços dos elementos que possibilitaram a sua gênese e moldagem.

2.2.3 Depósitos de gênese eluvial

Diversas são as transformações que ocorrem em uma paisagem. Boa parte dessas modelagens ou formas foram estruturadas por eventos únicos que ocorreram dentro de uma escala geológica. Esses eventos possibilitaram, muitas vezes, a intemperização da rocha através das ações físicas e químicas onde tais processos, quando unidos ou sozinhos, possibilitam a formação de sedimentos inconsolidados. Quando esses materiais são desprendidos da rocha-mãe e ficam alojados acima de sua base rochosa a literatura denomina-o de Elúvio.

De acordo com Bigarella et. al. (1994), os termos denominados de elúvio e/ou saprólito estão destinados aos materiais alterados pelo processo de intemperismo que fica sob a rocha, esse material *in situ*, se apresenta nas mais diversas estruturas da paisagem, fundamentalmente sobre topos de áreas interfluviais. Conquanto, sua espessura tende a diminuir conforme o grau de declividade da encosta.

Segundo Silva (2013), quando existe a desintegração e decomposição da rocha-mãe aflorante, os materiais residuais são classificados como fácies eluviais (sedimentos *in situ*). Dependendo do ângulo da encosta e do grau de exposição desses materiais, os sedimentos podem ser atacados pelos processos de erosão, tornando-se restritos na paisagem.

Para Corrêa (2001), o maior agente atuante na modelagem ambiental são os processos bioquímicos que torna possível a degradação da rocha-mãe, tendo, o transporte como fator primordial ao desenvolvimento desse tipo de material. No que ainda afirma o autor, o material desprendido apresenta formas diversas, pois, o arranjo estrutural depende primordialmente da atuação do intemperismo e do tempo, exibindo na superfície minerais instáveis ou estáveis, sujeitos ao grau de alteração. Esses sedimentos possuem texturas variantes associadas ao resultado da degradação da rocha-mãe, entretanto, tais materiais não possuem arranjo sedimentar propriamente dito, mas, apresentam uma pedogênese atuante.

Conforme Silva (2013), os depósitos eluviais podem ser definidos, no campo, através de suas relações geométricas e dinâmica externa visíveis na paisagem. Esses materiais eluviais ocorrem normalmente como coberturas extensas interligados à rocha principal. Conforme autora, quando são remobilizados encosta abaixo por diferentes agentes, passam lateralmente a colúvio, o que ocorrerá de acordo com o ângulo da encosta.

2.2.4 Depósitos de gênese coluvial

Para Corrêa (2001), Silva (2013) e Silva (2019), seja qual for o depósito sedimentar que se conserve ao longo de uma encosta, em decorrência do transporte gravitacional, a despeito do conteúdo original de água nesses materiais, seria categorizado como colúvio. Ambos os pesquisadores, destacam em sua pesquisa que tais depósitos são mal estratificados e, às vezes, não se diferenciam dos regolitos presente no local, sendo formados em resposta a mudanças na cobertura vegetal ao longo das encostas.

Dentro de um outro contexto, Mabessone (1983), afirma que, esses depósitos sedimentares são oriundos de processos por energia química e física, que juntas possibilitam o intemperismo das rochas tornando-se, na maioria das vezes, semelhantes à fácies eluviais – delimitados pelo embasamento rochoso, mal selecionado e originado de áreas fontes bastante próximas. Desta forma, os sedimentos coluvionares podem partilhar das mesmas particularidades estratigráficas das fácies eluviais. A diferença entre um e o outro é o processo de transporte e estocagem na paisagem.

Já Selby (1992), defende que a maioria das encostas tem uma demasiada história de evolução que pode proporcionar informações sobre as taxas de mudanças, frequência de episódios geomórficos passados e paleoambientes. A existência de eventos passados, no relevo, quando preservados, ocorre sob a forma de paleohorizontes e depósitos deixados por esses episódios. O entendimento desse material requer, entretanto, uma interpretação de suas posições numa paisagem mais antiga.

Em outra conjuntura, mas com a mesma temática central, Thomas (1994), definiu o registro sedimentar (colúvio), como um termo variável que agrega variados processos e materiais da própria paisagem. O fato de esses depósitos serem formados a partir de uma decorrência de grandes mudanças climáticas regionais, estes também podem ocorrer como consequência de eventos menores, de alta magnitude, que eventualmente ultrapassem patamares formativos dentro dos sistemas de encostas, sem a necessidade de uma conexão regional mais definida (SILVA, 2013).

Conforme Sallun et al. (2008), o colúvio se constitui como um depósito com corpos descontínuos e formas irregulares. Conforme autores, o depósito coluvial está associado aos contextos geológicos e estratigráficos e a partir dele é possível identificar áreas fontes e estimar possíveis mudanças paleoclimáticas e/ou eventos neotectônicos que atuaram dentro da área de estudo.

No que afirma Bigarella (2009), a denominação colúvio refere-se ao elemento que sofreu remobilização na vertente, isto é, ao resultado da movimentação do elúvio. Esta designação é de caráter geral e destinada aos depósitos soltos e incoerentes detectados no sopé de uma vertente ou escarpa, sendo para aí transportados essencialmente pela ação da gravidade. Dentro dessa situação de evolução estão incluídos os depósitos de Talus na paisagem.

Assim, dentro de um contexto regional no Nordeste do Brasil, o colúvio é o depósito quaternário mais utilizado nos estudos paleoclimáticos e paleoambientais dentro dos aspectos geomorfológicos, haja vista a sua capacidade em armazenar sedimentos que possibilitem a reconstituição da histórica dessa paisagem. Corroborando com a ideia acima, Silva (2013) interpreta que, as impressões para os eventos pretéritos podem ser reveladas pela evolução desses horizontes incipientes, estratificação ocasional do depósito, ou sobrevivência de arranjos sedimentares, separação e depósitos por lentes de materiais de outras origens (*stone-lines*) e agregação de materiais datáveis.

2.2.5 Depósitos de gênese aluvial

Da mesma maneira em que, num espaço, temos os sistemas formadores de colúvio, o ambiente aluvial se configura como receptor universal dos materiais detríticos gerados naquele local, ou seja, o elúvio, será remobilizado por variados processos dentre eles, o gravitacional, até atingir o nível de base de antigos vales fluviais (LIMA, 2015) na área limítrofe entre as fáceis colúvio-aluvionar.

Conforme Fônseca (2018), a sucessão de uma feição deposicional para a outra é extremamente complexa, não uniforme e nem didático, estando interconectada a partir das especificidades estruturais, litológicas e dos agentes exógenos atuantes no modelado.

No que afirma Mabesoone (1983), neste tipo de ambiente a água é indispensável para desencadear os processos de transporte e deposição, estando comumente subdivididos em depósitos de canal mais grosseiros e os finos de inundação (ASLAN, 2007).

Em sua pesquisa, Aslan (2007) reafirma que a morfologia destes sedimentos são respostas do trabalho fluvial e encontram-se bem distribuídos espacialmente na paisagem, cuja dimensão das partículas irá variar desde material com granulometria argilosa até a granulometria de cascalho e blocos. A disposição granulométrica dos sedimentos aluviais vai estar relacionada à energia desencadeadora e presente durante todo o transporte, bem como atrelada às particularidades topográficas na área, além do material disponível na paisagem para

a remobilização. Da mesma maneira que os depósitos coluviais, estes são registros importantes na elucidação da história geomorfológica das paisagens continentais (FÔNSECA, 2018).

Em suma, os depósitos de ambiente aluvial quando utilizados, são geoindicadores das mudanças ambientais, apresentando ao pesquisador, informações úteis sobre a resposta geomórfica dos sistemas aluviais em respaldo das mudanças climáticas. Quando aluviais, estes sedimentos estarão interligados ao transporte fluvial e confinados, ao passo que ao ser associados aos depósitos coluviais, irão sempre sedimentar nas margens laterais dos vales ou em áreas que confinem este material (TAYLOR & ENGGLETON, 2001; SANCHO et al., 2008; SILVA, 2013; FÔNSECA, 2018; MELO, 2019).

No que afirma Bezerra et al., (2008), esses depósitos apresentam características complexas, cuja estratigrafia normalmente indica a permanência recente na paisagem, na faixa entre o Pleistoceno ao Holoceno. Independentemente do ambiente, o clima irá influenciar no comportamento hidrológico e na capacidade de transporte fluvial, refletindo diretamente na granulometria do material, bem como no espessamento dos depósitos devido ao grande poder de remobilização dos sedimentos (FÔNSECA, 2018).

Conforme pesquisa recente de Fônseca (2018) no setor de Piemonte do Planalto da Borborema, onde o recorte de estudo também está inserido, há uma interligação direta entre os materiais de origem coluvial com os de origem aluvial, além da gênese e morfologia dos tabuleiros, encostas e de extensas planícies, por conta do regime hidrológico atual. É válido ressaltar que os depósitos encontrados estão dentro de tabuleiros e de encostas próximas a drenagem ativa.

Assim, compreende-se que a estratificação dos sedimentos aluviais e a abordagem morfoestratigráfica são capazes de compreender a dinâmica dos elementos locais em períodos de curta duração, além desses segmentos testemunhar as diferentes respostas do regime hidrológico aos inputs climáticos, auxiliando na interpretação dos eventos condutores da evolução das paisagens, juntamente com os depósitos de dinâmica estritamente coluvial.

Conforme Melo (2019), a maioria das encostas tem uma longa história de desenvolvimento que pode fornecer informações sobre as taxas de mudanças, frequência de eventos geomórficos passados e paleoambientes. A evidência de eventos passados, se preservada, ocorre sob a forma de paleo-horizontes e depósitos deixados por esses eventos. A interpretação desse material requer, entretanto, uma compreensão de suas posições numa paisagem antiga (SELBY, 1993).

A litologia dos depósitos pode fornecer a chave para a análise paleoambiental de determinadas áreas. Entretanto, é recomendável destinar a atenção aos parâmetros

mineralógicos como a fração argila autógena, no caso dos clastos terrígenos, como possíveis indicadores ambientais, pois os argilominerais podem fornecer informações importantes sobre as áreas deposicionais, particularmente, quando estes são sobrepostos a outros dados substanciais como a área fonte do material de origem, clima, cobertura vegetal e tempo de exposição ao intemperismo (CORRÊA, 2001; SILVA, 2007; RIBEIRO, 2012; RAMOS, 2014; BARROS, 2014; MELO, 2014; AMORIM, 2015; MONTEIRO, 2015; MELO, 2019).

Os depósitos quando expostos à superfície, seja pela retirada da vegetação original, ou por outros fatores, são suscetíveis à erosão, ao intemperismo e conseqüentemente ao transporte para outros setores do relevo (SILVA, 2019).

Portanto, a importância dos alúvios, assim como os colúvios, como indicadores paleoclimáticos foi exaustivamente analisada em muitos trabalhos no contexto nacional. Podem-se resumir as evidências, ao menos para o Nordeste do Brasil, dizendo que provavelmente estes tipos de sedimentos inconsolidados não estão se formando sob as condições ambientais atuais. Genericamente, os depósitos aluviais e coluviais parecem estar associados às condições de mudanças climáticas no Holoceno inferior, ou em fases anteriores do Pleistoceno. Contudo, ainda é necessário estabelecer quando e como eles se formam (MELO, 2019).

Quanto aos estudos ambientais, a formação, remobilização e estocagem dos sedimentos se tornam fontes essenciais para a interpretação da geodinâmica do relevo atual. Uma vez que, esses materiais se desprendem da rocha, se expõem aos agentes internos e externos, são remobilizados por ação da gravidade ou hidrodinâmica ambas interconectadas a eventos exógenos ou endógenos e posteriormente estocados, sejam próximos à área fonte, no sopé da encosta ou até mesmo na drenagem de um rio. Portanto, esses meios agregam informações importantíssimas sobre suas gêneses e processos na paisagem em estudo.

2.3 O USO DA ABORDAGEM MORFOESTRATIGRÁFICA NA RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL NO NORDESTE DO BRASIL

O estudo da dinâmica geoambiental possibilita identificar, analisar e compreender a sequência evolutiva da paisagem e a extensão temporal dos dados obtidos nas análises dos sistemas físicos, em termos de processos, taxas, registros e respostas. Dados sedimentológicos, estratigráficos e geocronológicos são essenciais para esboçar a história e evolução da paisagem (CORRÊA, 2001; SANTOS, 2007; SILVA, 2013).

A análise geomorfológica, pela sua relação intrínseca com a geologia, torna-se base fundamental para a análise e evolução da paisagem no tempo geológico recente. Todavia, um ponto primordial para um melhor entendimento, desta relação, está na consonância de registros estratigráficos com estudos geomorfológicos (SILVA, 2019).

A análise estratigráfica dos depósitos recentes deve considerar os diferentes critérios de organização do relevo, sabendo-se que, nestes ambientes existem as múltiplas e diferentes formas de relevo e sistemas. Desta forma, foi utilizada a abordagem morfoestratigráfica proposta conforme a assimilação de Frye e Willman (1962), na qual foi possível correlacionar o estudo das formas do relevo, dos sedimentos e das possíveis temporalidades dos materiais estruturadores da paisagem.

De acordo com Slaymaker & Spencer (1998), o depósito associado aos modelados de acumulação no cenário geológico recente permitem identificar e compreender as respostas dos sistemas ambientais às variações de energia do sistema climático. Vale salientar que, essa fonte de dado quando disponibilizadas, permite a construção de simulacros de cenários ambientais futuros, imprescindíveis para a compreensão do funcionamento dos sistemas geomorfológicos, e para a tomada de decisão em face da necessidade de ordenamento das ações antrópicas no espaço geográfico (RAMOS, 2014; AMORIM, 2015; SILVA, 2019).

A interações desses estudos geomorfológicos somados à morfoestratigrafia vêm sendo de extrema importância para os estudos sedimentares do quaternário (MELO, 2014), uma vez que cada unidade morfoestratigráfica está alicerçada sobre materiais que resgatam a história erosiva/deposicional da área (TAVARES, 2010; LIRA, 2014).

Em suas pesquisas, Frey e Willian (1962), relatam que a morfoestratigrafia busca identificar um corpo litológico primeiramente pela sua feição, que pode ser diferenciada ou não das unidades que lhe são contíguas, e transgredir limites temporais ao longo de sua extensão. Dentro desta linha de pensamento metodológico essas unidades deposicionais e as variadas

coberturas superficiais mantêm uma estreita conexão com a morfologia superficial contemporânea.

A abordagem morfoestratigráfica, também foi utilizada por Moura e Meis (1986), Mello et al. (1991), Mello et al. (1995) e por Camargo Filho e Bigarella (1998) para os setores planálticos do Sudeste e Sul do Brasil respectivamente, buscando associar as diversas formas de relevo com as formações superficiais que as estruturam. Diversos são os trabalhos na região do Nordeste que corroboram com o uso dessa metodologia (FÔNSECA, 2012; SILVA, 2013; RAMOS, 2014; AMORIM, 2015; SILVA, 2016; RANULPHO, 2016; FÔNSECA, 2018; MELO, 2019; SILVA, 2019)

No que afirma Tavares (2010), o uso dessa proposta metodológica se relaciona com a geometria dos sedimentos e a sua disposição na superfície terrestre, atuando como um indicador cronológico. Dessa forma, é possível fazer uma junção dos depósitos truncados a partir das características dos minerais e suas respectivas áreas fontes. Para a interpretação estratigráfica dos sedimentos quaternários do Nordeste brasileiro, é preciso reconstruir a dinâmica recente dos sistemas físicos da superfície terrestre e as formas resultantes. Para se fazer uma reconstituição da história da evolução geomorfológica de uma determinada área, relacionando as unidades morfoestratigráficas, é necessário realizar uma relação cronológica entre as unidades e identificar quais parâmetros serão utilizados para fazer a correlação por áreas suficientemente amplas.

Segundo Ramos (2014), o uso da abordagem morfoestratigráfica em seu estudo possibilitou compreender as formas, a temporalidade e as características intrínsecas dos materiais estruturadores da paisagem. Para a autora, a correlação entre as formas de relevo e os depósitos superficiais, é de grande valia, pois é possível resgatar boa parte da história erosiva/deposicional da área em estudo. Trata-se de uma análise baseada na avaliação das características sedimentológicas de cada área, sua relação com os atributos do relevo e sua posição na paisagem, a fim de desvendar a sequência histórica da evolução geomorfológica. Desta forma, os resultados das análises de sedimentos das amostras apresentaram arranjos bem homogêneos, demonstrando que os materiais coluviais foram derivados por sedimentação gravitacional do tipo corrida de lama, através de fenômenos de episódios espasmódicos durante chuvas torrenciais em clima semiárido com área fonte proximal.

Amorim (2015), afirma que compreender como os processos morfoclimáticos atuam sobre o modelado, requer a distribuição dos eventos formativos dentro de certos intervalos de tempo, não apenas ajustando a dinâmica ambiental a um modelo de análise, mas também evidenciando como os fenômenos e suas intensidades são individualizados em diferentes

segmentos cronológicos. Analisando a Bacia do Riacho Bruscas PE-PB através de várias metodologias, incluindo a morfoestratigráfica, o autor concluiu que, a estrutura superficial da paisagem da área em estudo é o resultado de 07 fases climáticas que atuaram principalmente ao longo do Holoceno. As 05 primeiras fases apresentaram comportamentos inerentes às variações climáticas e as duas últimas já passaram a ter influência humana.

Lima (2015) enfatizou que a abordagem morfoestratigráfica associada ao mapeamento geomorfológico ajudam na identificação e caracterização das unidades deposicionais que se encontraram na área de estudo. Nesse caso, as propriedades sedimentológicas, pedológicas e os perfis estratigráficos dos depósitos foram imprescindíveis, uma vez que tais possibilitam fazer relações diretas entre os materiais e os eventos paleoambientais que os desencadearam, favorecendo por sua vez a compreensão da gênese local do relevo. Em seu trabalho, o cruzamento de informações mostrou que registros de deposição sobre um setor do entorno do Planalto Sedimentar do Araripe, nos municípios de Crato e Barbalha/CE, estão estocados na paisagem pelos menos desde os últimos 75.000 anos.

Barros (2018), caracterizou em seu trabalho os diferentes tipos de feições geomórficas de uma paisagem não canalizada dentro do semiárido brasileiro. A autora, apresentou dados que possibilitou a reconstrução evolutiva dessa paisagem através da elaboração de tipologia de estilos de rios da bacia e mapas de cobertura da terra que foram associados às unidades morfoestratigráficas, no intuito de quantificar a dinâmica superficial predominante em cada tipo de cobertura. A fim de se obter a idade e evolução dessas formas, feriu-se a taxa relativa de sedimentação através da determinação do teor de ^{210}Pb presente nos sedimentos. A partir de então, a autora identificou e analisou os episódios de sedimentação de diferentes magnitudes e também das variações nos períodos de hiato no registro sedimentar interpretados em conjunto com os dados climáticos disponíveis.

Melo (2019), fazendo uso dos aspectos morfológicos e geomorfológicos presentes no Maciço Estrutural de Água Branca-AL, definiu elementos que possibilitaram a reconstrução da dinâmica geomorfológica dos depósitos sedimentares estruturadores de morfologias de encosta, fluvial e pedimentar, buscando elucidar sua gênese, com vistas a elaborar uma proposição de evolução geomorfológica em bases cronológicas. Em seus resultados, foi possível inferir que a estrutura superficial da paisagem na área do Maciço Estrutural de Água Branca apresenta um tipo de registro de sedimentação condicionada a uma dinâmica climática contínua atuando a partir do Holoceno médio, apresentando descontinuidades contemporâneas à atuação de Paleo-ENOS e à Pequena Idade do Gelo.

Já o trabalho de Silva (2019), realizado no mesmo maciço estrutural de Melo (2019), possibilitou a interpretação dos resultados obtidos da abordagem morfoestratigráfica e datação, que demonstram na área de estudo três diferentes momentos de remobilização maciça de sedimentos, ainda armazenados nos compartimentos de estocagem, sobretudo ao longo das encostas. O maior momento de remobilização de sedimentos cujo registro ainda se faz presente na área, identificado até o momento, aconteceu ao longo do Holoceno Superior, últimos 4 000 anos, com idades que vão de 3900 a 3100 anos AP, e de 3980 até 270 anos AP, somados ao trabalho de Melo (2019). Esses depósitos foram ocasionados por fluxos de lama de alta energia, sendo capazes de remobilizar em alguns momentos, clastos que chegam a 8 cm de diâmetro. Esles ocorreram, provavelmente, como consequência de possíveis chuvas torrenciais, contudo mais eficazes em solos expostos, sem cobertura vegetal.

Portanto, o uso da abordagem morfoestratigráfica permite que dentro de uma utilização na análise da paisagem a qual é levada em conta as unidades deposicionais e os perfis de alteração *in situ* podem servir de base para uma análise integrada da paisagem geomorfológica.

A compreensão e interpretação deste enfoque teórico residem na sua ênfase morfogenética, uma vez que cada unidade morfoestratigráfica está alicerçada sobre materiais que resgatam a história erosiva/deposicional da área de estudo (SILVA, 2007). Assim, a reconstrução paleoambiental do período quaternário é essencial para a compreensão dos ciclos paleoclimáticos e sua influência na geomorfologia, compreendendo então a ciclicidade dos processos geomorfológicos atuantes em resposta aos inputs climáticos, os quais podem influenciar taxas de intemperismo e processos erosivos (RANULPHO, 2016).

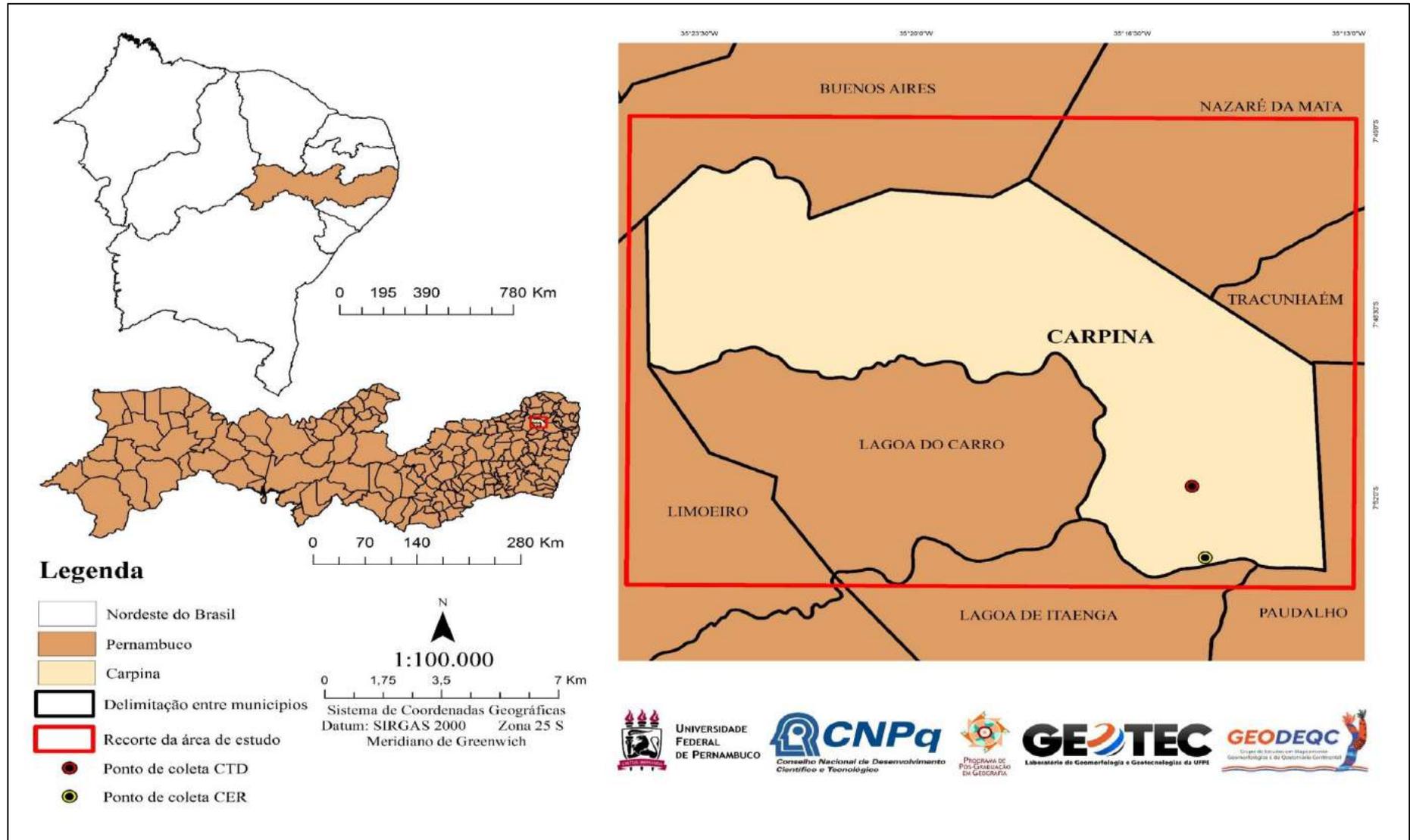
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Carpina está situado na porção norte do Estado de Pernambuco, região da Zona da Mata, especificamente entre as coordenadas 07°51'03" sul e 35°15'17" oeste, na área urbana estando a uma altitude de 184 metros e dista 45 quilômetros da capital do Estado, Recife.

A cidade de Carpina, conta com aproximadamente 83.641 mil habitantes, segundo estimativa populacional lançada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE para o ano de 2019. Sua área total é de cerca de 146,124 Km² (IBGE, 2019) e tem como municípios limítrofes: ao Norte, Nazaré da Mata e Buenos Aires; ao Sul, Lagoa de Itaenga e Lagoa do Carro; à Leste, Tracunhaém e Paudalho; e à Oeste, Limoeiro (Figura 1).

A cidade possui como principais rodovias a BR-408 e a PE-090, e possui sua economia voltada para a monocultura da cana de açúcar, comércio varejista, pequenas empresas e algumas indústrias. É classificada como cidade Polo para os municípios vizinhos que buscam oferta de produtos, exames clínicos e prestação de bens e serviços.

Figura 1 - Mapa de localização do Município de Carpina e da área de estudo. Fonte: Adaptado do IBGE (2019).



3.1 ASPECTOS CLIMÁTICOS

O Nordeste brasileiro, do ponto de vista geográfico, apresenta características climáticas distintas e peculiares em alguns pontos, que se diferem e muito do contexto geral de todo o território nacional (SILVA, 2007).

Os principais sistemas atmosféricos que garantem a manutenção e distribuição das chuvas na Zona da Mata Pernambucana estão atrelados a uma complexa relação entre os sistemas: 1) A massa Tropical Atlântica, se apresenta como uma massa tropical quente e úmida que atua sobre o litoral e a Zona da Mata de Pernambuco. É também responsável pelas condições de instabilidade nos índices pluviométricos da área de estudo; 2) O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, é um sistema de alta pressão semipermanente (subtropicais) sobre o sul do oceano Atlântico que intensifica sua influência no final do verão e faz com que haja um aumento na precipitação na região, no entanto, à medida que se afasta do continente, favorece na diminuição da precipitação; 3) Vórtices Ciclônicos de alta Troposfera, são de origem tropical e em geral são persistentes, deslocam-se lentamente do oceano para o continente e vice-versa.; 4) Distúrbios Ondulatórios de Leste, são sistemas de escala sinótica, de longitudes horizontais que ocorrem na baixa Troposfera Tropical; 5) As Linhas de Instabilidade são zonas de instabilidade que fornecem massas de chuvas de forma alinhada; 6) O Dipolo do Atlântico, fenômeno oceano/atmosférico que possibilita uma mudança anômala na temperatura da superfície, é responsável pela contribuição nos períodos secos e chuvosos da região.

Assim, a soma desses sistemas atmosféricos, atuando sob uma gama de variáveis, são responsáveis pelos índices de precipitação e, a depender da quantidade/intensidade, são responsáveis por eventos extremos de grande magnitude e baixa recorrência (UVO & BERNDTSSON, 1996; MOLION & BERNARDO, 2002; FERREIRA E MELLO, 2005; CORRÊA, 2006; MELLO et al., 2009; ROBITA et al., 2010; ROBITA, 2012; GIRÃO et al., 2008; GIRÃO et al., 2013; FÔNSECA, 2018; SOUSA, 2019).

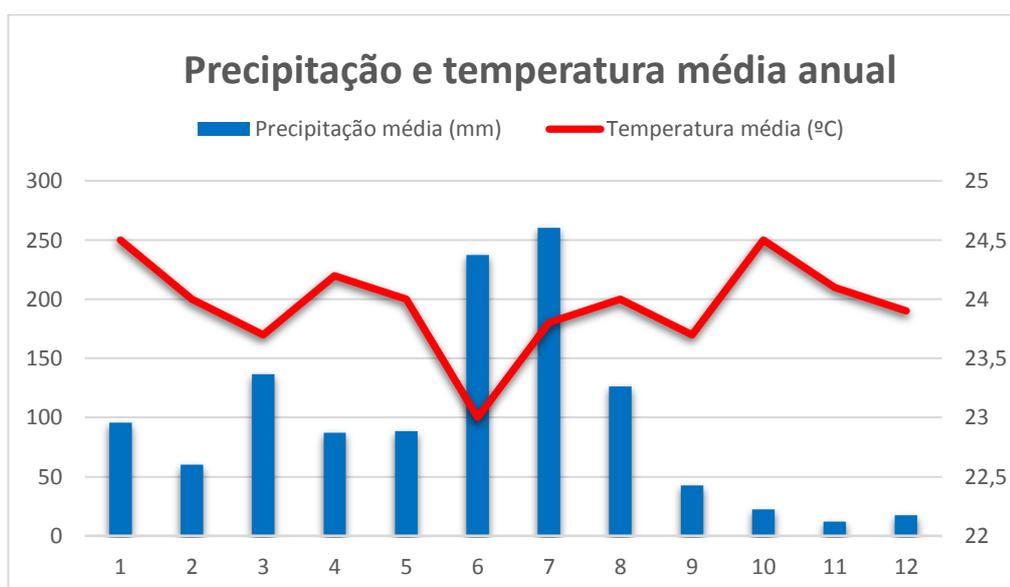
Carpina apresenta características de clima tropical e as condições climáticas para área de estudo, apresenta temperaturas com médias anuais em torno de 24°C. No inverno a pluviosidade é menor em relação ao verão. Segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928), o clima é classificado como Aw. Sobre os dados de precipitação, o município possui 1082 mm de pluviosidade média anual.

O mês mais seco é novembro com 19 mm. O maior índice de precipitação ocorre no mês de junho, com uma média de 174 mm. No mês de Janeiro, o mês mais quente do ano, a

temperatura média é de 25.5 °C. Já com uma temperatura média de 22°C, agosto é o mês com a mais baixa ao longo do ano (Figura 2).

Existe uma diferença de 155 mm entre a precipitação do mês mais seco e do mês mais chuvoso. Referente a sua temperatura, 24°C é a média comum durante todo o ano. Climaticamente, a área apresenta clima úmido/sub-úmido, com excedente hídrico no solo entre os meses de maio a agosto, período de maior susceptibilidade a fluxos de alta viscosidade (THORNTHWAITE & MATHER 1955; FERREIRA E MELLO, 2005; VAREJÃO-SILVA, 2005; CAVALCANTI & CORRÊA, 2008).

Figura 2: Climograma do município através de dados obtidos pelo Posto Carpina (Est. Exp. de Cana-de-Açúcar). Fonte: Agritempo, 2020.



3.2 ARCABOUÇO LITOLÓGICO

Por tratar-se de uma área com grupo de rochas metamórficas e sedimentares, além de ser cortada por zonas de cisalhamento e lineamentos estruturais, é essencial estabelecer um entendimento sobre os litotipos e fatores estruturais, pois estes são determinantes para a compreensão da tipologia das formas de relevo e da disposição dos depósitos que compõem a paisagem geomorfológica da área de estudo.

A província da Borborema, compõe um conjunto de unidades geológicas consolidadas no final da orogênese Brasileira, que possibilitou seu arranjo textural e com passar do tempo sua morfologia atual. Trata-se de um domínio geológico estrutural localizado em alguns estados do Nordeste do Brasil, limitado ao sul pelo Cráton de São Francisco, a oeste pela bacia do Parnaíba, a norte e a leste pelas bacias sedimentares da margem costeira (ALMEIDA et al., 1977; CORRÊA, 2001; NASCIMENTO, 2003; OLIVEIRA, 2008; TAVARES, 2015; SILVA, 2016; RANULPHO, 2016).

Regionalmente, o município de Carpina é formado por rochas que vão desde o Paleoproterozóico até o Mesozóico (Figura 3). Apresenta também sedimentos herdados do Cenozóico. Essas unidades litoestratigráficas estão definidas em: 1) **Formação Barreiras (ENb)** de idade cenozoica, estendendo-se desde o Estado do Amapá até o norte do Estado do Rio de Janeiro. 2) A **Suíte Serra de Taquaritinga (MP1yst)** representa os afloramentos das rochas metaplutônicas do Mesoproterozóico, sendo compostas por biotitas anfibólio e ortognaisses de composição granítica a granodioríticas e quartzosienítica. 3) O **Complexo Salgadinho (PP2sg)** que é composto por ortognaisses bandados, com biotita e/ou anfibólios com granulação média a grossa e sendo comumente compostas por bandas metamáficas. 4) O **Complexo Vertentes (PP2ve)** é uma sequência metavulcano-sedimentar, composta por rochas metapelíticas (biotita-xistos com sillimanita) intercalados com anfibólitos, estando os xistos, extremamente intemperizados devido ao contexto climático da região (BIGARELLA & ANDRADE, 1964; SANTOS & MEDEIROS 1999; ACCIOLY, 2000; ARAI, 2006; FÔNSECA 2012; BRITO NEVES ET AL., 2013; FÔNSECA 2018).

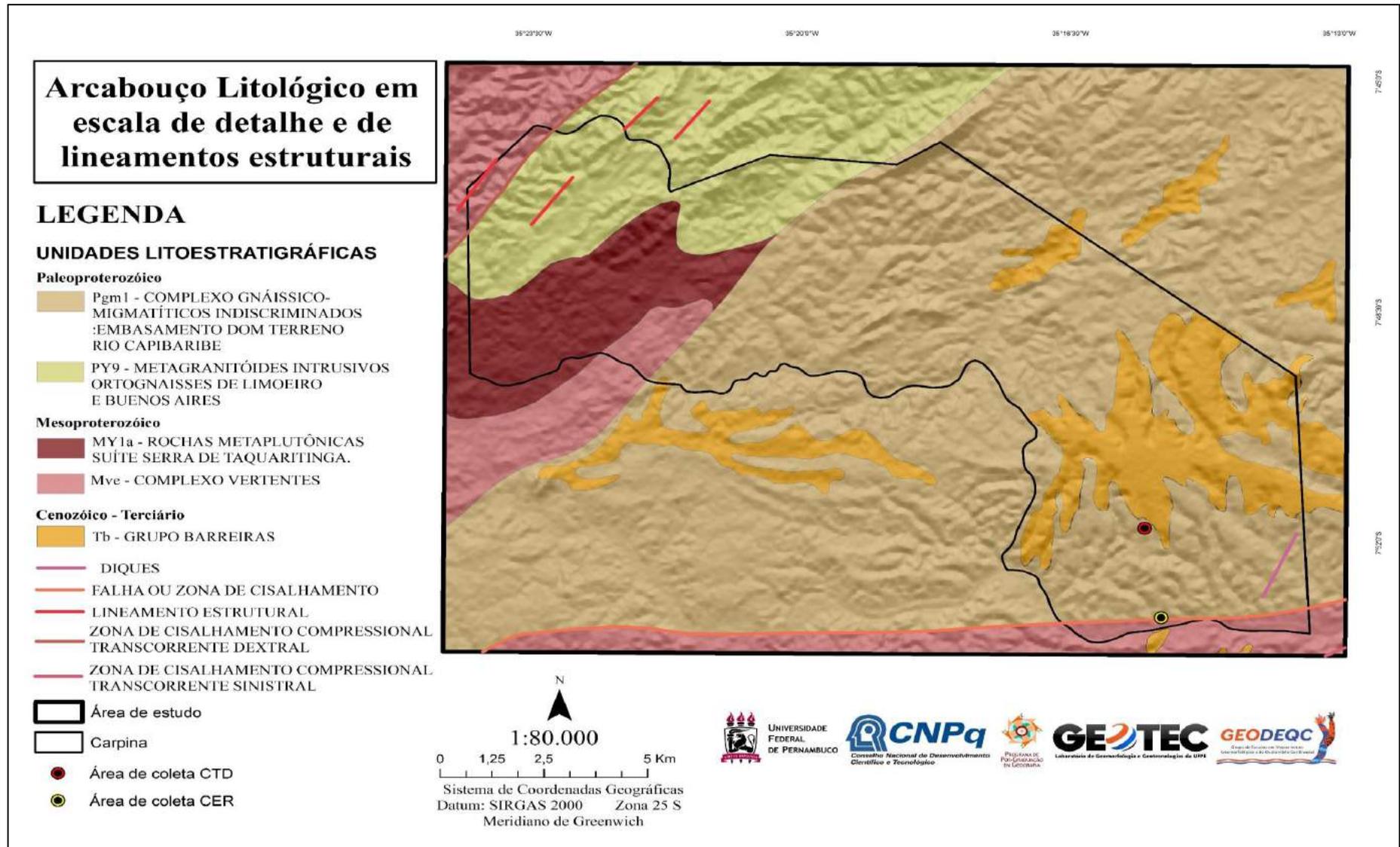
Conforme Guimarães (2016), os depósitos pertencentes à formação Barreiras correspondem à areias grossas de origem fluvial depositadas sob condições de alta energia intercaladas mais para o topo com pacotes rítmicos de areia / argila oriundos de enxurradas, em bordas de leques aluviais. Conforme a autora, esses sedimentos estão depositados em áreas extensas e são identificados principalmente nas áreas faixas costeiras brasileiras.

Conforme Lima et al., (2004), em específico, a formação Barreiras, de idade terciária, é composta por um conjunto de sedimentos continentais, afossilíferos, que ocorre em grande parte, assentados diretamente sobre o embasamento cristalino. É atribuído a uma sedimentação clástica, composta por arenitos argilosos, pouco consolidados, de variadas colorações, com incipiente estratificação plano-paralela e frequentes intercalações sílticas, argilosas e conglomeráticas, sendo comum a presença de concreções ferruginosas. Apresenta espessuras que variam geralmente entre 30 e 120 metros e ocorre sob a forma de extensos tabuleiros, em sua maioria, bastantes dissecados. Na área de estudo, aparece sob a forma de mantos residuais de pequena ou média espessura, assentados sobre o embasamento cristalino.

Já para o Complexo Salgadinho, geologicamente, refere-se à maior uniformidade de rochas metamórficas de média a alta pressão, com composição em sienogranítica a granodiorítica e alguns termos tonalíticos, com textura equigranular, granulação média a grossa e coloração variante (BRASILINO et al., 2011). Este complexo desenvolveu leucossomas graníticos, que podem seguir ou truncar a foliação. Nessa estrutura, observa-se uma variada migmatização, havendo a possibilidade de ter sido afetado por no mínimo dois episódios tectônico metamórfico (FÔNSECA, 2012; SILVA, 2016; FÔNSECA, 2018).

O Complexo Vertente, segundo Brasilino et al., (2008), corresponde a uma unidade geológica de caráter metavulcanossedimentar constituída por rochas metavulcânicas máficas e intermediárias, apresentando uma fácies de gnaisses bandados com alternância de material vulcânico máfico-intermediário e pelítico, de expressiva regularidade de leitões, aflorando uma sedimentação tubidítica com componente vulcânico.

Figura 3 - Arcabouço litológico e de lineamentos estruturais de detalhe da área de estudo. Fonte: Adaptado da CPRM (2014).



3.3 REDE DE DRENAGEM

Dentre as variadas atribuições da água, pode-se sobressair o seu papel como agente modelador da paisagem da superfície terrestre, moderando a elaboração e o desempenho mecânico dos mantos de intemperismo e da rocha. A drenagem em si, representa o elemento mais atuante na esculturação da paisagem geomorfológica, agindo como unidade chave no processo erosivo e deposicional. Na geomorfologia, a drenagem sempre está orientada às condições estruturais, tectônicas e às formas do relevo. A área de estudo apresenta zonas de cisalhamentos que alojam os principais canais da região (CHRISTOFOLETTI, 1980; CORRÊA, 2011; SILVA, 2013; MELO, 2014; FÔNSECA, 2018).

A área de estudo apresenta duas bacias hidrográficas, compostas pelo Rio Goiana e pelo Rio Capibaribe (Figura 4). A primeira, bacia do Rio Goiana, que de acordo com a Agência Pernambucana de Águas e Clima-APAC (PERNAMBUCO, 2012) possui uma área de 2.847,53 Km² e apresenta como principais rios: Capibaribe-Mirim, Siriji, Tracunhaém e Goiana. A dimensão territorial da referida bacia é justificada pelo numeroso aporte de municípios que envolvem o sistema fluvial do Goiana (CARVALHO, et al., 2017).

A segunda, bacia do Rio Capibaribe, segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima-APAC (PERNAMBUCO, 2012) possui uma área total de 7.454,88 km² e está localizada na porção nordeste do estado de PE, abrangendo as sub-regiões do sertão Moxotó, Agreste Meridional, Agreste Central, Mata Sul e região Metropolitana. O rio corta 42 municípios e apresenta um regime fluvial intermitente no seu alto e médio curso, tornando-se perene somente a partir do município de Limoeiro, no seu baixo curso (SILVA JUNIOR, SILVA, 2014).

Os principais cursos d'água no município têm regime de escoamento perenizado. Já as bacias, apresentam um padrão de drenagem dendrítico com as formas dos canais variando entre o retilíneo, quando estes estão adaptados às linhas de fraturas e falhas, e o meandrante à medida que estes drenos se direcionam para os setores mais rebaixados (FÔNSECA, 2018). Ainda segundo a autora, a área possui uma assimetria de drenagem nas bacias em associação aos seus canais principais, testemunhado ainda mais o controle estrutural na região de estudo.

Conforme classificação do IBGE (2009), a área possui um sistema de drenagem em canais ora retilíneos ora meandrante, classificados como:

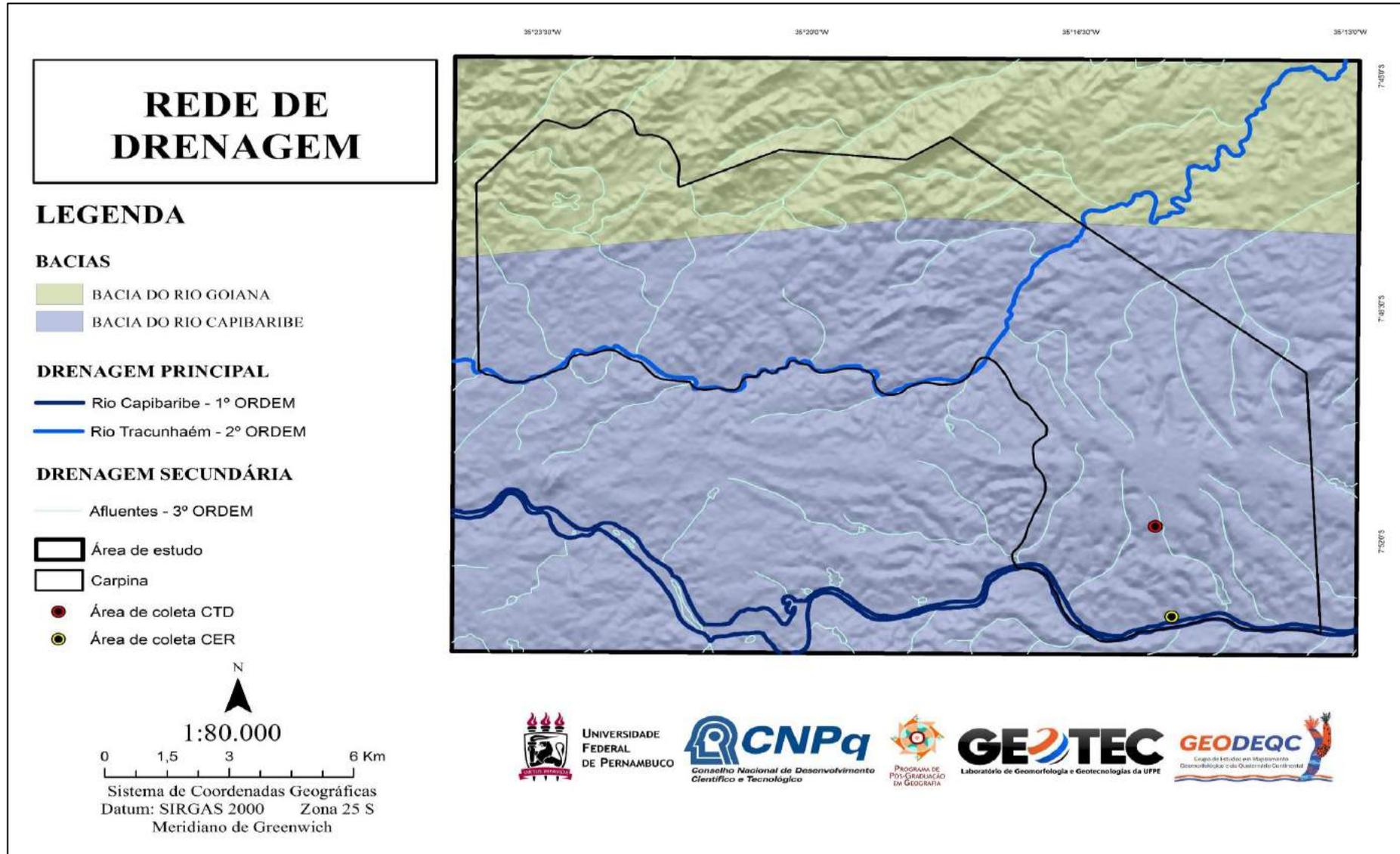
- 1) Os canais retilíneos estão fortemente condicionados à geoestrutura do ambiente. Na área, esse canal é composto por modelados que exibem controle estrutural e estão sujeitos à movimentação - seja por acomodação ou por reativação de canais preservados que se associam

à reativação das linhas antigas estruturais do embasamento e as planícies estão constituídas por depósitos quaternários, o qual é um forte indicativo para movimentos neotectônicos;

2) Os canais meandantes estão sujeitos às curvas sinuosas com gradiente moderadamente baixo. Para área, a descarga é relativamente contínua e regular, possuindo um único canal que transborda durante os períodos de chuvas. O perfil desse canal é transversal e assimétrico em função do processo de erosão na margem côncava e da deposição na margem convexa. Na área, o padrão meandrante é pelítico pois está sujeito às extensas planícies de gradiente muito baixo, constituídas predominantemente por sedimentos mais finos.

Ambas as bacias e os principais cursos d'água influenciam diretamente na análise integrada da paisagem. Sabe-se que água é um modelador ativo em qualquer território e dependendo da área de abrangência, força do curso e demais associações temos também a dinâmica de erosão e deposição dos sedimentos trabalhados. Materiais classificados de alúvio e que contam uma história de gênese do ambiente.

Figura 4 - Mapa das principais drenagens na área de estudo, associadas aos controles estruturais existentes.



3.4 ASPECTOS PEDOLÓGICOS

A diversidade pedológica é resultado da soma do arcabouço litoestrutural, da atuação da drenagem e da ação do clima. A área de estudo possui solos pedogeneticamente desenvolvidos e solos poucos desenvolvidos. Adotando como referência o mapeamento pedológico realizado pelo Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (ZAPE), encontram-se representados na área os seguintes solos: Argissolos, Luvisolos, Latossolos além dos Chernossolos e Neossolos (Figura 5).

No que afirma Corrêa (1997), o relevo é um elemento chave-primordial para a paisagem. Ele desempenha uma função bastante importante e muito determinante para a compreensão da geomorfologia continental, enfatizando predomínio os processos denudacionais sobre os de intemperismo e gênese do solo. Portanto, dentro da temática desta pesquisa, o contexto pedológico é interpretado como o resultado da relação antagônica entre intemperismo e denudação ao longo do tempo. Por consequência, tem-se como intuito descrevê-los dentro do contexto operacional da atual estrutura da paisagem.

Os **Argissolos**, encontram-se localizados em boa parte da área de estudo, pois são solos desenvolvidos na Formação Barreiras, originado de rochas sedimentares ou sob influência destas. Apresentam um horizonte de acumulação de argila bastante expressivo, em B textural (Bt), com cor predominante em vermelho-amareladas devido à grande presença dos óxidos de ferro hematita, goethita e alguns outros minerais primários.

Já os Argissolos vermelhos, herdam características à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário-rocha mãe, em ambientes com alta drenagem. Os argissolos, apresentam fertilidade moderada-alta devido à diversidade de materiais de origem. Ocorrem geralmente em áreas de relevo convexos-côncavos, mas podem ser identificados em áreas com menos declividade, o que favorece a mecanização. As principais limitações são os declives dos terrenos mais acidentados e a deficiência de fertilidade (SILVA, 2016).

Os **Luvisolos**, são solos que possuem drenagem moderada, pouco profundos, com nítida diferenciação entre seus horizontes, pertencente ao contraste de textura, cor e/ou estrutura entre eles. Boa parte deles possuem uma mudança de textura abrupta (alto gradiente textural). Esses solos, possuem moderadas propriedades ácidas a alcalinos, tendo presença também de teores de alumínio e presença, em quantidade variável, mas expressiva, de argilominerais do tipo 2:1 indicando atividade alta da argila.

Esse tipo de solo, pode ou não apresentar pedregosidade na parte superficial e/ou caráter sódico, na parte subsuperficial. São identificados normalmente em áreas de clima seco (déficit

hídrico) em temperaturas altas e baixas, estando normalmente associados às áreas de relevos movimentados (ondulados a forte ondulados). Nos relevos mais declivosos da área, os de menor profundidade apresentam limitações para o uso agrícola, relacionadas à restrição à mecanização e à suscetibilidade dos processos erosivos.

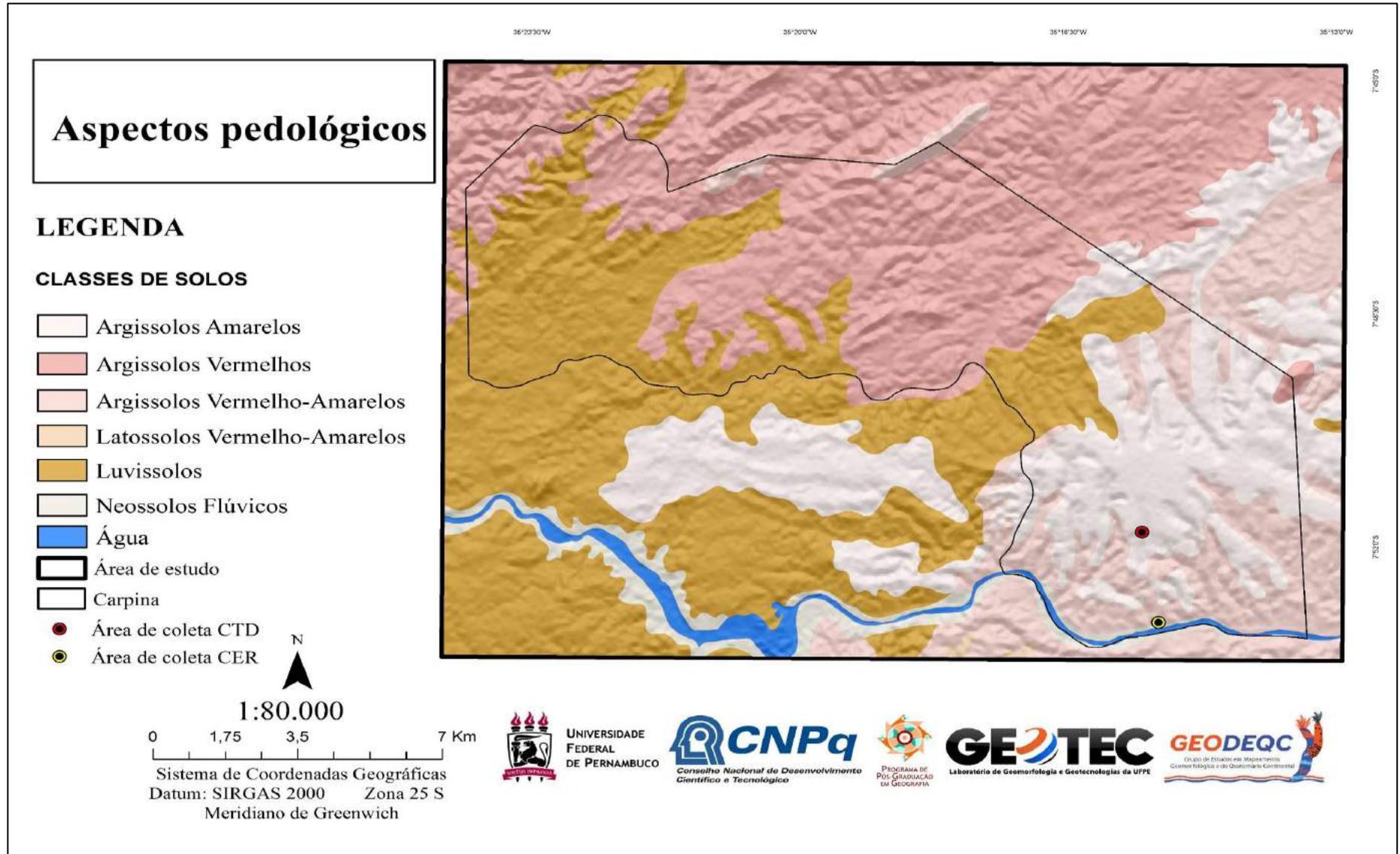
Os **Neossolos Flúvicos**, são solos constituídos por material mineral, não hidromórficos, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos (JACOMINE, 2009). São provenientes de sedimentos recentes referidos ao período do Quaternário.

São caracterizados por sobreposição de material aluvial recente sem características e baixo desenvolvimento pedogenético. Normalmente possuem um pacote bastante diversificado devido a diversidade e a formas de deposição do material originário, sendo solos profundos com um horizonte bastante superficial. Na Zona da Mata de Pernambuco, estes solos podem ser distróficos, eutróficos, ácidos, dessaturados de bases e com argilas de baixa atividade (SILVA & OLIVEIRA, 2013).

Já os **Latossolos**, normalmente são homogêneos, com pouca variação entre os horizontes e/ou camadas. São pacotes bastante profundos, bem drenados e possuem uma textura granulométrica entre média a mais fina, ou seja, argilosa e muito argilosa) e são solos pouco férteis. Na área predominante dos tabuleiros costeiros predominam a presença dos solos distróficos coesos, principalmente dos Latossolos Amarelos.

Nas áreas de domínio da Formação Barreiras temos a presença dos Latossolos presente tipicamente em um relevo mais suave ondulado e plano. Os Latossolos são muito frequentes no estado de Pernambuco. Bastante intemperizados, normalmente profundos e com predominância de óxidos de ferro, alumínio, silício e titânio, argilas de baixa atividade, muito ácidos e com baixa saturação por bases (SANTOS et. al, 2013; JATOBÁ, 2014; JATOBÁ, et al., 2014)

Figura 5 - Mapa de classes de solos da área de estudo. Fonte: Adaptado do ZAPE (2010)



3.5 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Os arranjos geológico-geomorfológicos da Zona da Mata Norte – PE, têm muito a revelar sobre o contexto histórico de gênese e evolução das formas que contemplamos no presente. A Geomorfologia, especificamente do Município de Carpina é, majoritariamente, marcada por formações dissecadas como os Tabuleiros e os Morros inseridos no Piemonte da Borborema (Figura 6).

Conforme Corrêa et al. (2010), o grande Planalto da Borborema representa o agrupamento de terras altas que se subdividem no contexto geomorfoestrutural no nordeste oriental do Brasil, conferindo todo o setor de terras altas, que estejam acima da isolinha de 200m, fixo a norte do rio São Francisco, constituído nos inúmeros litotipos cristalinos.

O limite oriental desta grande unidade é genericamente estabelecido pela ruptura de gradiente existente entre a encosta e os patamares rebaixados, classificados como piemontes em direção às áreas litorâneas.

Esses piemontes, podem ser visualizados a medida que vamos adentrando ao continente em direção a primeira cimeira estrutural do grande Planalto da Borborema. Morfoestruturalmente, a área está inserida dentro nos domínios do Planalto da Borborema como apresentado por Corrêa et al., (2010), e sob ele o Piemonte da Borborema a oeste e à leste pelo Planalto sedimentar litorâneo (FÔNSECA, 2018). Para a área de estudo, as variações altimétricas vão ficando mais aguçadas à medida que se afastam da linha da costa (Figura 7).

Devido à configuração geológica, o relevo se apresenta em forma de alinhamentos de cristas, alguns desses bastantes dissecados, além de maciços estruturais isolados por zonas de cisalhamento pré-cambrianas (SILVA, 2013; SILVA, 2016; GONÇALVES, 2018; FÔNSECA, 2018).

No que afirma Fônseca (2018), os vales em ambientes úmidos/subúmidos normalmente retratam uma morfologia transversal em “V”, com fundos marcadamente colmatados pela sedimentação quaternária e mesmo antropogênica, especialmente nos setores mais úmidos. Distanciando-se dos ambientes marinhos, apresentam-se com rampas suaves que começam a ser estabelecidas entre planícies aluviais que conduzem longitudinalmente a base dessas colinas, sob a forma de pedimentos.

A hipsometria do relevo atual confere fragilidade natural para cada setor morfodinâmico, assim, a análise altimétrica favorece a interpretação dos processos superficiais e os principais determinantes que alteram a morfologia de cada forma.

No que afirma Silva (2016), a relação do relevo com a pedogênese dos solos está sujeita às variações altimétricas. Segundo a autora, a inclinação e a posição na paisagem das feições podem acelerar ou retardar o trabalho dos agentes climáticos. A classificação adotada pelo mapa abaixo (Figura 6) segue padrões de hierarquização disponibilizados pelo Zoneamento Agroecológico de Pernambuco.

Figura 6 - Unidades de relevo da área de estudo conforme Mapa de Geodiversidade do Estado de PE. Fonte: Adaptado do CPRM (2010).

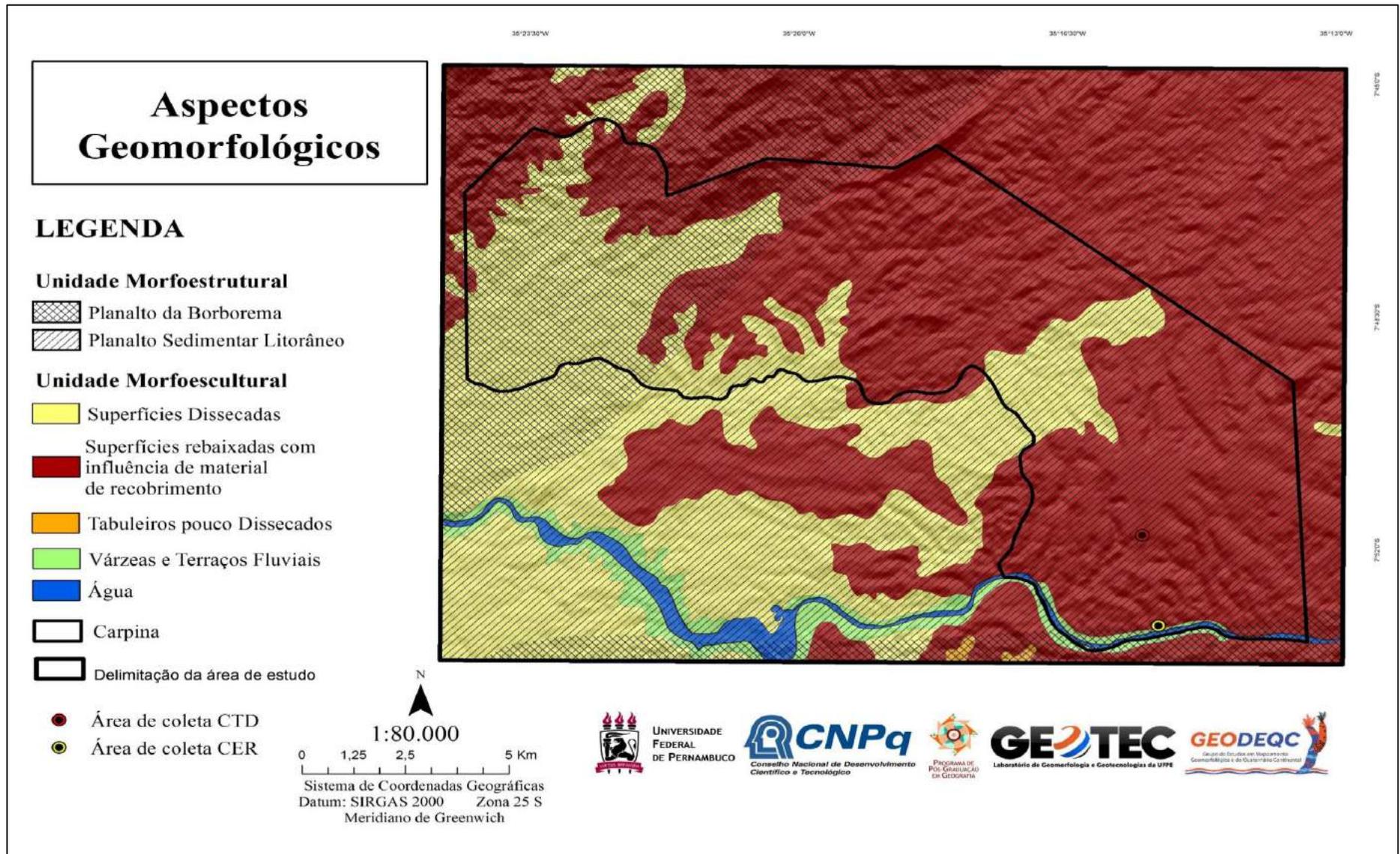
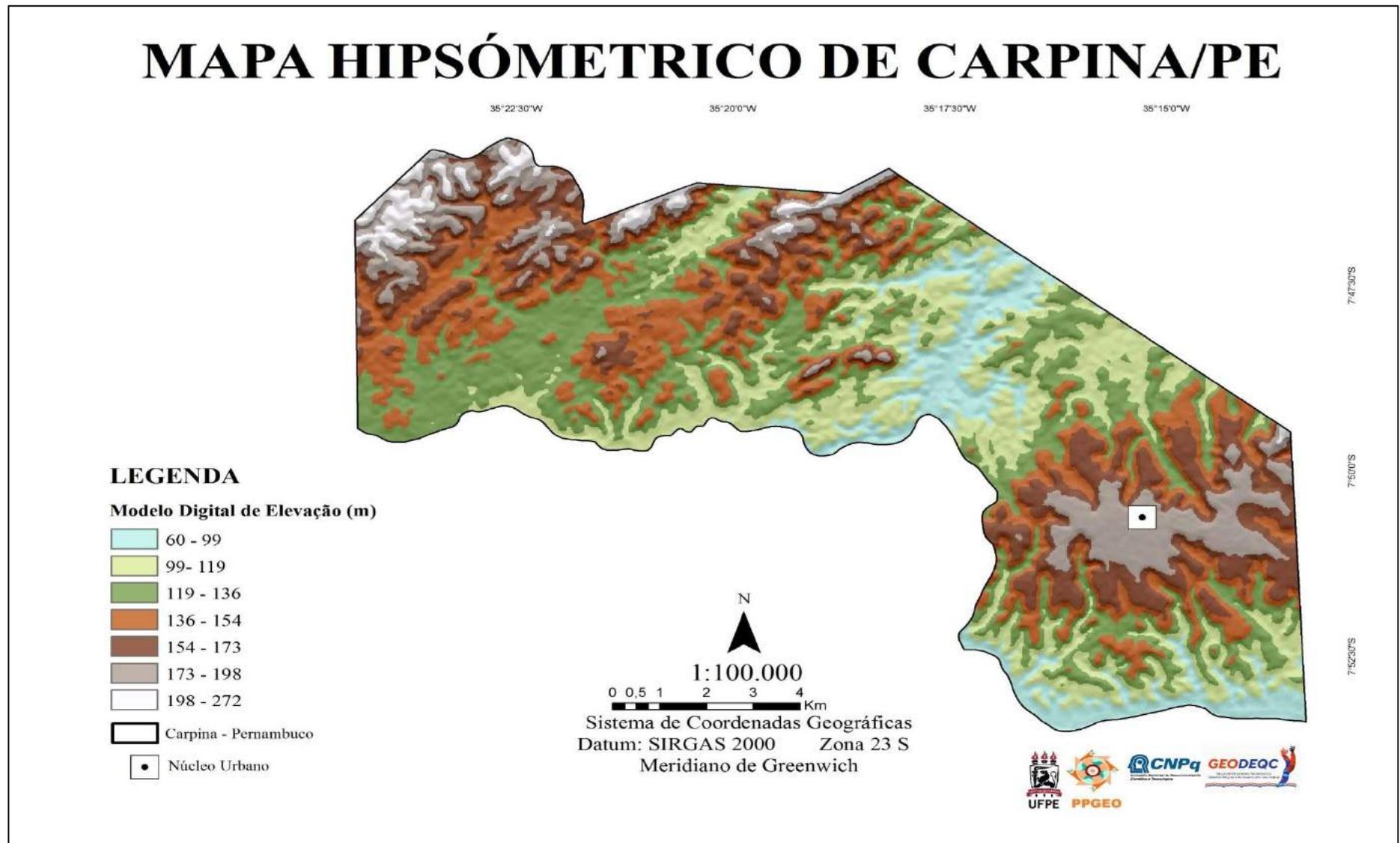


Figura 7 - Modelo Digital de elevação da área de estudo.



O Domínio de colinas amplas e suaves ocupa grande parcela da área estudada (Figura 8), trata-se de uma unidade dominada por setores colinosos intercalados por pedimentos nas áreas a oeste do continente ou vales extremamente colmatados em direção ao litoral, apresentando uma variação altimétrica de 60 a 130m em relação ao nível do mar. O relevo colinoso apresenta feições individualizadas com topo mais ou menos planos a arredondados e vertentes convexo-côncava com cabeceiras de drenagem em anfiteatro, típicas do relevo cristalino sob o domínio morfoclimático úmido (CAVALCANTI & CORREA, 2007; FÔNSECA, 2012; GONÇALVES, 2018; FÔNSECA, 2018).

Figura 8 - Colinas suaves e onduladas ao noroeste da área urbana.



As Colinas desta unidade localizam-se nas bordas ao Norte do Piemonte da Borborema (Figura 9), sendo resultado de sua dissecação. Sua identificação é possível através do mapa de unidades de relevo, pelo mapa Hipométrico e pela caracterização das fases de relevo com declividades superiores ao relevo plano, topos convexizados, e pela presença de Neossolos e Espodossolos. Estando sob uma variação altimétrica de 130 a 270 metros (CAVALCANTI, CORRÊA, 2008).

Figura 9 - Área com poucas ondulações e bastantes dissecadas ao Norte do Piemonte da Borborema.



Os Tabuleiros existentes são bastante preservados e estão distribuídos no setor sudeste da área trabalhada e estão sob uma variação altimétrica de 130 a 198 m em relação ao nível do mar. Estas formas tabulares apresentam uma forma alongada, estruturadas por sedimentos da Formação Barreiras e com um direcionamento geral SW-NE, obedecendo ao direcionamento da rede de drenagem formando um padrão subparalelo, indicando o controle estrutural (FÔNSECA, 2018). É nessa unidade do relevo onde se encontra a área urbana do município (Figura 10).

Figura 10 - Área de antiga cabeceira de drenagem. No topo (A), área urbana sobre tabuleiro costeiro; no meio desse vale, planície de inundação do antigo braço fluvial do Rio Capibaribe.



Na análise de todo recorte do município de Carpina percebe-se uma topografia bem distribuída, pois o relevo possui cotas entre 50 e 270 metros (Figura 11). A topografia, quando em escala de detalhe, passa a retratar nitidamente os patamares altimétricos, que pode facilitar o entendimento das feições morfológicas, da dinâmica fluvial e da distribuição dos solos.

Através da confecção do Modelo Digital de Terreno e da elaboração de perfis topográficos do município de Carpina (Figura 11), pôde-se verificar a existência de pelo menos três patamares topográficos, a saber: um conservado que se encontra ao nível de 154 m, outro de áreas levemente dissecadas, que está abaixo do nível de 75 m e o último patamar, o intermediário, entre 75 m e 175 m, bastante dissecado (Figuras 12 e 13).

Figura 11 - Mapeamento de Perfil Topográfico no MDE da área de estudo.

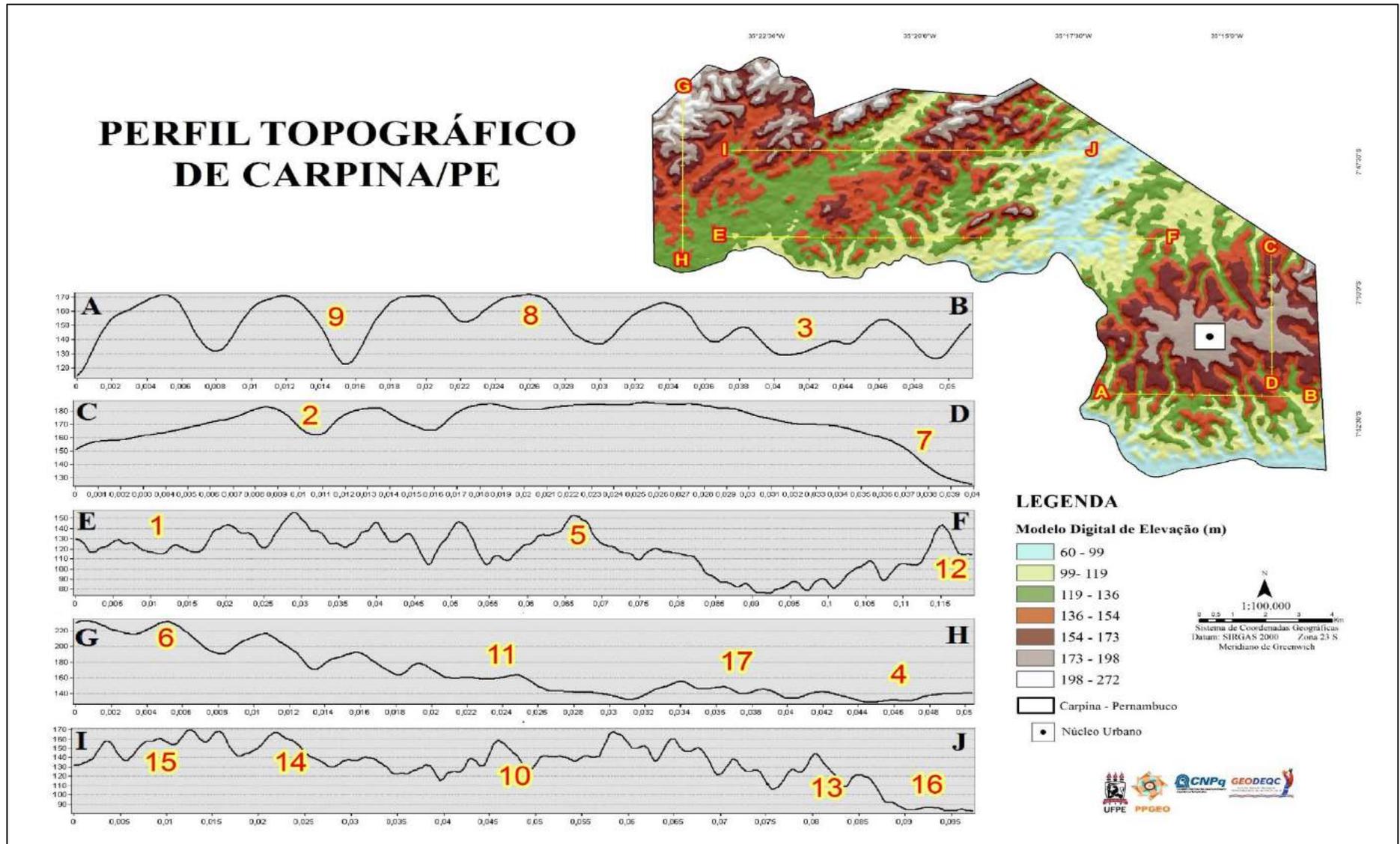


Figura 12 - Transecto das variações topográficas com imagens demonstrativas das formas morfológicas do relevo atual da área de estudo.



Figura 13 - Transecto das variações topográficas com imagens demonstrativas das formas do relevo atual no município de Carpina – Pernambuco.



3.6 ASPECTOS VEGETACIONAIS DA ÁREA

A vegetação em todo o tempo exerceu um papel importante nos processos de intemperismo e transformação da paisagem geomorfológica (CORRÊA, 2001; SILVA, 2007; SILVA, 2013; FÔNSECA, 2018). Para Tricart (1977), a vegetação assume uma importância muito considerável na morfologia do relevo, uma vez que, com ela, é possível reduzir a quantidade de energia que chega ao compartimento regolítico durante a chuva, minimizando o impacto das gotas, garantindo uma baixa remoção e erosão dos solos. Do ponto de vista geográfico-geomorfológico em uma escala espaço-temporal, a vegetação assume diversas importâncias, principalmente quando se tenta elucidar os tipos de formações vegetais que atuam/atuaram na gênese do relevo, através de suas remobilizações e/ou modificações cíclicas durante o recente período geológico - o Quaternário - com fases de morfogênese/pedogênese.

A cobertura vegetal potencial divide-se em Floresta Ombrófila e Floresta Estacional Semi-Decidual, acompanhando o decréscimo da precipitação conforme vai adentrando ao interior do continente. Os remanescentes florestais mais significativos concentram-se no noroeste da área de estudo, estando cercado pelas áreas urbanas e pelo intenso cultivo da cana-de-açúcar (Figuras 14 e 15).

Figura 14 - Área com resquícios da Mata Atlântica (seta amarela) e bordas com intenso cultivo da cana de açúcar (seta vermelha).



Conforme apresentado acima, sobre as classes de solo, a vegetação, possui um papel fundamental na paisagem e na morfologia do relevo além de sua contribuição com o clima associado também pelo desenvolvimento dos solos através do porte/cobertura.

A relevância da vegetação para a morfogênese e para a morfodinâmica consiste na capacidade de capturar as precipitações e também de inibir a descaracterização morfológica como, por exemplo, manter o tecido vegetal sobre as partículas sedimentares, assegurando as feições. Nesse contexto, vale ressaltar que através de fragmentos vegetais, é possível avaliar os estágios de sucessão ecológica, relacionados à atuação do clima (SILVA, 2016).

Figura 15 - Área de Tabuleiro com expansão urbana e resquícios de vegetação da Mata Atlântica (seta amarela) nas margens da PE053 sentido sul – em direção ao município de Lagoa de Itaenga.

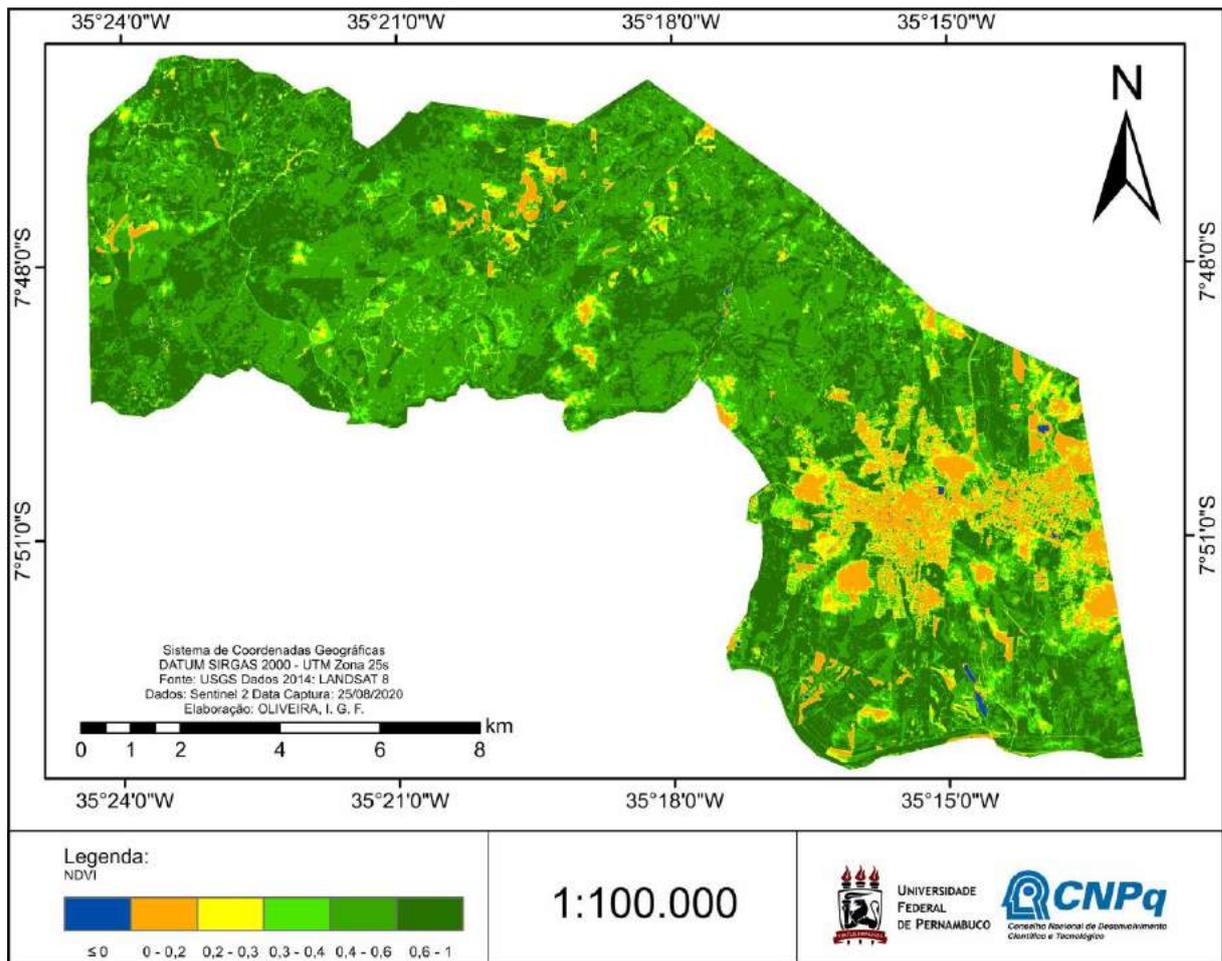


A análise da cobertura vegetal foi realizada através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). A partir da análise, verificaram-se alterações no padrão espacial da vegetação no ano de 2020 (Figura 16).

Os principais problemas oriundos das formas inapropriadas do uso e ocupação da terra, fora os riscos causados pela própria natureza, causam sérios problemas socioeconômicos às

comunidades no geral. Com base nos estudos e nos campos *in loco* realizados na área, constata-se a ação do homem como principal agente e responsável pelo aumento na degradação do meio. O recorte (Figura 16), observa-se uma redução espacial da vegetação densa, aumentando as áreas de solo exposto. Sabendo que agosto é mês de período seco na área estudada, essa redução da vegetação está associada possivelmente pela redução do índice pluviométrico, entre os meses de setembro a dezembro do ano.

Figura 16 - Mapa com Índice vegetacional (NDVI) do município de Carpina/PE.



O NDVI apresentou valores variando entre -0,1 e 0,86, que foram subdivididos em seis classes. Os valores entre -1 e 0 fazem referência a corpos hídricos presnetes no ambiente. A classe que abrange os valores até 0,2 corresponde a solo exposto e/ou perímetros urbanos.

A classificação entre 0,2001 a 0,3; indica áreas com presença de agropecuária (Agricultura ou Pastagem) de grandeza familiar ou pertencentes a usina. Conforme Rêgo et al (2012), a alteração dos valores dos índices podem ser alterados em função de diferentes fatores

como posição das folhas, arquitetura do dossel, substrato, características químicas das folhas e presença da água.

A classificação entre 0,3001 a 0,4; indica agricultura passiva (descanso) e/ou vegetação rasteira. Ao norte, pode ser analisada como pastagem para pequenos agricultores rurais. No índice 0,4001 a 1 são representados pelos valores de vegetação que varia entre moderada a densa. Sabe-se que os fragmentos florestais encontrados neste referido período observado estavam sofrendo alterações por meios da ascensão da faixa urbana e produção agrícola.

4 METODOLOGIA

A metodologia, de modo geral, é composta por quatro etapas principais que se subdividem, devido à quantidade de procedimentos realizados em cada etapa, que são: revisão de literatura, levantamento e produção cartográfica, trabalhos de campo e análises laboratoriais.

4.1 PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA E CONSTRUÇÃO DE BANCO DE DADOS DA ÁREA DE ESTUDO

Uma das formas mais fidedígnas de se representar espacialmente os elementos terrestres é o mapeamento. Essa ferramenta de cunho geográfico vem se difundindo cada vez mais em diversas ciências, principalmente na atualidade com o apoio das geotecnologias (geoprocessamento, sensoriamento remoto, SIG, etc.). No âmbito da Geografia Física Aplicada o uso das geotecnologias se tornou essencial, agregando valor a esse ramo da ciência geográfica. Através desse aparato tornou-se possível o levantamento, monitoramento e espacialização gráfica dos recursos naturais em países de dimensões continentais como o Brasil (SOUZA *et al*, 2010).

Essa etapa consistiu do levantamento e análise de materiais cartográficos pré-existentes da área de pesquisa e tomando-os como referência para a construção da análise ambiental e para a produção de novos levantamentos cartográficos. Os mapas pré-existentes utilizados são provenientes de órgãos estaduais e federais.

4.1.1 Material de apoio aos mapas confeccionados

Foram tomados como referência os seguintes esquemas cartográficos: Mapa de Geodiversidade do Estado do Pernambuco produzido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em parceria com o Ministério de Minas e Energia para o estado de Pernambuco na escala de 1:500.000 (2010); Mapa de classes solos produzido pela Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (ZAPE) (2001) na escala de 1:100.000.

Ao todo foram produzidas oito cartas (geomorfológico, morfoestrutural, declividade, hipsometria, lineamentos estruturais, anomalias de drenagem, geológico, pedológico). As bases cartográficas utilizadas foram convertidas à projeção cartográfica Universal Transversal de Mercator (UTM), Datum Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas de 2000 (SIRGAS - 2000).

4.1.2 Arcabouço Litológico em escala de detalhe e de lineamentos estruturais

O mapa geológico foi elaborado por meio da extração de informações sobre os litotipos de arquivos no formato shapefile (.shp), folha SB.25-Y-C Limoeiro, adquiridas pelo website: <http://geosgb.cprm.gov.br/>, do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) elaborado na escala de 1:250.000, e representado aqui na escala de 1:100.000.

Os lineamentos estruturais foram extraídos e vetorizados com base nos trechos retilíneos das cristas residuais, a partir da análise da imagem raster de relevo sombreado q20_13_sbe (resolução de 30 m) do projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, e de imagens de satélite disponíveis no *software* Google Earth Pró, e do Modelo Digital do Terreno (MDT) – imagem Alos Palsar, resolução de 12,5 m, cenas ALOS Granule: ALPSRP264457020.

4.1.3 Mapeamento dos aspectos geomorfológicos

Para a produção do mapa com os aspectos geomorfológicos da área de estudo, os procedimentos técnicos utilizados seguiram os critérios estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE em seu Manual Técnico de Geomorfologia (2009). A classificação também seguiu a preconizada no referido manual, por ser considerada a que melhor representa o relevo brasileiro, principalmente para ambientes subúmidos, composto alguma áreas cristalinas herdadas do planalto, tabuleiros côncavos, tabuleiros dissecados, planícies e Inselberg que por serem particularidades desse ambiente necessitam de uma abordagem específica, já que representam uma realidade climato-geomórfica excepcional dentro do contexto brasileiro, que tem 92% do seu território dominado por climas úmidos (AB’SABER, 2007). Dessa forma, utilizaram-se os dados disponíveis no Zoneamento Agroecológico de Pernambuco e de informações obtidas do Mapa Geodiversidade de Pernambuco.

O mapeamento foi produzido na escala de 1:100.000 no *software* ArcGis 10.5, a partir da análise do MDT (Modelo Digital do Terreno) – imagem Alos Palsar, resolução de 12,5 m., disponibilizadas pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) na plataforma digital Alaska Satellite Facility (website: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>), imagens de satélite disponibilizadas pelo *software* Google Earth Pró, e perfis topográficos traçados por meio das ferramentas “Interpolate Line” e “Profile Graph” (ArcGis 10.3). A compartimentação e a vetorização das unidades se deram a partir da criação de camadas em polígono no formato

shapefile (.shp). O mapeamento morfoestrutural e morfoescultural foram elaborados na escala de 1:50.000, também no *software* ArcGis 10.3, usando imagens do Modelo Digital de Terreno – MDT, com resolução espacial de 1 metro, disponibilizadas pelo Projeto Pernambuco Tridimensional – PE3D (Governo de Pernambuco, 2016).

Os mapeamentos estão organizados hierarquicamente em unidades morfoestruturais, e delas subdividiram-se unidades menores que correspondem às feições morfoesculturais. Para Corrêa *et al* (2010), as morfoestruturas representam categorias que respondem pelas formas maiores do relevo, tratadas em escala regional, já as morfoesculturas são consideradas áreas menores que foram esculpidas por processos exógenos, como os elementos climáticos e a drenagem (OLIVEIRA *et al*, 2007).

4.1.4 Mapa com classificações pedológicas

Para o mapeamento das classes de solo tomou-se as bases cartográficas disponibilizadas pela Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco - ZAPE (2001) produzidas na escala de 1:100.000.

4.1.5 Mapa com classificações vegetacionais

Para o cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada “Normalized Difference Vegetation Index” foram obtidas imagens orbitais capturadas no dia 25/08/2020 pelo satélite Sentinel-2, disponibilizados gratuitamente pelo Serviço Geológico Americano (USGS) por meio do site < <https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Foram utilizadas as bandas correspondentes ao sensor de infravermelho próximo “NIR” (Banda 8) e ao vermelho “R” (Banda 4) para a realização da equação a seguir:

Após a utilização da ferramenta “Raster Calculator” para interpolação das bandas e obtenção do índice, foi gerado um novo raster com os valores de -1 à 1, que foram classificados nos intervalos com os respectivos valores: (menor ou igual a 0) Corpos hídricos; (0 – 0,2) Solo exposto; (0,2 – 0,3) agropecuária com agricultura local, usineira e/ou pastagem; (0,3 – 0,4) Vegetação rasteira; (0,4 – 0,6) Vegetação moderada e (0,6 – 1) Vegetação adensada. Realizou-se um campo, que ocorreu durante o período de agosto de 2019, para reconhecimento da área e comparação dos dados obtidos.

4.1.6 Atividades de campo e coletas de materiais

Foram realizadas em média oito atividades de campo para fins de reconhecimento da área, validação dos mapas, análise morfoestratigráfica de perfis e coleta de sedimentos. Os campos de reconhecimento ocorreram entre os meses de janeiro a março de 2019. As demais atividades de campo foram realizadas entre os meses de abril e maio de 2019.

Durante os trabalhos de campo foram utilizados diversos equipamentos fundamentais para a obtenção das informações. Dentre esses equipamentos destacam-se aparelhos dotados de GPS (*Global Positioning System*), câmera fotográfica, cadernetas de campo, mapas básicos (localização, litoestrutural, pedológico e drenagem) em tamanho A3, machadinha para limpar os perfis, sacos plásticos para coleta, etiquetas, papel milimetrado para morfoestratigrafia, prensa, jornais, tesoura de jardinagem, trena, pranchetas, etc.

Para a coleta de sedimentos aluviais e colúviais foram escolhidos pontos estratégicos como cortes de estradas, áreas de voçorocamento e margens de canais fluviais secos (Quadro 1). O processo de coleta se iniciou com a limpeza do perfil por meio de raspagem para a retirada do material superficial exposto às ações externas do ambiente, após esse procedimento foi possível visualizar as camadas de sedimento e, portanto, fazer a medição do pacote sedimentar por inteiro e por camadas. Em perfis nos quais as camadas estavam bem delimitadas foi coletado 1 kg de cada camada. A análise sedimentológica nesse trabalho, justifica-se pela sua importância dentro da compreensão da dinâmica de processos superficiais da paisagem, em especial os processos de erosão (Figura 17 e 18).

PONTOS DE COLETA DE SEDIMENTOS	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
	Latitude	Longitude
Ponto 01 – Encosta convexa com pacote sedimentar com altura mínima de 2m. Área de acesso para moradores locais. Próximo ao parque de Eventos da Cidade do Carpina/PE.	7°51'46.6"S	35°15'32.0"W
Ponto 02 – Corte de estrada em rampa de colúvio. Abertura que dá acesso para área rural do município. Sentindo Lagoa do Itaenga – PE.	7°53'07.8"S	35°15'19.1"W

Quadro 1 - Pontos de coleta de sedimento.

A análise morfoestratigráfica justifica-se por esclarecer o processo de formação das coberturas superficiais, que em alguns casos, é um fator de desequilíbrio do sistema em relação

à ocorrência de processos erosivos, portanto, o arcabouço estratigráfico pode ser um componente facilitador desses sistemas. Para a análise foram observados a disposição, quantidade, espessura e estrutura das camadas sedimentares, assim como a presença de cascalheiras fluviais e minerais flutuantes dentro do pacote sedimentar. Após a análise do perfil o registro foi feito por meio de fotografias, extração de coordenada geográfica e de desenhos representativos em papel milimetrado que posteriormente foram trabalhados no *software* de design gráfico Corel Draw.

Figura 17 - Coleta de sedimento coluvial em área de abertura por ação antrópica para construção de moradia (Ponto 1). Fonte: Autor (2019)



Figura 18 - Coleta de sedimento coluvial em abertura de estrada por ação antrópica para acesso a área rural (Ponto 2).



4.2 ANÁLISES EM LABORATÓRIO

4.2.1 Abordagem Morfoestratigráfica

A associação do registro estratigráfico juntamente com a análise geomorfológica são instrumentos importantes de compreensão da evolução das paisagens atuais (CORRÊA, 2001; SILVA, 2013). Dessa forma, os materiais coletados serão submetidos aos variados tipos de análises: Granulometria e pipetagem, Morfoscopia, Análise Pedológica por Micromorfologia de Solos além da Datação em LOE. As informações morfoestratigráficas obtidas com essas análises, juntamente com dados pedológicos, serão fundamentais para estabelecer a correlação dos depósitos sedimentares e as alterações climáticas quaternárias.

Assim, a análise morfoestratigráfica será realizada com base nas propriedades sedimentológicas e pedológicas que foram identificadas durante o mapeamento das áreas de encosta (colúvios/alúvios) no antigo vale, nos depósitos encontrados nos tabuleiros dissecados e nas vertentes próximas ao rio Capibaribe. As semelhanças na gênese dos sedimentos terrígenos (fluxos de detritos e corridas de lama) que preenchem as áreas de estocagem, acarretaram na necessidade de adicionar técnicas pedológicas que visassem à compreensão da evolução pós-deposicional dos depósitos, permitindo traçar ligações entre as unidades com características semelhantes.

4.2.2 Análise Granulométrica

Para a análise granulométrica foram separadas amostras de 100g de sedimentos inconsolidados (Figura 19). Em seguida foi colocada em uma solução contendo 20g do dispersante hexametáfosfato de sódio e 500 ml de água, agitada por 20 minutos para desflocular e deixada em repouso por até 24h. Após o período de repouso, a amostra foi submetida à lavagem para separação dos sedimentos finos (silte e argila) e grossos (areia e cascalho), só depois foram colocados para secar na estufa a uma temperatura de 60°C.

Figura 19 - Pesagem da amostra para peneiramento úmido. Fonte: Autor (2019)



Quando seca, a amostra foi novamente pesada e depois peneirada em jogos de peneira com intervalos sucessivos de 1 ϕ para a determinação de areia muito fina, areia fina, areia média, areia grossa e cascalho (Figura 20). Os valores obtidos em grama para cada fração granulométrica foram submetidos a tratamento seguindo os parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957). Com isso foram calculados através do programa sysgran 3.0 (disponibilizado gratuitamente na internet) o diâmetro médio, o grau de seleção, grau de assimetria e curtose (Tabela 1, 2 e 3).

Grau de seleção	Valor
Muito bem selecionada	< 0,35
Bem selecionada	0,35 a 0,50
Moderadamente selecionada	0,50 a 1,00
Pobremente selecionada	1,00 a 2,00
Muito pobremente selecionada	2,00 a 4,00
Extremamente mal selecionada	> 4,00

Tabela 1 - Escala quantitativa de Folk e Ward (1957) para descrição do grau de seleção.

Assimetria	Valor
Assimetria muito negativa	-1,00 a -0,30
Assimetria negativa	-0,30 a -0,10
Aproximadamente simétrica	-0,10 a 0,10
Assimetria positiva	0,10 a 0,30
Assimetria muito positiva	0,30 a 1,00

Tabela 2 - Escala quantitativa de Folk e Ward (1957) para descrição do grau de assimetria.

Curtose	Valor
Muito platicúrtica	< 0,67
Platicúrtica	0,67 a 0,90
Mesocúrtica	0,90 a 1,11
Leptocúrtica	1,11 a 1,50
Muito leptocúrtica	1,50 a 1,30

Tabela 3 - Tabela 3. Escala quantitativa de Folk e Ward (1957) para descrição de valores de curtose.

Figura 20 - Peneira (2000mm) com sedimentos grossos.



4.2.3 Pipetagem

Este procedimento diz respeito à separação dos finos através da pipetagem. Tendo como alvo a separação das frações silte e argila, foram utilizadas as recomendações do trabalho de Gale & Hoare (1991), que consistem na obtenção de 20g de amostra representativa pelo método de quarteação.

Utilizando a peneira de 62 μ m o material foi lavado em solução de 5g de Hexametáfosfato de sódio para 500ml de água destilada. Seguindo a tabela de tempo, temperatura e profundidade em que as amostras devem ser coletadas. Cronometrado o tempo contendo diferentes tamanhos de partículas foi pipetado e depositado em beakers, previamente pesados e numerados. Feito isso, o material coletado foi transferido para estufa e secado a temperatura de 60°C, onde após a secagem, os beakers foram pesados para averiguação da quantidade de material coletado, para posteriormente os dados serem usados.

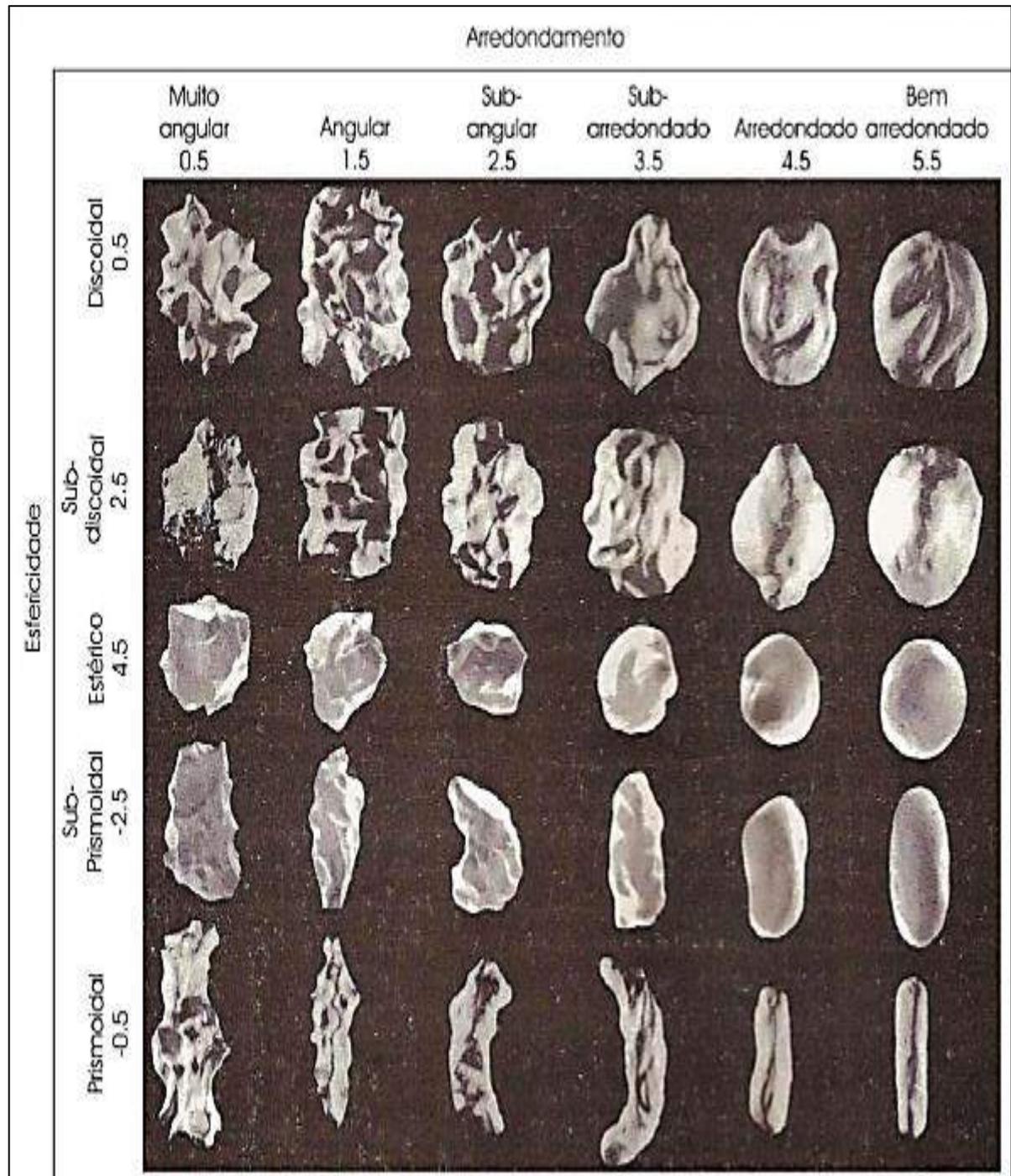
4.2.4 Morfoscopia

Quanto à morfoscopia, as amostras foram analisadas de acordo com os seguintes atributos: forma, grau de arredondamento e esfericidade do grão, textura (brilho, fosco e polido), opacidade (transparente e opaco) e composição mineralógica (material homogêneo ou heterogêneo). Essa análise foi realizada visualmente a partir da comparação entre a projeção máxima do contorno da partícula e de um conjunto de imagens, cujo arredondamento é previamente calculado de acordo com o procedimento descrito por Tucker (1995) (Figura 21).

Para cada amostra, foram selecionados 100 grãos da fração 0,250mm e visualizados através da lupa binocular tecnival (com aumento de 4x e 2x). O tamanho da fração justifica-se por representar o ponto de ruptura entre o predomínio do transporte por tração (grãos > 0,400mm) e por suspensão (grãos < 0,200mm) (LIMA, 2015).

Essa análise permite caracterizar qualitativamente e quantitativamente o material, possibilitando a identificação dos processos operantes durante a dinâmica deposicional da área de estudo. Visando tornar mais objetivo o grau de arredondamento avaliado, foram definidas as categorias: muito angular (0,5); angular (1,5); subangular (2,5); subarredondado (3,5); arredondado (4,5); e bem arredondado (5,5); e para o grau de esfericidade foram definidas as seguintes categorias: esfericidade alta (0,5 e 4,5); esfericidade média (-2,5) e baixa esfericidade (-0,5).

Figura 21 - Diagrama representando os diferentes graus de arredondamento e esfericidade dos minerais que serão analisados Fonte: Adaptado de (Powers, 1982 apud Tucker, 1995).



As análises sedimentológicas foram realizadas nas dependências do Laboratório de Geologia e Ambientes Sedimentares do Departamento de Geologia no Centro de Tecnologias e Geociências e também no Laboratório de Oceanografia com supervisão do Prof. Dr. Antonio Carlos, ambos da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

4.2.5 Micromorfologia de Solos

Para a análise micromorfológica, primeiramente, foi necessária a análise dos perfis *in situ*, tendo como norte principal a dureza e morfologia dos sedimentos. No local, as observações realizadas possibilitaram a constatação da existência de unidades estratigráficas distintas, estas que foram coletadas, nomeadas e rotuladas de acordo com sua feição, localidade, profundidade a qual foi extraída (tendo como referência a base e o topo do perfil) e sua localização geográfica.

Após este procedimento inicial, foram coletadas as amostras indeformadas com o mínimo de perturbação, com o auxílio de pequenas caixas de papel duro (caixa de kubiena) com dimensões de 5 cm x 5 cm x 5 cm feitas artesanalmente (Figura 22). As mesmas foram orientadas, possibilitando a identificação do topo do perfil e a base, permitindo posteriormente o estudo da direção do transporte de material dentro do solo no microscópio. Reitera-se, que as mesmas foram colocadas em ambientes claros e secadas ao ar livre para eliminação do excesso de umidade. Em laboratório, foi realizada a impregnação dos blocos das amostras indeformadas com resina específica, com o objetivo de torná-las resistentes para que fossem laminadas.

Figura 22 - Extração de amostra para análise micromorfológica.



A impregnação e confecção das lâminas de solo foram realizadas no laboratório da Geoloab – Soluções em Geologia. A descrição petrográfica ocorreu no Laboratório de Petrologia I, no Departamento de Geologia da UFPE com o auxílio de microscópio petrográfico

Olympus (BX41), equipado com câmera, no sistema de luz transmitida. Já as descrições e interpretações das feições micromorfológicas foram feitas usando os termos propostos por Delvigne (1998) e Stoops et al. (2010) nos quais a matriz corresponde às partículas de solo e fábrica. O microscópio utilizado não conseguiu captar como figura toda a lâmina. Dessa forma, a lâmina foi dividida em 04 seções agrupadas em (1,2,3,4) e suas respectivas luzes: 1) luz transmitida e com polarizadores cruzados; 2) foto com polarizadores cruzados e descruzados.

O material foi impregnado no laboratório citado acima com uma mistura de Resina Epoxi de Baixa ORG 100%, 10% de endurecedor Epoxi e 45% de acetona P.A. Durante impregnação do material, o arranjo dos constituintes precisa ser preservado. Desta forma, optou-se por uma resina com baixa toxicidade, endurecimento e polimerização mais rápidos, e grau de contração mais baixo do que a da resina comum. Para cada amostra, foram realizadas quatro sessões de impregnação por capilaridade obtida a vácuo seco, em intervalos de 24 h, para melhor penetração da resina na amostra (Figura 23).

Figura 23 - Material com impregnação da resina e endurecedor. Durante o preparo, é necessário indicar o topo e as faces do material.



Associado a impregnação foi utilizada uma bomba de vácuo conectada a um dessecador que abriga a resina e as amostras. Com a polimerização, a amostra tornou-se resistente, mas sem perder a estrutura original, o que permitiu proceder com o seu corte, sua laminação e por último o polimento. O endurecimento completo das amostras ocorreu após quatro semanas.

Com o endurecimento das amostras deu-se sequência à sua laminação. Cada bloco foi cortado em máquina de disco diamantado em duas partes e, por último, cada fatia foi polida em

um disco em rotação com abrasivo e água, até alcançar uma superfície lisa e plana o suficiente para ser colada em lâmina de vidro.

As amostras coladas foram desbastadas e polidas manualmente com abrasivo (carborundum) até a espessura de 30 micra quando, finalmente, o material ficou adequado para estudos microscópicos. Tais procedimentos foram realizados no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco.

4.2.6 Datação em LOE

No que afirma Corrêa (2001), o uso de métodos de datação por luminescência, possibilita a análise e interpretação do acúmulo de cargas radioativas absorvidos pelos minerais cristalinos, principalmente, o quartzo e o feldspato durante seu processo de estocagem. Estes métodos são capazes de estabelecer o último período em que os elétrons foram armazenados pelos minerais primários e estocados na superfície.

Diante da especificidade da área de estudo e de sua contribuição primordial, foi escolhido para essa pesquisa o protocolo SAR (Single Aliquot Regeneration). Esse método, consegue estabelecer uma cronologia dos eventos deposicionais ocorridos. Com ele, é possível também, prever padrões climáticos regionais de grande magnitude, até episódios erosivos recentes que fomentaram alterações morfológicas e nos padrões de uso da terra (BEZERRA et al, 2008; SILVA, 2013; FÔNSECA, 2018; SILVA, 2019 e MELO; 2019). Portanto, o protocolo SAR conduzida com 10 alíquotas.

As vantagens da utilização do método em LOE, refere-se ao fato de que ele explora a propriedade física – a luminescência absorvida nas fraturas do quartzo – inerente aos sólidos cristalinos (minerais) encontrados no próprio depósito.

Assim sendo, a LOE se converte em método de datação absoluta de eventos deposicionais. Sua abrangência temporal vai desde cerca de 100 anos ap. até 1Ma, reconhecendo eventos deposicionais ocorridos ao longo do Quaternário. Sabe-se que variadas são as situações, sendo as primordiais: 1) eventos climáticos regionais de grande magnitude (mudanças nos padrões de circulação regional); 2) eventos tectônicos que afetaram a rede de drenagem (inversões e capturas por soerguimento das cabeceiras),; 3) episódios erosivos recentes, desencadeados por alterações nos padrões de uso do solo (CORREA, 2001).

O método LOE presume que qualquer carga pretérita de elétrons, contida em um sedimento é substancialmente reduzida, ou completamente removida, durante os processos de erosão, transporte e sedimentação, restando apenas uma pequena carga residual não removível.

Quando os grãos são soterrados e permanecem fora do alcance da luz solar, eles começam a acumular uma população de elétrons aprisionados devido ao efeito da radiação ionizante emitida pelo decaimento de radioisótopos contidos no próprio depósito. Uma parte desta radioatividade natural origina-se dentro dos próprios grãos de quartzo e feldspato (radiação beta), mas a dose de radiação é oriunda, principalmente, do depósito em si (radiação gama). Se o fluxo de radiação ionizante for constante, então o tempo de soterramento pode ser determinado pela medição da dose armazenada nos grãos, dividida pelo fluxo da radiação ionizante ambiental (dose ambiental).

A coleta foi realizada em seis perfis estratigráficos, utilizando tubos de PVC, de 35cm de comprimento. Os tubos foram inseridos em pontos estratégicos, dos quais verificaram-se mudanças nos gradientes do sedimento. Procurou-se identificar no pacote sedimentar discontinuidades para que pudéssemos compreender possíveis episódios de estocagem. Não havendo contato com a luz do sol, em seguida os canos foram recobertos com sacos plásticos da cor preta e embalados para análise. O procedimento ocorreu na empresa Datação, Comércio & Serviços – LTDA¹, em São Paulo – SP, foram encaminhadas seis amostras no total. No entanto, após procedimentos descritos abaixo, somente foi possível datar quatro amostras. A metodologia abaixo segue a proposta por Wallinga et al., (2000), disponibilizada pelo referido laboratório citado acima.

- Preparação das amostras

Os tubos são abertos em ambiente de luz vermelha na extremidade interna de inserção que deve ser indicada. Posteriormente passam por um tratamento químico com H₂O₂ (20%), HF (20%) e finalmente HCl (10%), sendo que as lavagens intermediárias são efetuadas com água destilada. Após tratamento químico as amostras são secas e peneiradas separando em uma fração granulométrica na faixa de 100-160 µm (100-60 Tyler), obtendo assim material Natural (quartzo/feldspato) isentos de materiais orgânicos e/ou metais pesados, e com granulometria bem homogênea.

- Preparação das amostras para análise de TL / OSL

A partir da amostra de material Natural é separada uma porção que é submetida à radiação solar por um período de aproximadamente 20 dias para decaimento Residual (TL / OSL). Desta porção são separadas várias amostras que são irradiadas (fonte de ⁶⁰Co (⁴⁵⁵Ci)) em várias doses pré-definidas (Gy), que devem estar próximas a dose acumulada Natural para montagem da curva de calibração.

¹ <http://www.datacao.com.br/index.html> - Metodologia aplicada abaixo é disponibilizada no site da empresa.

- Determinação da Dose Acumulada Natural ou Paleodose

Nessa etapa foram utilizados os seguintes equipamentos: Fotomultiplicadora Thorn EMI Electron Tubes, Type 9235QA; Sistema de LUZ Azul por LED; Contador de Fótons e Fonte de Alta Tensão. Software próprio desenvolvido para coleta de dados.

O protocolo SAR é feito para determinar uma idade média dentre pelo menos 10 a 20 alíquotas, ou seja, são feitas de 10 a 20 curvas de calibração e encontradas de 10 a 20 idades.

No protocolo SAR apenas uma alíquota (~7mg) é utilizada para a determinação de cada Paleodose (P). Dessa forma, a alíquota usada na medida do sinal natural de LOE, será a mesma utilizada nas diversas etapas de irradiação, para a construção da curva de calibração. Assim, no protocolo SAR se utilizarmos as mesmas 20 alíquotas, obteremos no final 20 valores de P e, conseqüentemente, 20 idades diferentes para uma mesma amostra.

Embora o protocolo SAR elimine os problemas dos procedimentos de datação existe uma série de fatores que, se não forem observadas e corrigidas, podem torná-lo tão propensos a erros como os demais protocolos. Um exemplo de observação a ser considerada é a seguinte: devido às repetidas etapas de irradiações, pode ocorrer uma queda ou aumento na sensibilidade dos grãos que formam uma alíquota, gerando uma variação na resposta da LOE em função da dose aplicada. A fim de corrigir este possível problema, entre as doses de radiação ionizante e após a medição do sinal natural, é aplicada e medidas as doses de teste (DT) constante e, geralmente, determinada com base no valor estimado para P, em torno de 10 % P. Wallinga et al, (2000), mostram que este teste é necessário para eficácia do protocolo SAR.

Para efetuar o protocolo SAR devemos seguir algumas etapas: Separação de 20-50 grãos (100-300 μ m) ou alíquotas (7mg) de cada amostra a ser datada: 1. Medida da LOE natural, Ln. 2. Irradiação (fonte radioativa) com dose teste (DT). 3. Tratamento térmico de 220oC. 4. Medida da LOE teste, Tn. 5. Irradiação com dose regenerativa. 6. Tratamento térmico de 220oC. 7. Medida da LOE regenerativa, Li. 8. Irradiação com dose teste. 9. Tratamento térmico de 220oC. 10. Medida da LOE teste, Ti . 11. Repetição do ciclo começando a partir do item 6 até a 4 dose regenerativa.

Terminado a confecção da curva de calibração individual de cada grão/alíquota, que é a razão Li/Ti versus dose, onde i=1 até 4. A seguir, é feito um gráfico de calibração Li\Ti versus a Di, como são usados os mesmos grãos para o ciclo todo, eles podem sofrer variações (alteração) na sua resposta LOE com a dose, essas variações são corrigidas através da leitura da dose teste, que será sempre constante em cada ciclo (geralmente em torno de 10% do valor da dose acumulada). Com o gráfico da calibração pronto, insere-se o valor da taxa Ln\Tn (a

luminescência natural contida na amostra pela luminescência teste), para encontrar o valor da dose acumulada natural no cristal.

Para se encontrar os valores de D_e , são usados o modelo de cálculo pela média ponderada dos D_e , ou utiliza-se apenas os valores mais baixos de D_e , considerando que os altos estavam com sinal de LOE residuais.

O Protocolo SAR como um todo ainda é composto por mais 3 testes: 1. Reciclagem, que é a correção na sensibilidade da resposta $0,9 < (L_i/T_i)/(L_1/T_1) < 1,1$, onde i = última dose igual a D_1 ; 2. Recuperação do sinal devido à irradiação, estimulação ou tratamentos térmicos prévios (L_0/L_{nat}) $< 5\%$, onde L_0 = emissão devido à dose zero; 3. Recuperação de dose, determinação da dose, previamente estabelecida, usando o SAR, com os mesmos parâmetros usados para determinar a D_e da amostra. A idade (I) é calculada dividindo D_e por T , este é encontrada através dos valores de concentração dos isótopos radioativos do U, Th e K, além da contribuição da radiação cósmica. Esses valores são determinados através de espectroscopia gama. A idade média encontrada pela técnica de LOE é o momento na qual a amostra foi exposta, por um longo tempo, à luz solar pela última vez.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO CONFORME METODOLOGIA DO IBGE

Para compreender a paisagem atual se faz necessário à reconstrução de sua evolução ao longo da história geológica associada às dinâmicas superficiais e climáticas tanto nas áreas locais como regionais. Múltiplas são as abordagens utilizadas na geomorfologia para elucidar a gênese e a dinâmica superficial desse relevo que é um elemento concreto da paisagem. Dessa forma, as unidades observadas hoje no espaço são de extrema importância aos estudos geológicos e geomorfológicos, pois guardam registros de diversas mudanças ambientais e climáticas que ocorreram no Quaternário superior.

A compreensão das características morfológicas apresentadas para ambientes úmidos e subúmidos se tornou ferramenta indispensável para as análises das dinâmicas geomorfológicas, que englobam a análise de áreas de estocagem de sedimentos e suas morfologias.

Nesse sentido, foi confeccionado um mapeamento com as unidades morfoestruturais, morfoclimáticas, unidades geomorfológicas, morfoesculturais (modelados de dissecação; dissecação-acumulação, acumulação e residuais) apresentando informações sobre a estrutura e morfogênese do relevo, com a finalidade de compreender a dinâmica de erosão e deposição de sedimentos no município de Carpina e áreas circunvizinhas, no Nordeste do Brasil.

Partindo, portanto, da análise do mapeamento elaborado, percebe-se que o município se encontra numa área de formas antigas, que já foram bastante desgastadas por meio dos processos superficiais e geoclimáticos (Figura 42). As formas descritas abaixo são, em sua totalidade, resultados de intensos processos erosivos e intempéricos que modificaram e suavizaram o relevo da paisagem em questão.

5.1.1 Domínios Morfoestruturais

Os Domínios Morfoestruturais compreendem os maiores táxons dentro de um contexto regional na compartimentação estruturada do relevo. Essas estruturas, normalmente, se organizam em relação aos fatos geomorfológicos sob o arcabouço geológico que é marcado pela natureza das rochas, pelos sistemas exógenos e endógenos.

Esses fatores, quando estão sob efeitos climáticos variáveis ao longo do tempo, possibilitam amplos conjuntos de relevos com características distintas, cujas feições, embora

diversas, guardam entre si, as relações comuns com a estrutura geológica a partir da qual se formaram (IBGE, 2009).

Os Cinturões Móveis Neoproterozóicos - Compreendem as áreas representadas pelo Piemonte da Borborema que formam os modelados de dissecação (Topos aguçados em crista, topos aguçados, topos convexos e feições residuais elaborados em terrenos dobrados e falhados, incluindo principalmente metamorfitos e granitóides associados.

As bacias e coberturas Cenozoicas – Compreendem as áreas de acumulação representadas pelos tabuleiros e vertentes de baixa declividade sobre depósitos de sedimentos horizontais. Na área é compreendida pelos topos tabulares, vertentes planares, vertentes côncavas, pelos terraços e planícies fluviais.

5.1.2 Região Geomorfológica

A área da pesquisa em pauta, está inserida dentro do Piemonte da Borborema, à oeste, e limitada, à leste, pelo Planalto sedimentar litorâneo.

- **O Piemonte da Borborema** que se caracteriza pela variedade dos contextos litológicos, é definido morfologicamente por um domínio de topos ora aguçados, ora convexos com múltiplos graus de agrupamento e/ou isolamento, apresentando cotas altimétricas a partir de 200 metros (FONSÊCA et al, 2016).

Esse tipo de domínio é seccionado por uma vasta rede de drenagens, que demonstram características morfológicas ora dendrítica, ora condicionadas pelas estruturas lineares subjacentes, rios com canais retilíneos, mudanças de direção em ângulo reto e knickpoints (FÔNSECA, 2018).

- **Planalto Sedimentar Litorâneo** - Esse domínio está presente na área de estudo, de forma contínua entre a Zona de Cisalhamento Pernambuco – ao norte e, de forma fragmentária ao sul, dessa mesma zona de fratura. É compreendida por se estabelecer sobre litologias da Bacia Paraíba e principalmente do capeamento cenozoico que recobre a mesma – a Formação Barreiras.

O planalto sedimentar litorâneo se desenvolve a partir da erosão regressiva das cabeceiras através do entalhamento ativo dos sedimentos incoesos que compõem o

substrato deste domínio, atingindo em alguns vales mais entrincheirados, as formações mesozoicas subjacentes.

Genericamente, a morfologia é dominada por divisores amplos e tabulares, dissecados por vales consequentes de primeira ordem que normalmente confluem, paralelamente, para um coletor principal adaptado às estruturas lineares que interceptam transversalmente a linha de costa (FONSÊCA et al. 2016), atreladas à direção preferencial das zonas de cisalhamento pré-cambrianas do embasamento.

5.1.3 Unidade Geomorfológica

5.1.3.1. Mares de Morros

- **Modelados de Dissecação Estrutural**

Topos Aguçados em Crista – Cobertura em Elúvio - estão associados às áreas de dissecação, sendo definidos como um relevo de colina com geometria convexo-côncava, francamente dissecados e com topos aguçados em forma de crista a mais de 240m, apresentando cobertura superficial eluvial. Pode ser caracterizado como um relevo movimentado, com vertentes que variam de gradientes médios a elevados. Apresenta também lineamentos estruturais ligados as zonas de cisalhamento compressional transcorrente dextral e sinistral (Figuras 24 e 25).

Figura 24 - Topos aguçados em forma de cristas ao norte da área de estudo.



Figura 25 - Topos aguçados entre as colinas dissecadas.



- **Feições Residuais**

Inselberg – para a área, é caracterizado como um corpo intrusivo isolado que se destaca da morfologia do entorno pela sua diferença altimétrica e morfologia distinta. Trata-se de um corpo granítico que aflora nos tabuleiros conservados. É circundado por vertentes côncavas, de litologia cristalina intemperizados por processos físicos e químicos com sedimentos em elúvio - cobertura vegetal atuante. Localmente, essa unidade recebe o nome de Morro do Trapuá e faz divisa entre o município de Carpina e Tracunhaém (Figura 26).

Figura 26 - Inselberg aflorado nos Tabuleiros Conservados.



- **Modelados de Dissecação Homogênea**

Topos Convexos – Cobertura em Elúvio - correspondem às elevações de baixa altitude (não excedem aos 50-80 metros), caracterizadas por sua baixa declividade e um arredondamento em sua forma. Os topos são amplos e as vertentes variam entre convexas ou convexo-côncavas. A declividade destas áreas varia de 0 a 15% (Figura 27).

Figura 27 - Mares de Morros com formato convexo.



5.1.3.2. Tabuleiros Costeiros

- **Modelados de Dissecação Homogênea**

Topos Tabulares – Formação Barreiras - São caracterizados por estarem em área de transição entre o embasamento cristalino do Piemonte da Borborema e o embasamento do Planalto sedimentar litorâneo (FÔNSECA, 2018). Os topos mapeados se apresentam com dissecações moderadas a fracas, contendo camadas compostas por coluvionamentos (Figura 28).

A área possui baixa declividade com morfologia plana, além da incisão de alguns vales profundos dos quais muitos deles são cabeceiras que fornecem drenagem ao rio Capibaribe, caracterizando vales típicos das áreas com profundos mantos de alteração (Figura 29 e 30). Os topos estão à leste do mapeamento, que podem ser explicados pela flexura da borda continental ou pela posição à jusante do Complexo Vertentes, sua mais provável área fonte conforme

apresentado por Cavalcanti & Corrêa (2008). No período que cobre a contemporaneidade, essa unidade vem sofrendo retrabalhamento por erosão linear intensa e ação de movimentos de massa, derivados ou não das ações antrópicas e dos regimes climáticos.

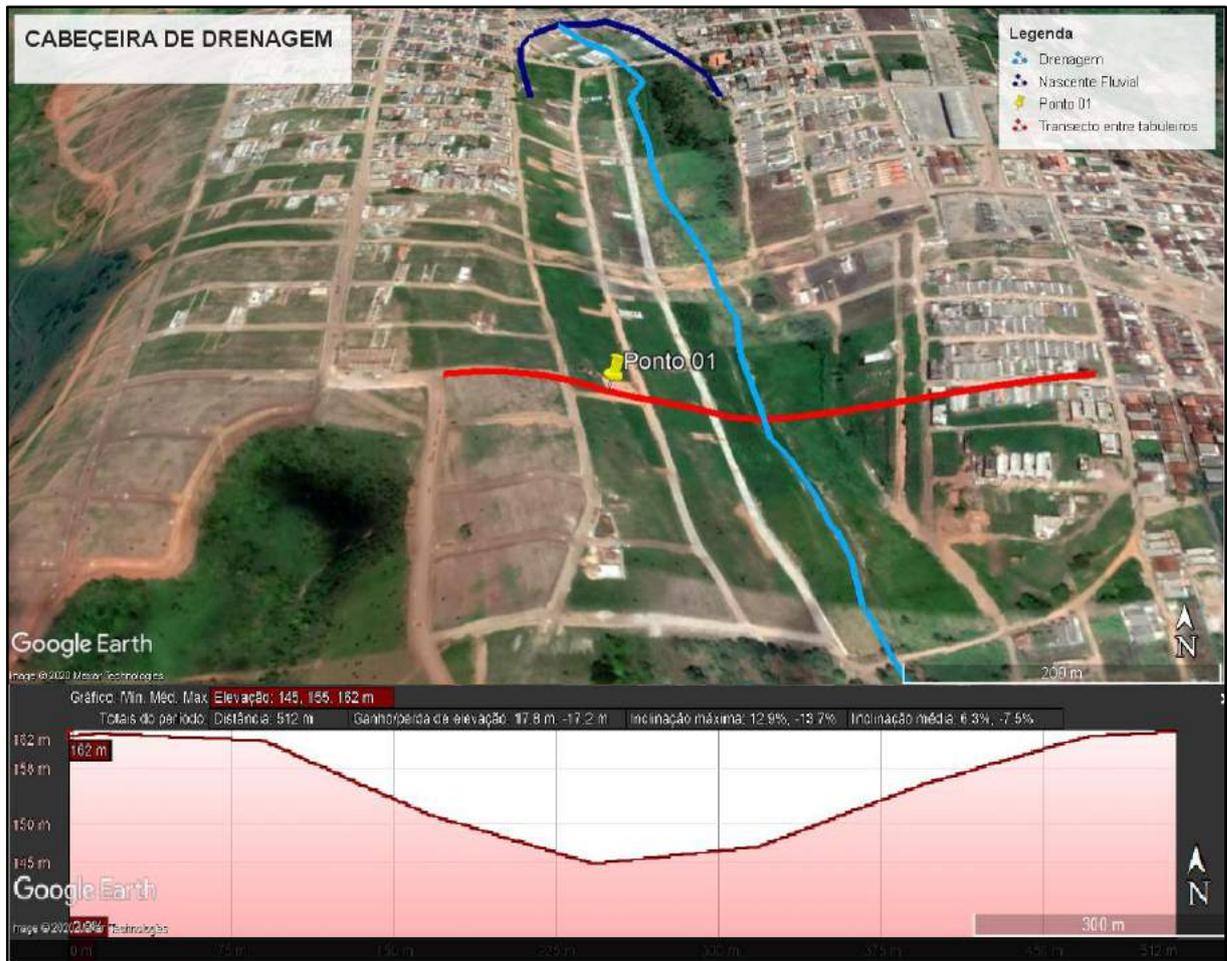
Figura 28 - Topo Tabular (Tabuleiro predominante da área de estudo) às margens da PE090.



Figura 29 - Imagem panorâmica entre um topo tabular e outro.



Figura 30 - Transecto entre tabuleiros e área de coleta. Na imagem incisão de uma antiga cabeceira de drenagem.
Fonte: Adaptado do Google Eart Pro 2020.



Vertentes planares – Cobertura em Colúvio - são superfícies de deposição inclinadas bastante comuns na área de pesquisa, que entulham os fundos dos vales e das antigas cabeceiras de drenagem, formadas por depósitos de encostas (Figuras 31, 32 e 33).

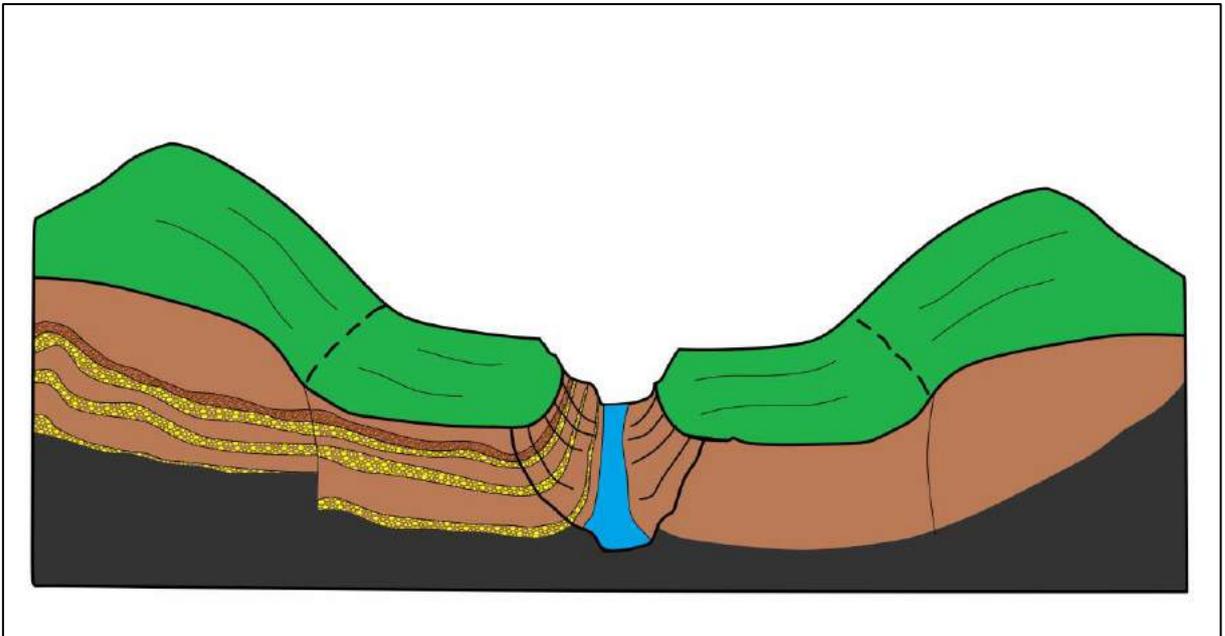
Figura 31 - Abertura de terreno por ação antrópica em vertente planar.



Figura 32 - Vertentes Planares com cobertura em colúvio sob a Formação Barreiras.



Figura 33 - Representação das vertentes planas com recobrimento em colúvio.



Em pesquisa de campo foi possível identificar que todas as vertentes que compõe os tabuleiros costeiros apresentam certa estratigrafia e associados ao mesmo input e/ou outros inputs de energia que ocorreu na área analisada. Em campo, percebe-se que está estratigrafia é constituída por discontinuidades em forma de cascalheiras ora separada por depósitos de colúvio ora expostas no topo da área. Sabe-se que ambos os depósitos estão interconectados a Formação Barreiras e pela textura desses pacotes sedimentares, sugere-se, que o colúvio foi ocasionado por eventos de precipitação de grande magnitude e baixa ocorrência dentro do Quaternário Superior (Figuras 34 e 35).

Figura 34 - Vertentes dos tabuleiros costeiros com estratificação.



Figura 35 - Os pontos de A a W foram plotados em encostas que possuem o mesmo tipo de seção estratificada.



Vertentes Côncava – Cobertura em Elúvio/Colúvio – são caracterizadas pelas Vertentes recobertas por depósitos de encostas que correspondem a uma zona de dissecação/acumulação, constituídas por materiais *in situ*. Estão associados às áreas de vertentes dos mares de morros (Figura 36).

Figura 36 - Vertentes côncavas com cobertura em elúvio e canal de drenagem estreito.



- **Modelados de Acumulação**

Terraços Fluviais – são caracterizados como superfícies geradas pelo abandono de planícies de inundação (CHRISTOFOLETTI, 1974). É formada por acumulação fluvial de forma plana, levemente inclinada, apresentando ruptura de declive em relação ao leito do rio e às várzeas recentes situadas em nível inferior, entalhadas devido às mudanças de condições de escoamento e consequente retomada da erosão. Isto ocorre nas áreas entre as vertentes com cobertura em elúvio e as planícies contendo sedimentos aluviais com medições entre finas a grosseiras, pleistocênicas e holocênicas (Figura 37 e 38).

Figura 37 - Terraço fluvial localizado às margens do Rio Capibaribe.



Planícies Fluviais – Resultam de uma área plana com deposição fluvial sujeita às inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais. Na área, ocorrem entre os vales convexizados com preenchimento aluvial e drenagem principal (Figuras 38, 39, 40 e 41).

Figura 38 - Planície fluvial do Rio Capibaribe. Seta Vermelha = Rio Capibaribe; Seta Amarela: Planície.



Figura 40 - Canal principal do Rio Capibaribe (Seta Vermelha) - Nas margens, planície fluvial com uso e ocupação por parte da Usina Petribú – Cultivo de Cana de Açúcar (Seta Amarela).



Figura 39 - Transecto entre a vertente, o canal principal do Rio Capibaribe e outra vertente convexa. Fonte: Adaptado do Google Earth Pro 2020.

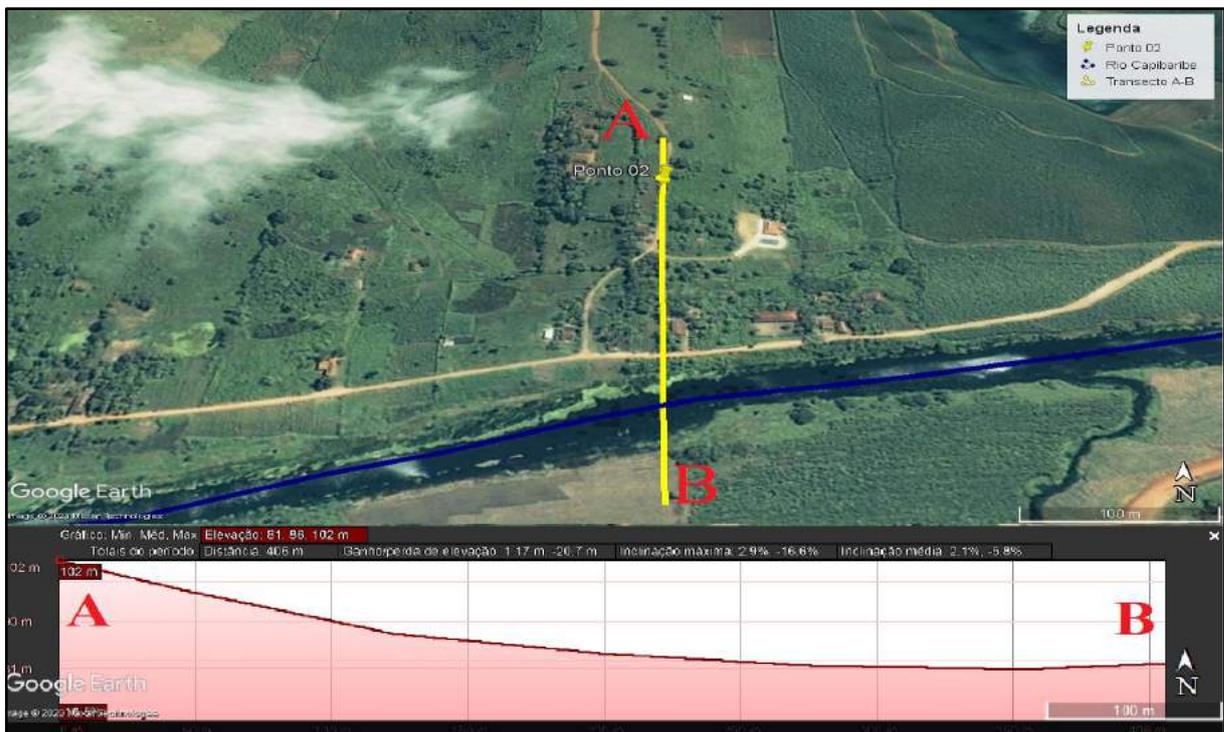
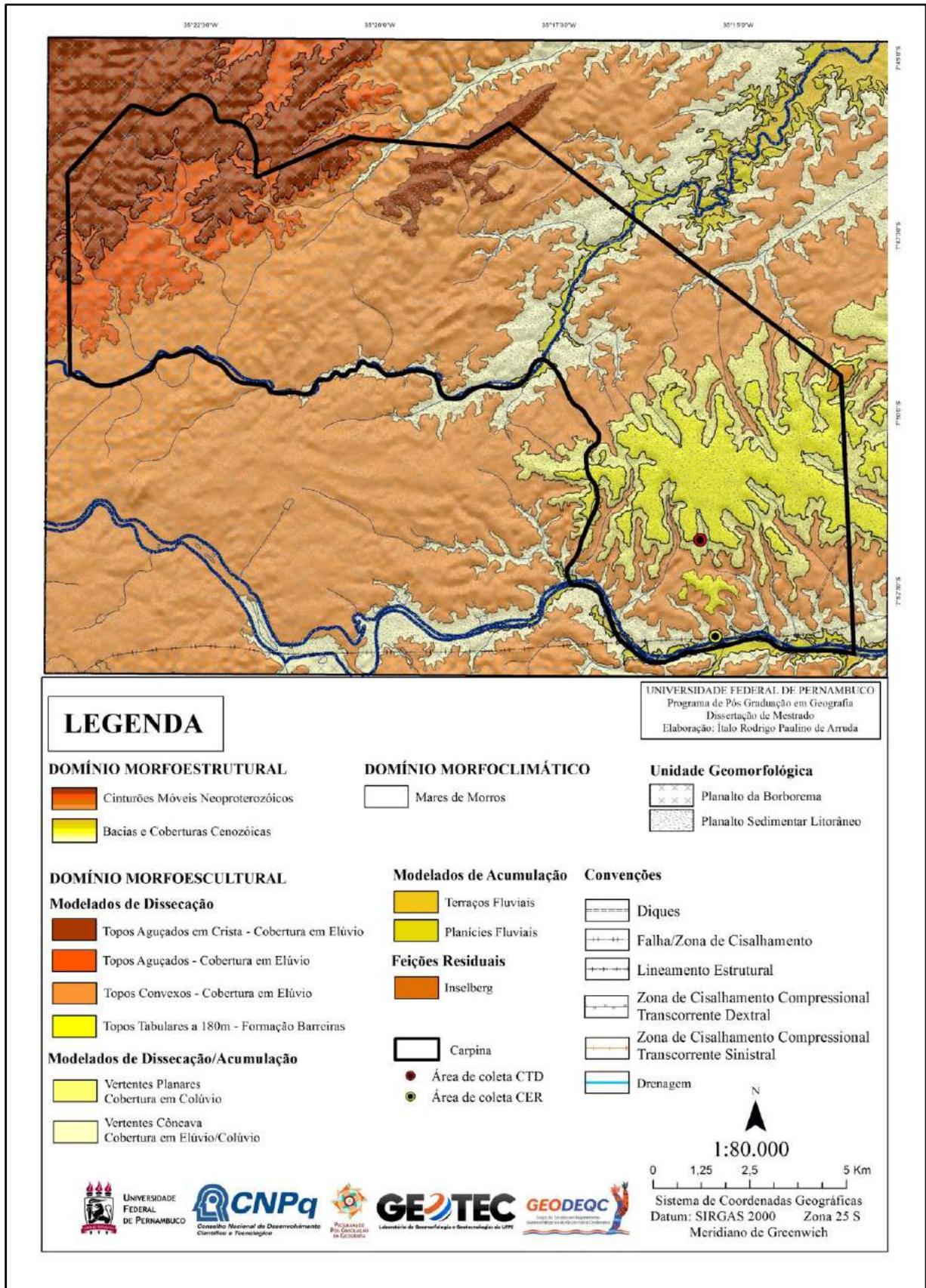


Figura 41 - Rio Capibaribe à esquerda da imagem (seta vermelha); Planície fluvial com plantação de cana de açúcar e uso agrícola (seta amarela) e abertura de estrada no antigo terraço (seta azul).



Figura 42 - Mapeamento Geomorfológico para a área de estudo.



5.2 ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DOS DEPÓSITOS DE ENCOSTA

Para compreender e interpretar o conjunto escultural do relevo somado a sua deposição sedimentar, muitas vezes coluvial e aluvial, se faz necessário o uso da abordagem morfoestratigráfica na reconstrução do ambiente. O uso da análise sedimentológica, responde questões cruciais a respeito do evento de deposição. Conforme Ramos (2014), o tamanho e a seleção dos grãos, tal como a quantidade de finos e grossos, forma e textura, são elementos que quando analisados em conjunto permitem montar um quebra cabeça, a respeito dos processos ocorridos no ambiente durante a remobilização, transporte e a deposição do material.

Dando segmento a esta perspectiva, como as unidades deposicionais mantêm uma relação estreita com a presente morfologia superficial, torna-se necessária uma comparação entre a geometria do depósito e a forma superficial para a criação de um modelo adequado de evolução morfoestratigráfica da paisagem (CORRÊA, 2001).

As coletas ficaram restritas a: 1º ponto, a encosta elevada presente no tabuleiro dissecado e o 2º ponto em encosta convexa próximo a planície do Rio Capibaribe a uma distância de 2,5km (Figura 43), visto que neles se localizavam as principais áreas de estocagens de sedimentos na área de estudo. O trabalho contempla dois pontos de coleta e para melhor visualização, seções verticais e modelados tridimensionais foram elaboradas, sendo denominadas: Colúvio em Tabuleiro Dissecado (CTD) e Colúvio em Encosta próximo ao Rio (CER).

Figura 43 - Transecto entre os dois pontos de coleta. Fonte: Adaptado do Google Earth Pro 2020.



5.2.1. Análise da seção vertical CTD (Ponto 01)

O ponto de coleta CTD é um depósito localizado em uma encosta com cobertura coluvial (Figura 44) que se encontra seccionado por abertura de áreas para construção de conjunto habitacional (Figura 45). Para a coleta de material, foi selecionado um terreno exposto com

mais de vinte metros quadrados de incisão, onde foi possível identificar três camadas sedimentares e variados arranjos estruturais do ambiente.

Figura 44 - Modelo Digital do Terreno e perfis topográficos da área de coleta. Os círculos representam a área de depósito de colúvio.

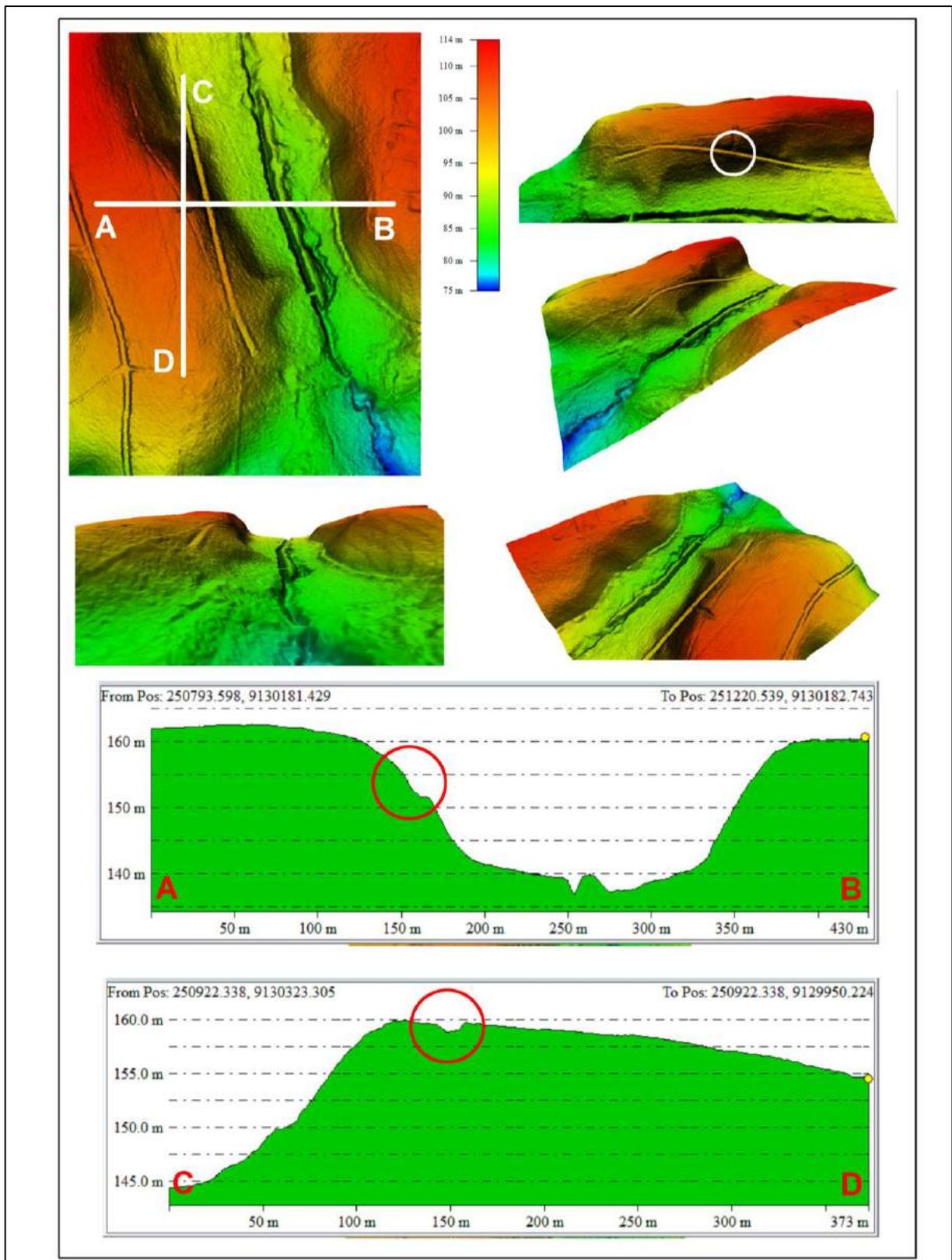


Figura 45 - Depósito coluvial na encosta planar do Tabuleiro costeiro.



A medição do perfil (Figura 46) deu-se da base para o topo e resultou na coleta das seguintes amostras: CTD 10, CTD 60 e CTD 120 (Figura 47). A partir da seção vertical e da análise de sua macrofábrica pôde-se observar que o material coluvial encontrava-se depositado acima de uma cascalheira matriz – Formação Barreiras. Da base ao topo o perfil mediu 1,80cm de colúvio grosso (Figura 48).

Figura 46 - Medição do depósito de colúvio – Ponto 01.



Figura 47 - Coleta de sedimentos para datação em LOE.

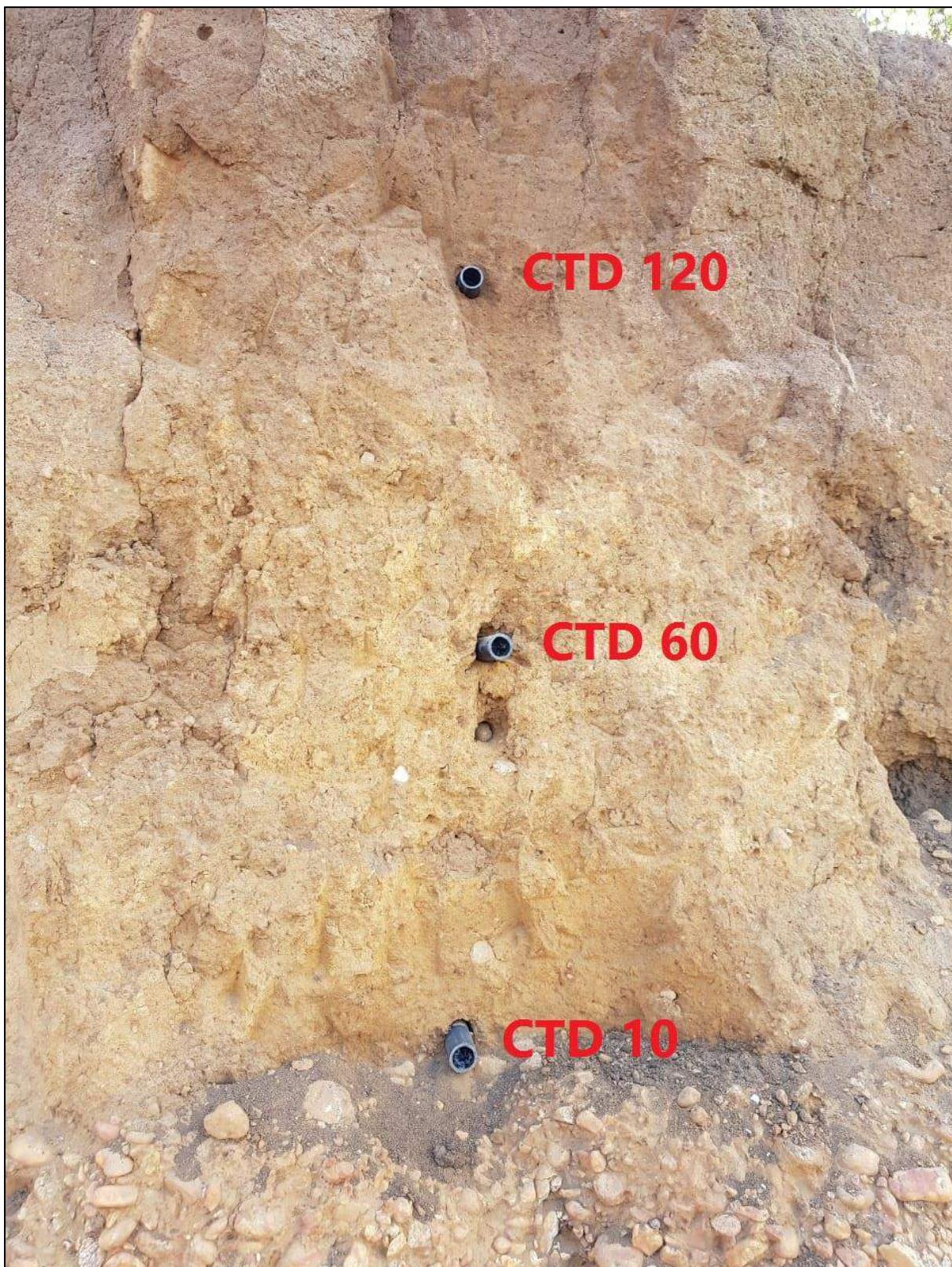
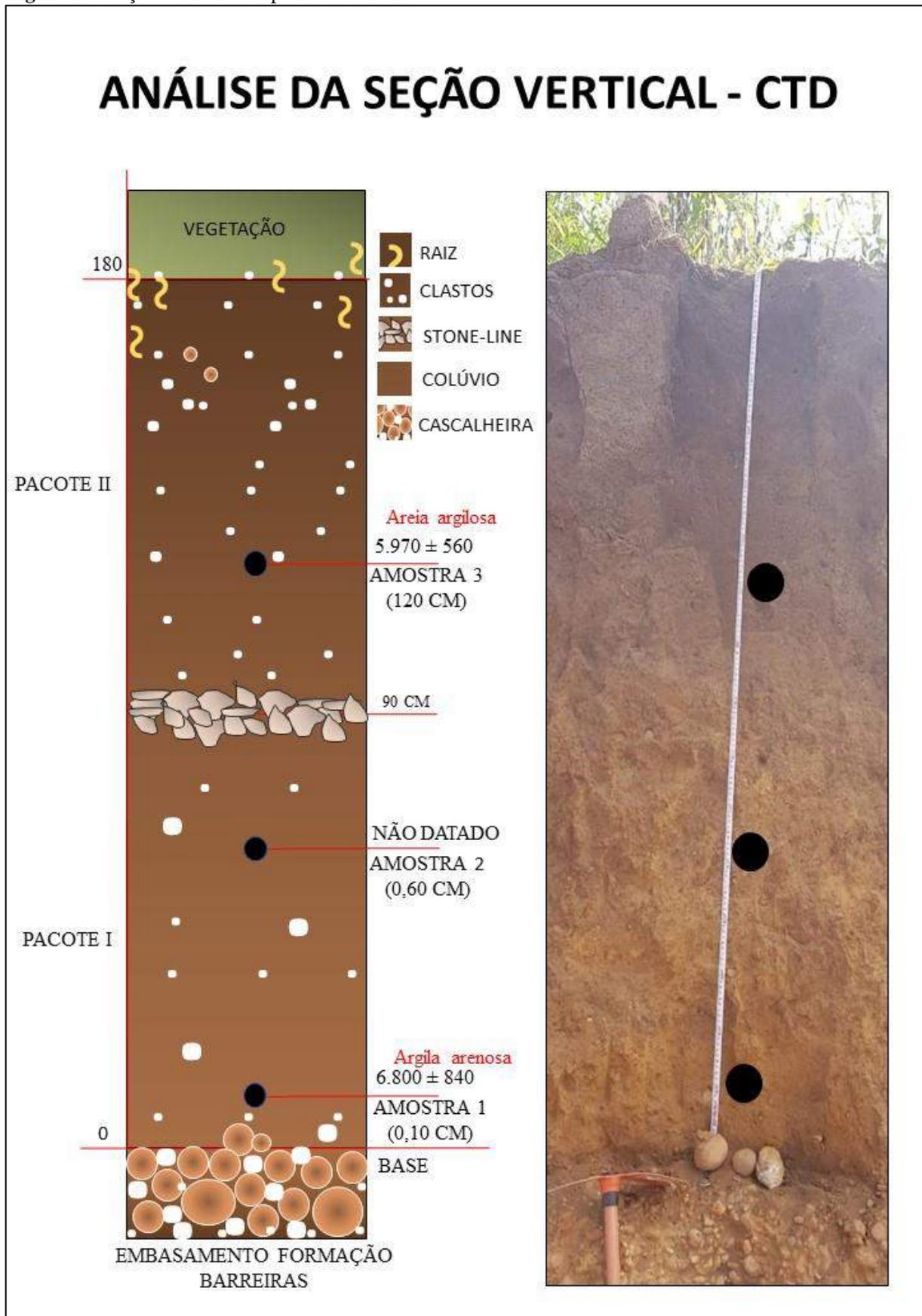


Figura 48 - Seção vertical do depósito de colúvio.



Em geral, o material supracitado caracterizava-se por dois grandes pacotes; o 1º contendo características de solo argiloso-arenoso com presença de grânulos entre 2 e 5 cm; já o 2º constitui-se por uma estrutura arenosa-argilosa com presença de clastos maiores de 5cm. O que marca a diferença (Figura 48), entre esses dois pacotes, é uma descontinuidade observada a 90 cm acima da base de sedimentos clásticos (Figura 49).

A interpretação realizada in loco foi a de que o material (Figura 46), encontrado no 1º pacote, tenha sido transportado por um grande fluxo sob uma rocha alterada com indícios de corrida de lama, típico da Formação Barreiras em todo o Estado (Figuras 47 e 48). Foram coletados materiais a 10cm acima da base e a 60cm, respectivamente.

O segundo pacote, foi identificado após a presença de uma descontinuidade sedimentar (cascalheira) formada por grande presença de quartzos (Figura 49). Destarte, a terceira coleta ocorreu a 1,20m da base. Para uma maior compreensão acerca da área de coleta foram realizados perfis transversais e longitudinais (Figura 50).

Figura 49 - Pacote sedimentar com presença de descontinuidade formada por uma stone-line (Linha amarela).



Figura 50 - Área de depósito coluvial – Formação Barreiras (Ponto 1).



5.2.2. Análise da seção vertical CER (Ponto 02)

O ponto de coleta CER é um depósito localizado na metade de uma rampa sedimentar (Figura 51) que se encontra seccionado por abertura de estrada para acesso a comunidade rural, do município em estudo (Figura 52). Para a coleta, foi selecionado um depósito ao lado direito (S) dessa via, onde foi possível identificar apenas uma camada sedimentar e variados arranjos estruturais do ambiente.

Figura 51 - Modelo Digital do Terreno para a área de coleta e perfis topográficos traçados. Os círculos representam o local de extração do depósito.

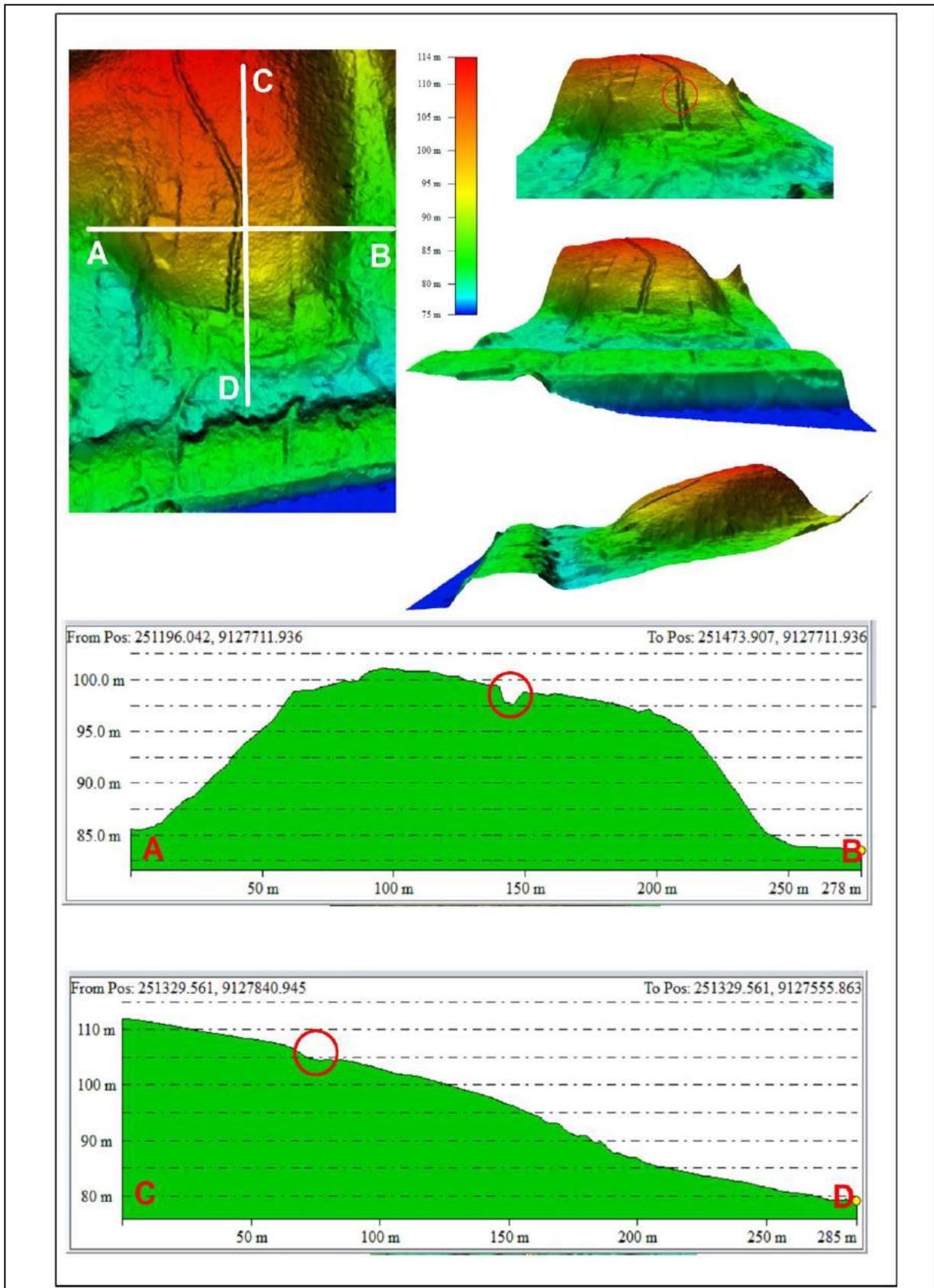


Figura 52 - Área de coleta do Ponto 2 – Estrada para área rural do município.



A medição do perfil (Figura 53) deu-se da base para o topo e resultou na coleta das seguintes amostras: CER 30, CER 80 e CER 160 (Figura 54). A partir da seção vertical e da análise de sua macrofábrica pode-se observar que o material sedimentar encontra-se depositado acima de seu embasamento cristalino, onde a rocha se encontra em alteração. Da base ao topo o perfil mediu 1,90cm de sedimento grosso composto por material colúvio e alúvio, além da presença de clastos (angulosos e arredondados) do topo a base.

Figura 53 - Medição e análise do perfil in loco em rampa sedimentar.



A priori, o material apresentava-se como uma única camada (Figuras 55 e 56), porém optou-se por fazer três coletas em função da aglomeração distintas de quartzos dentro do perfil que pareciam significar alguma discordância na sedimentação do pacote sedimentar (Figura 55).

Figura 54 - Seção vertical do depósito de colúvio.

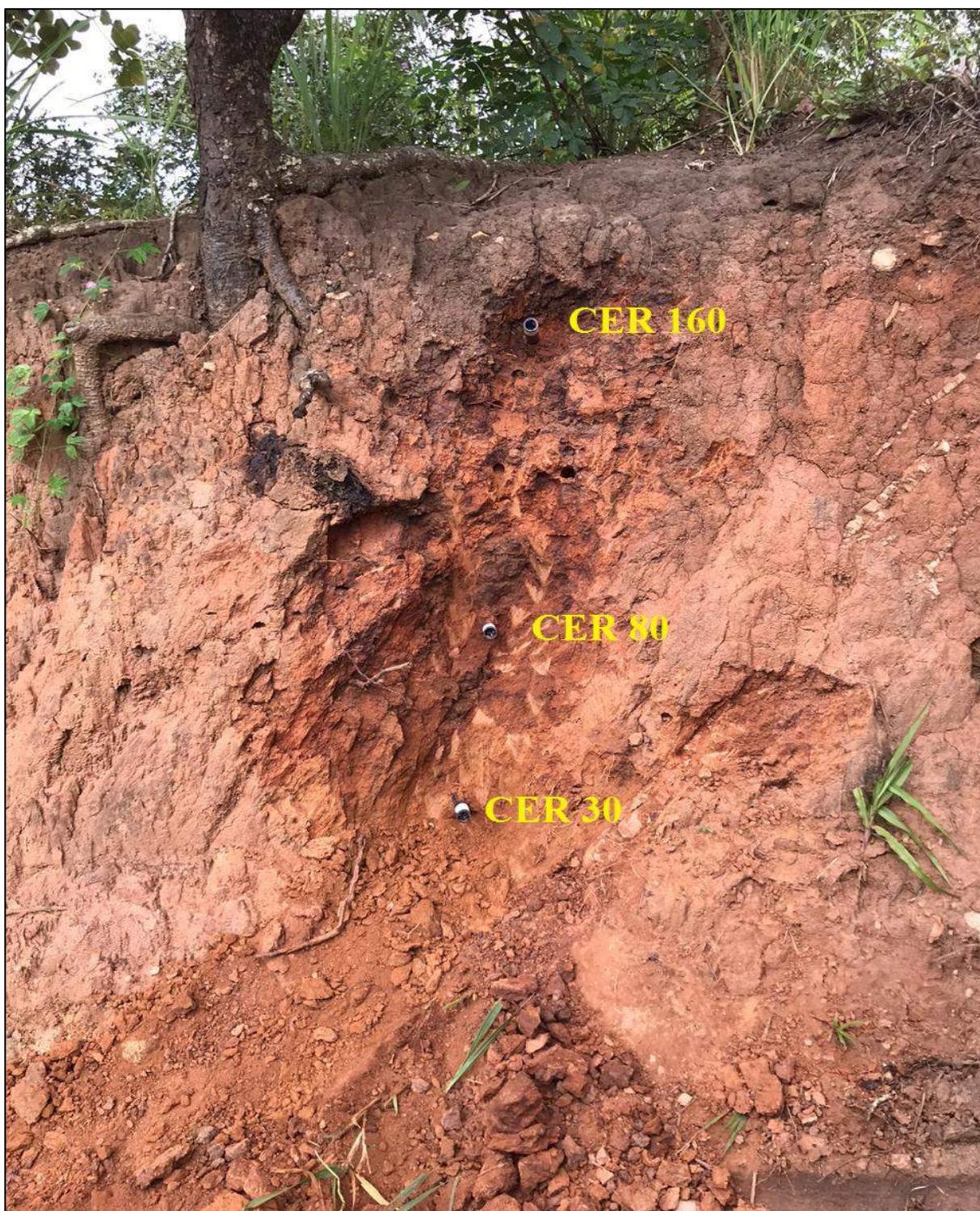
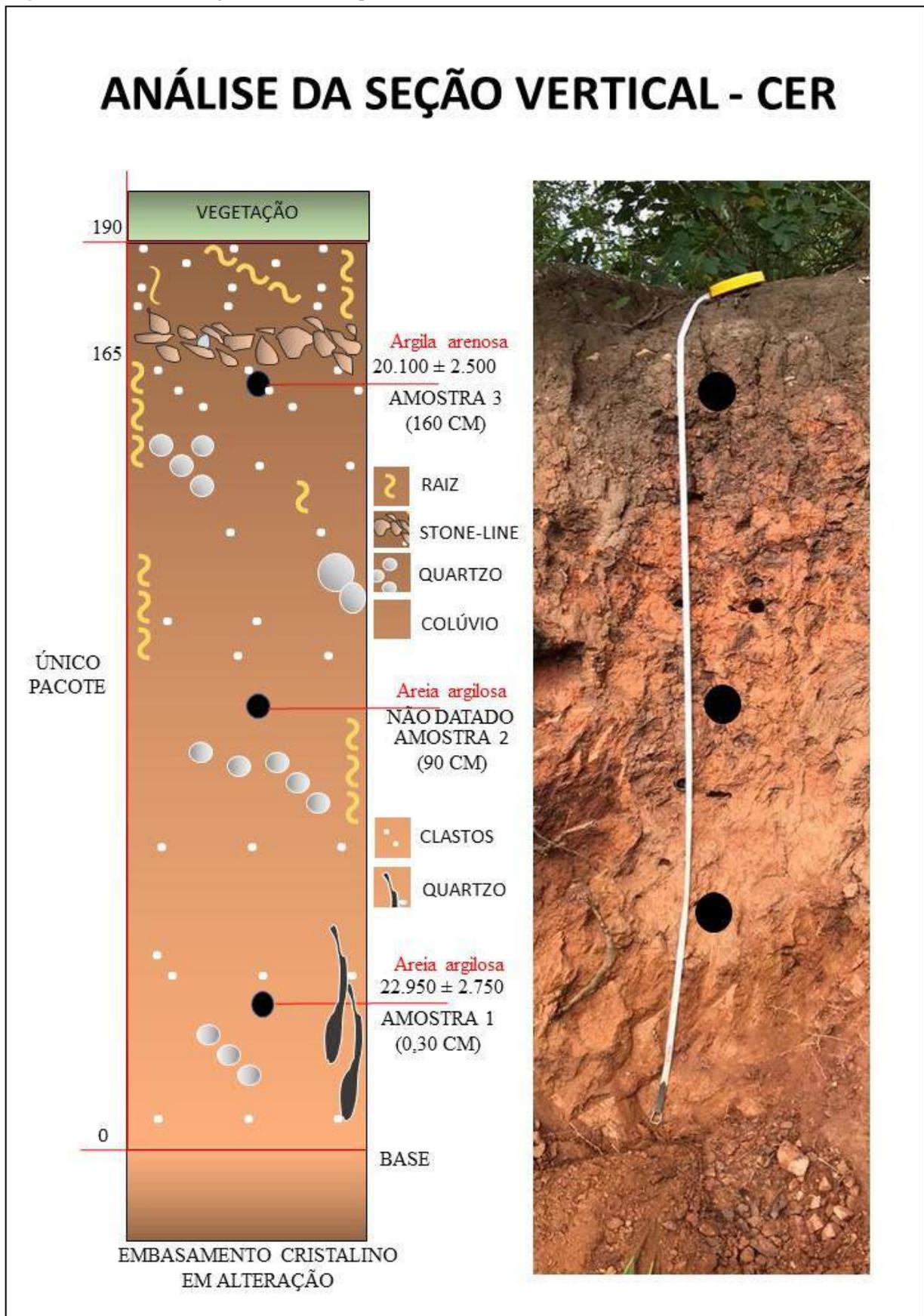


Figura 55 - Análise da seção vertical do depósito sedimentar.



Na medição de 1,65cm a 1,72cm do pacote (Figuras 54 e 55), encontrou-se uma *stone-line*, que está representa uma antiga superfície de erosão laminar, com possível retrabalhamento de material inconsolidados em áreas circunvizinhas.

A interpretação apresentada aqui foi realizada *in loco* (Figura 54). A estratigrafia encontrada no pacote será comprovada pelos histogramas das classes granulométricas, plotadas adiante e na micromorfologia. Sugere-se que o material tenha sido transportado por escorregamento translacional (Figuras 55 e 56) com posterior compactação ocasionada pela pedogênese subúmida. Para à análise, foram coletados materiais a 30cm acima da base, outra coleta a 90cm e por último a 1,60cm.

Figura 56 - Análise da rampa coluvial associada às estruturas existentes na área.



5.3 ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA DOS DEPÓSITOS DE ENCOSTA

5.3.1 Granulometria e morfoscopia

Com a finalidade de caracterizar as unidades deposicionais, foram executadas as análises sedimentológicas das amostras para a definição de textura, grau de arredondamento e esfericidade e dos parâmetros estatísticos. Os valores de curtose, seleção e assimetria foram calculados de acordo com Folk & Ward (1957).

Os resultados obtidos demonstraram que as classes modais, para a matriz dos sedimentos, apontaram tanto o processo operante quanto a maturidade dos sedimentos, com predomínio de classes modais entre argila arenosa e areia argilosa, que para os depósitos exibem o retrabalhamento do material nas vertentes (Figura 57 a 60). Conforme o diagrama Folk & Ward (1957), no ponto 01 as frações granulométricas, que predominam da base ao topo, variam de areia argilosa à argila arenosa (Figura 57). Já no ponto 02 as granulometrias variam de argila arenosa à areia argilosa (Figura 58).

Figura 57 - Digrama triangular segundo Folk & Ward para os sedimentos do ponto 01.

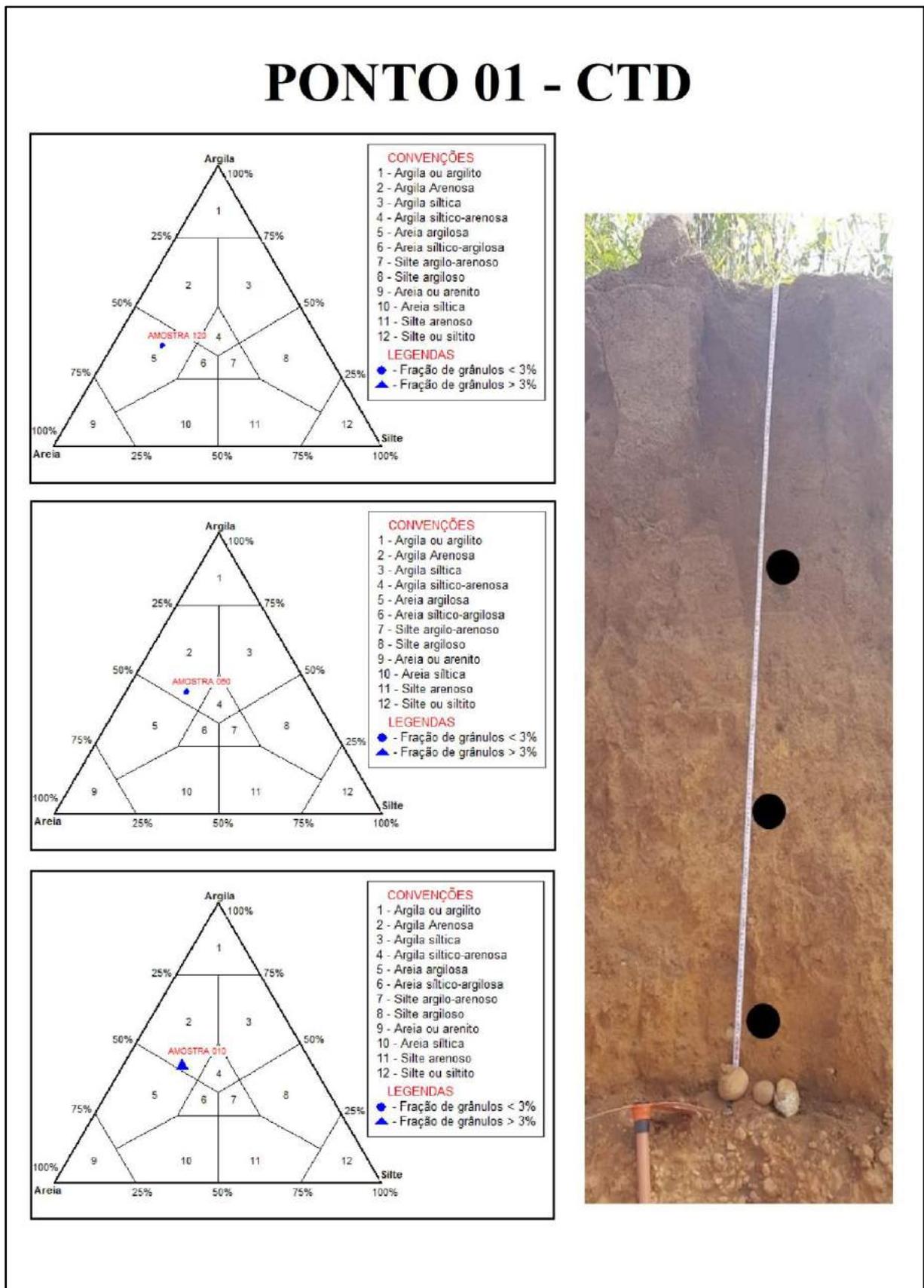
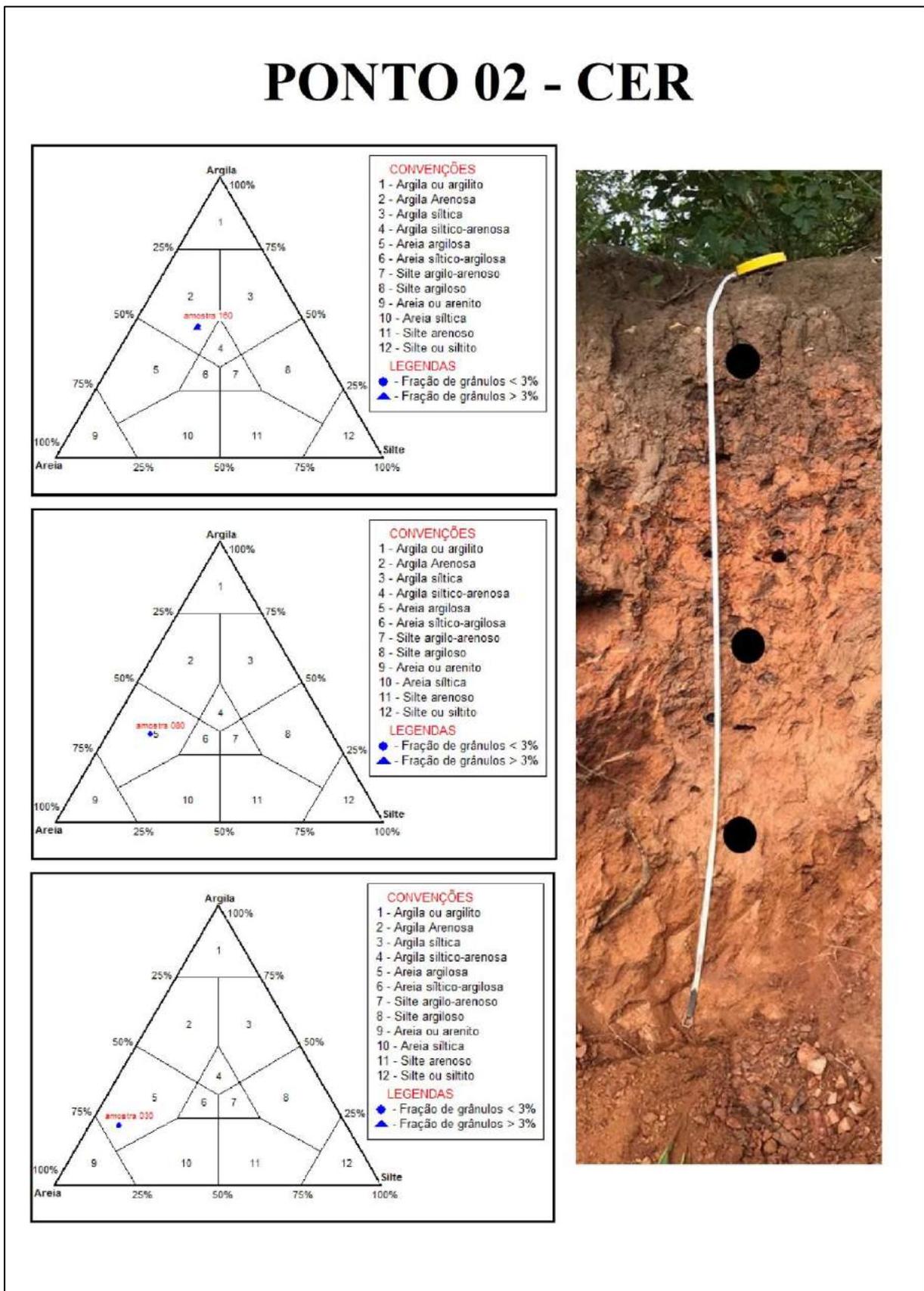


Figura 58 - Digrama triangular segundo Folk & Ward para os sedimentos do ponto 02.



A análise morfoscópica fornece indícios para determinar o grau de arredondamento, esfericidade e mineralogia dos grãos (Figuras 59 se 60). Esse tipo de análise corresponde às amostras tanto de modo qualitativo como quantitativo, contribuindo assim, para a caracterização e interpretação da natureza dos depósitos e os tipos de processos que atuaram no ambiente no qual foram transportados e depositados. Os resultados foram inseridos nas tabelas 04 e 05 para uma melhor visualização.

Com base na morfoscopia, todas as amostras (pontos 1 e 2 de coleta) demonstraram uma distribuição bastante heterogênea quanto à forma dos grãos. Em relação à esfericidade, as classes que predominaram foram: esférico, sub-discoidal e sub-prismoidal. O grau de arredondamento variou de angular a sub-arredondado e sub-angular a muito angular. Essas características predominantes apontam para um transporte dos sedimentos à uma curta distância, e proximidade à área fornecedora do solo para erosão.

Figura 59 - Morfoscopia dos sedimentos do ponto 01.

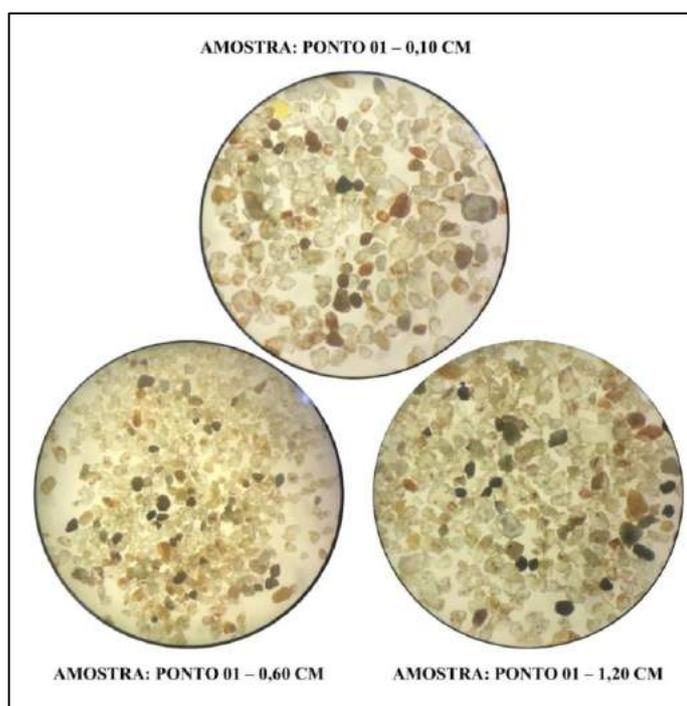
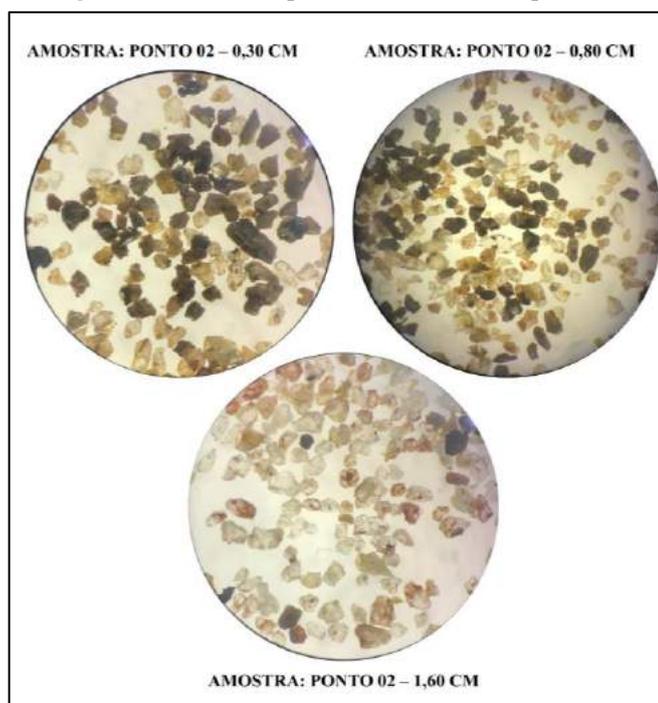


Figura 60 - Morfoscopia dos sedimentos do ponto 02.



	AMOSTRA	AMOSTRA	AMOSTRA
PROPRIEDADE	CTD-010	CTD-060	CTD-120
DISTRIBUIÇÃO POR TAMANHO	Heterogêneo	Heterogêneo	Heterogêneo
AGREGAÇÃO	Pouca Agregação	Pouca Agregação	Pouca Agregação
ESFERICIDADE	Prismoidal – 4% Sub-Prismoidal – 18% Esférico – 46% Sub- Discoidal – 26% Discoidal – 6%	Prismoidal – 3% Sub-Prismoidal – 24% Esférico – 41% Sub- Discoidal – 27% Discoidal – 5%	Prismoidal – 3% Sub-Prismoidal – 23% Esférico – 41% Sub-Discoidal – 30% Discoidal – 2%
ARREDONDAMENTO	Muito Angular – 8% Angular – 41% Sub-Angular – 16% Sub-Arredondado – 11% Arredondado – 19% Bem Arredondado – 5%	Muito Angular – 9% Angular – 28% Sub-Angular – 14% Sub-Arredondado – 23% Arredondado – 10% Bem Arredondado – 16%	Muito Angular – 7% Angular – 37% Sub-Angular – 20% Sub-Arredondado – 29% Arredondado – 7% Bem Arredondado – 0%

TEXTURA SUPERFICIAL	Brilhante – 49% Polido – 26% Fosca – 25%	Brilhante – 41% Polido – 35% Fosca – 24%	Brilhante – 59% Polido – 21% Fosca – 20%
OPACIDADE	Transparente – 59% Opaco – 20% Translúcido – 21%	Transparente – 40% Opaco – 20% Translúcido – 40%	Transparente – 50% Opaco – 40% Translúcido – 10%
MINERAIS DIVERSOS	Quartzo, Feldspato, Plagioclásio, Argila,, Epidoto.	Quartzo, Feldspato, Argila.	Quartzo, Argila, Mica.

Tabela 4 - Análise morfoscópica da fração 0,25 mm do ponto 01.

	AMOSTRA	AMOSTRA	AMOSTRA
PROPRIEDADE	CER-030	CER-080	CER-160
DISTRIBUIÇÃO POR TAMANHO	Heterogêneo	Heterogêneo	Heterogêneo
AGREGAÇÃO	Pouca Agregação	Pouca Agregação	Pouca Agregação
ESFERICIDADE	Prismoidal – 19% Sub-Prismoidal – 21% Esférico – 20% Sub-Discoidal – 30% Discoidal – 10%	Prismoidal – 12% Sub-Prismoidal – 8% Esférico – 58% Sub- Discoidal – 12% Discoidal – 10%	Prismoidal – 8% Sub-Prismoidal – 10% Esférico – 48% Sub- Discoidal – 20% Discoidal – 14%
ARREDONDAMENTO	Muito Angular – 33% Angular – 20% Sub-Angular – 30% Sub-Arredondado – 10% Arredondado – 5% Bem Arredondado – 2%	Muito Angular – 23% Angular – 15% Sub-Angular – 35% Sub-Arredondado – 16% Arredondado – 8% Bem Arredondado – 3%	Muito Angular – 9% Angular – 11% Sub-Angular – 42% Sub-Arredondado – 20% Arredondado – 8% Bem Arredondado – 10%
TEXTURA SUPERFICIAL	Brilhante – 30% Polido – 34% Fosca – 36%	Brilhante – 50% Polido – 24% Fosca – 26%	Brilhante – 45% Polido – 34% Fosca – 21%
OPACIDADE	Transparente – 49% Opaco – 38%	Transparente – 35% Opaco – 42%	Transparente – 39% Opaco – 36%

	Translúcido – 13%	Translúcido – 23%	Translúcido – 25%
MINERAIS	Quartzo, Argila, Mica,	Quartzo, Mica, Rutilo,	Quartzo, Epidoto,
DIVERSOS	Allanita.	Epidoto.	Argila.

Tabela 5 - Análise morfoscópica da fração 0,25 mm do ponto 02.

No que concerne à mineralogia, os principais minerais destacados nas amostras são o quartzo, feldspato, mica, plagioclásio, allanita, epidoto e rutilo. Esses minerais se apresentam em diferentes estágios de alteração, indicando que foram pouco retrabalhados devido ao seu curto transporte. De acordo com os parâmetros de Folk & Ward (1957), o resultado do grau de seleção dos sedimentos, para todas as amostras dos perfis, variou entre 3,228 a 3,402 classificando esses materiais como muito pobremente selecionados (Tabelas 6, 7, 8 e 9).

Camargo Filho e Bigarella (1998) comprovam que o coeficiente de seleção mostra uma alteração nas condições do fluido transportador, ou seja, a seleção resultaria do processo de sedimentação que procede sobre o material e dos depósitos com distribuição granulométrica heterogênea que tendem a ser pobremente selecionados. Assim, ambos pontos de coleta são decorrentes de fluxos gravitacionais (eventos de grande magnitude e de baixa ocorrência).

AMOSTRAS	SELEÇÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE
CER-010	3,402 - Muito pobremente selecionado	-0,7023 – Muito negativa	0,5851 - Muito platicúrtica
CER-060	3,228 - Muito pobremente selecionado	-0,7211 - Muito negativa	0,5769 - Muito platicúrtica
CER-120	3,268 - Muito pobremente selecionado	0,137 – Positiva	0,5462 - Muito platicúrtica

Tabela 6 - Parâmetros estatísticos das unidades deposicionais do ponto 01.

	Média	Classificação	Mediana
<i>amostra 010</i>	5,619	Areia Argilosa	7,446
<i>amostra 060</i>	5,796	Argila Arenosa	7,605
<i>amostra 120</i>	4,482	Argila Arenosa	3,997

Tabela 7 - Resultados estatísticos Folk Ward (1957) para o Ponto 01.

AMOSTRAS	SELEÇÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE
CTD-030	3,332 - Muito pobrememente selecionado	0,4423 – Muito positiva	0,5751 - Muito platicúrtica
CTD-080	3,352 - Muito pobrememente selecionado	0,2821 – positiva	0,5393 - Muito platicúrtica
CTD-160	3,274 - Muito pobrememente selecionado	-0,763 – Muito negativa	0,5761 - Muito platicúrtica

Tabela 8 - Parâmetros estatísticos das unidades deposicionais do ponto 02.

	Média	Classificação	Mediana
<i>amostra 030</i>	3,698	Argila Arenosa	2,403
<i>amostra 080</i>	4,106	Areia Argilosa	3,224
<i>amostra 160</i>	5,819	Areia Argilosa	7,78

Tabela 9 - Resultados estatísticos Folk Ward (1957) para o Ponto 02.

Em relação à assimetria, os valores podem ser definidos como positivos (unidirecional) correlacionados com as fácies areno-argilosa, ou negativos (bidirecional), referentes às fácies argiloarenosas e argilo-sílticas (Tabelas 6 a 9). Esses parâmetros permitem viabilizar a natureza do fluxo, responsável pelo transporte dos sedimentos, no qual ambos mostraram hidrodinâmica moderada (Figuras 65 a 66).

Desta forma, as amostras do ponto 01 apresentaram assimetria muito negativa e positiva (Figuras 61 e 63), enquanto as amostras do ponto 02 (Figuras 62 e 64), foram classificadas em muito positiva, positiva e muito negativa. Esses resultados demonstram que o ambiente reflete um duplo comportamento do fluxo transportador, que em um dado momento foram transportados sedimentos finos e em outra oportunidade, partículas grossas e muito grossas.

A curtose gráfica pode ser definida como um grau de achatamento da distribuição granulométrica em relação à curva representativa de uma distribuição normal caracterizando-se como leptocúrtica (a curva com um pico elevado), platicúrtica (a curva achatada) e mesocúrtica (a situação intermediária). No que se diz a respeito à curtose das amostras dos perfis (Figuras 63 e 64), todas foram classificadas em muito platicúrticas.

Após a análise granulométrica das amostras coletadas, na área de estudo, estas foram plotadas no diagrama Pejrup (1988). Esse parâmetro analisa as condições hidrodinâmicas,

atuantes, durante o processo de deposição dos sedimentos. O resultado em todas as amostras apresenta uma hidrodinâmica moderada (Figuras 65 e 66).

O diagrama de Pejrup (1988) foi escolhido dentro da abordagem morfoestratigráfica pois tem por objetivo principal demonstrar a hidrodinâmica exercida no material até a sua deposição final. Desta forma, observando o Diagrama de Pejrup para o ponto 01 de coleta (Figura 65) é possível observar que as amostras CTD 120 e CTD 060, foram expostas a hidrodinâmicas moderadas, com fração de grânulos $< 3\%$ (apresentando-se como sedimentos mais finos no perfil). No entanto, a amostra CTD 010 foi exposta também a uma hidrodinâmica moderada, mas com fração de grânulos $> 3\%$ (presença de sedimentos mais grossos).

Já para o ponto 02 de coleta (Figura 66) é possível observar que as amostras CER 030 e CTD 080, foram expostas a uma hidrodinâmica moderada, com fração de grânulos $< 3\%$. Entretanto, a amostra CTD 160 foi exposta também a uma hidrodinâmica moderada, mas com fração de grânulos $> 3\%$ (presença de sedimentos mais grossos).

Dessa forma, estes dados corroboram para a hipótese de que os sedimentos colmatados foram submetidos a um transporte de alta energia em alguns momentos, comuns em eventos de alta intensidade e baixa recorrência. E que estas informações estão alicerçadas com os resultados obtidos através da análise da curtose em relação à direção do fluxo e análise da seção vertical.

Figura 61 - Distribuição granulométrica do Ponto 01.

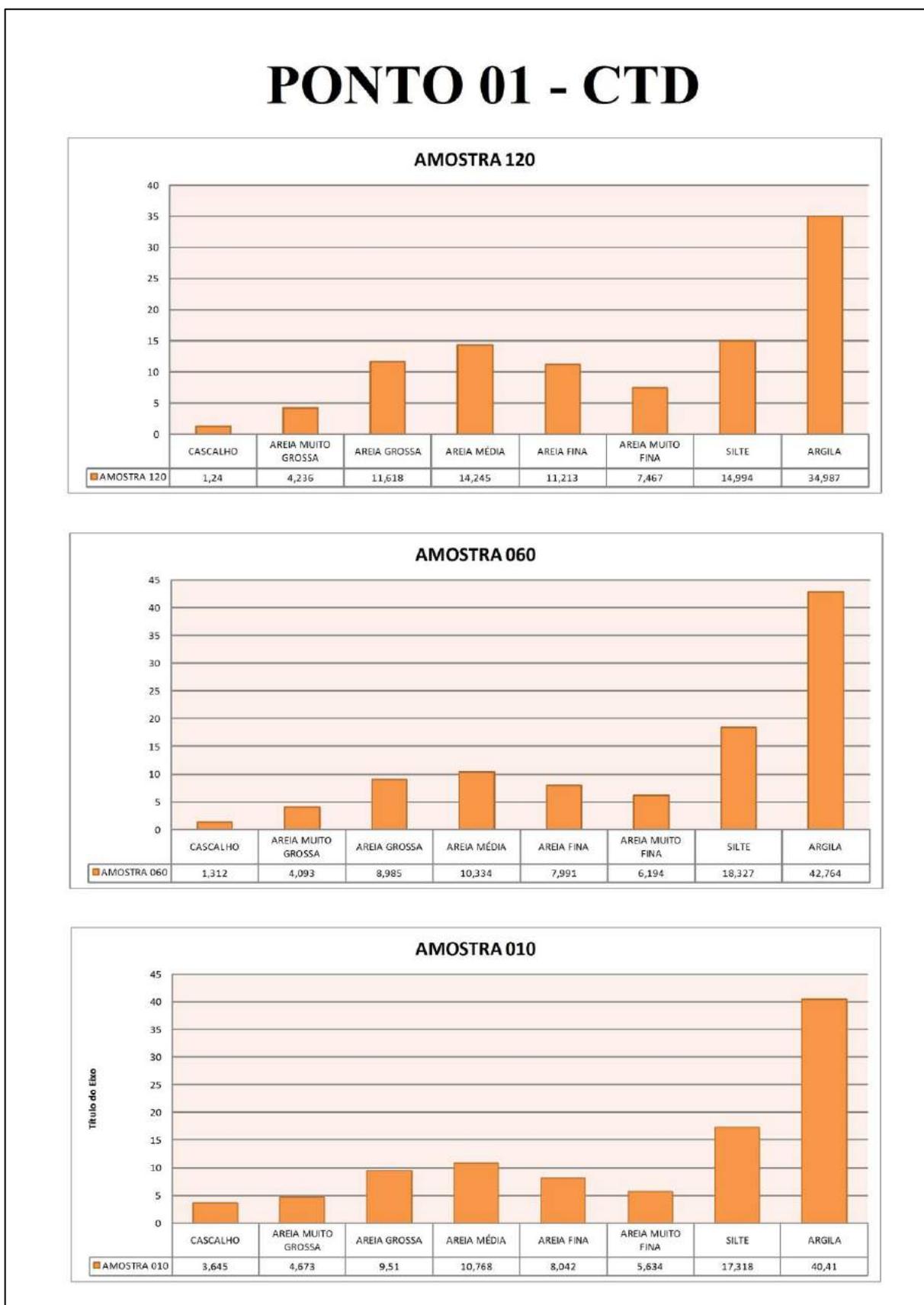


Figura 62 - Distribuição granulométrica do Ponto 02.

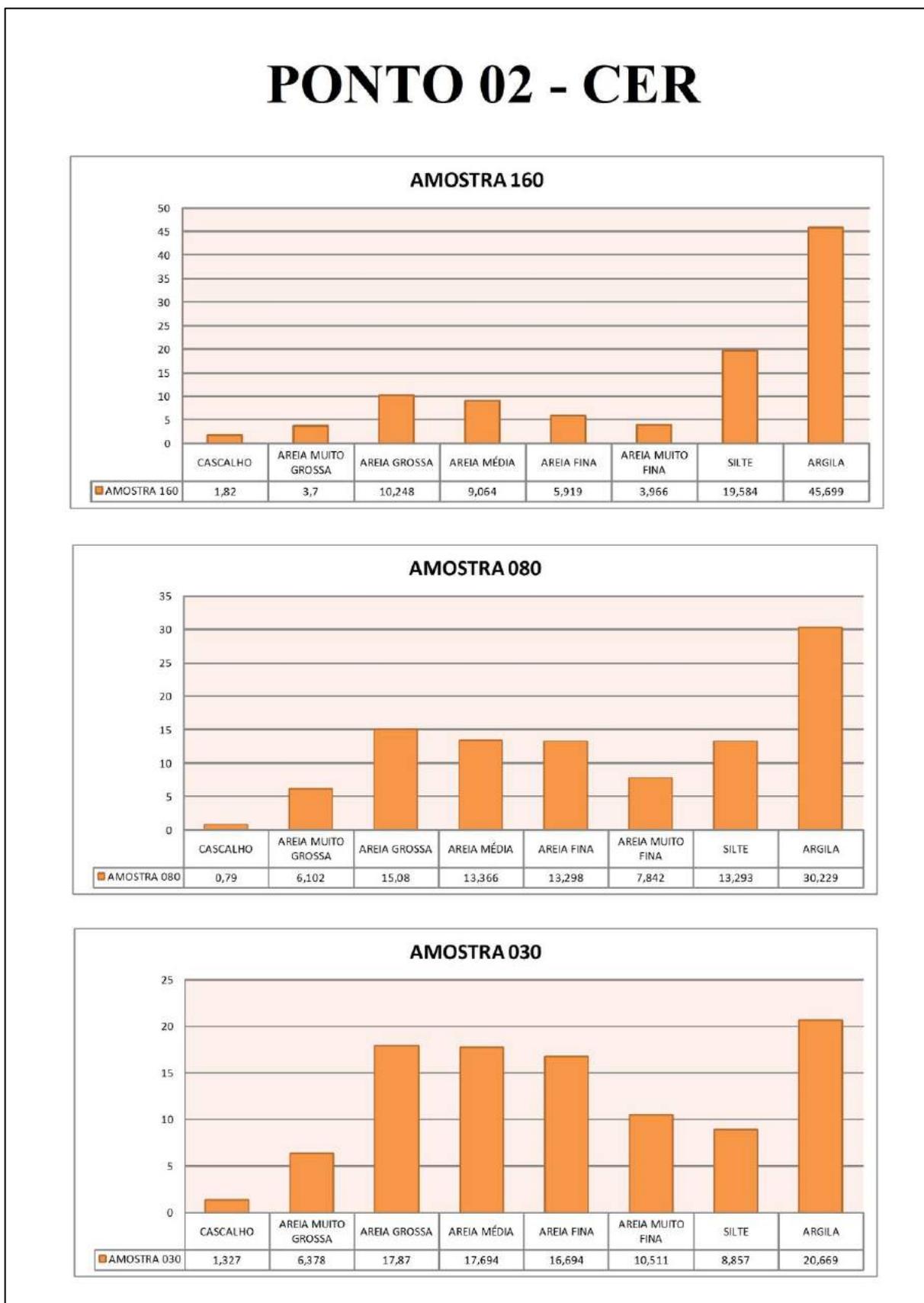


Figura 63 - Curva cumulativa do ponto 01.

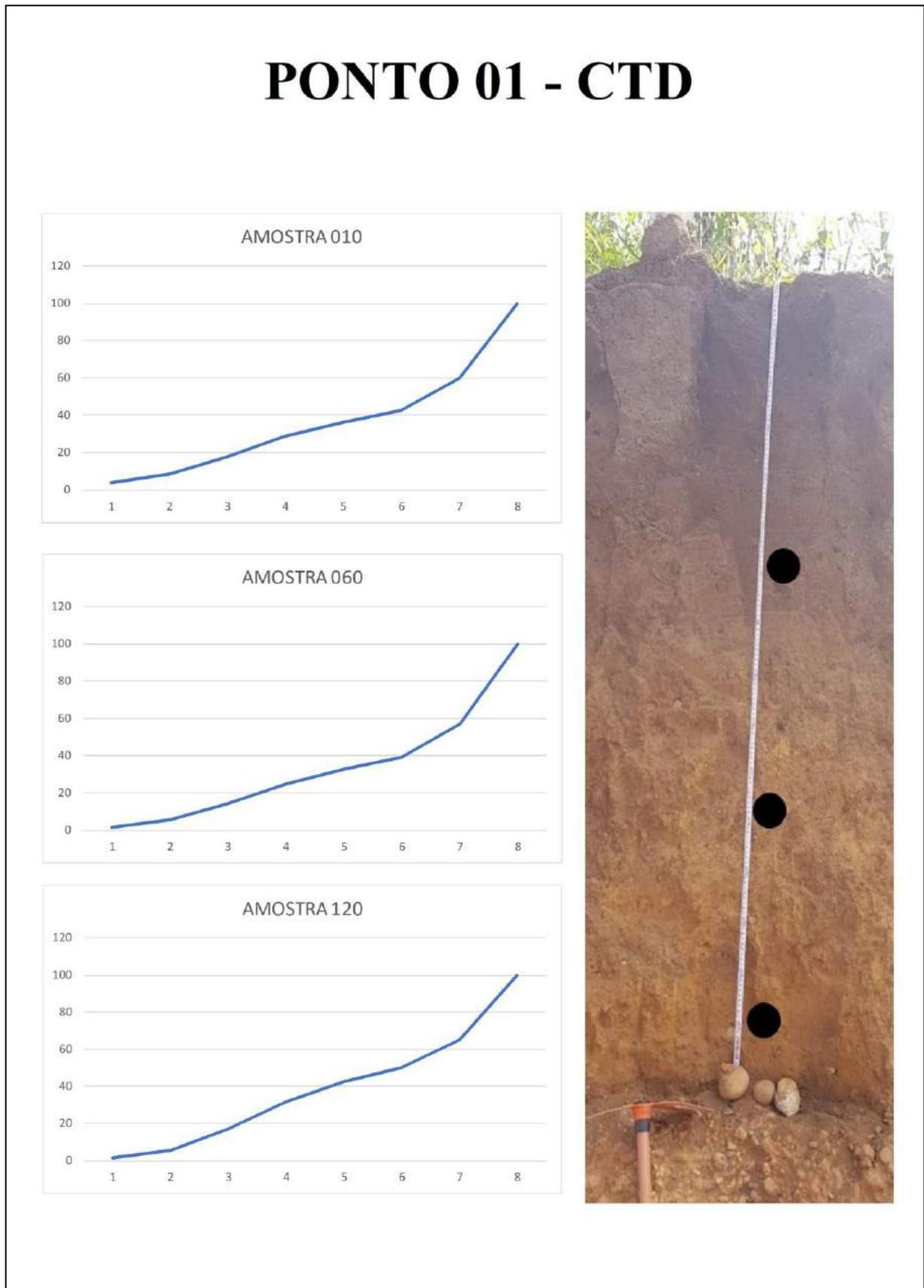


Figura 64 - Curva cumulativa do ponto 02.

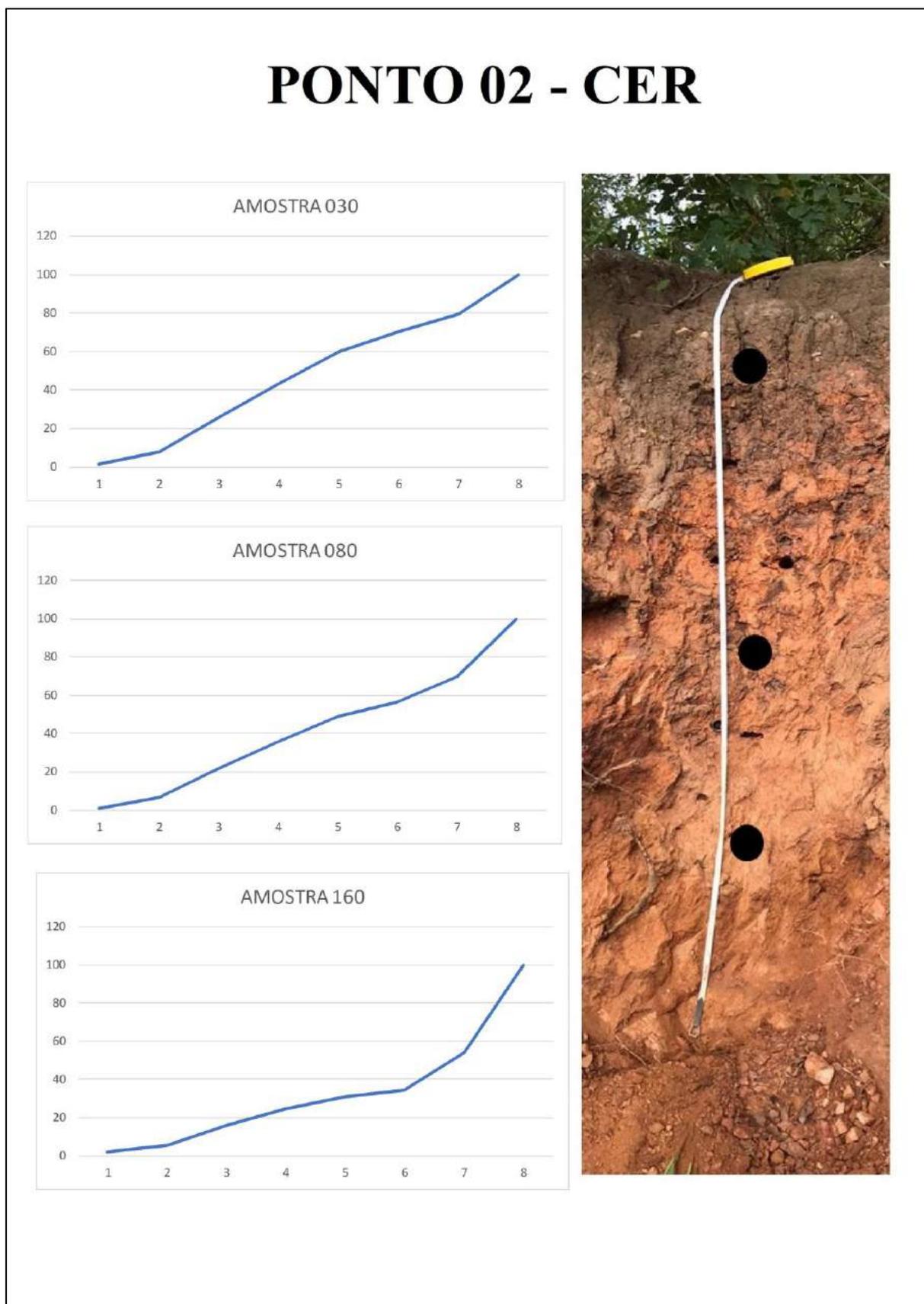


Figura 65 - Diagramas de Pejrup do ponto 01.

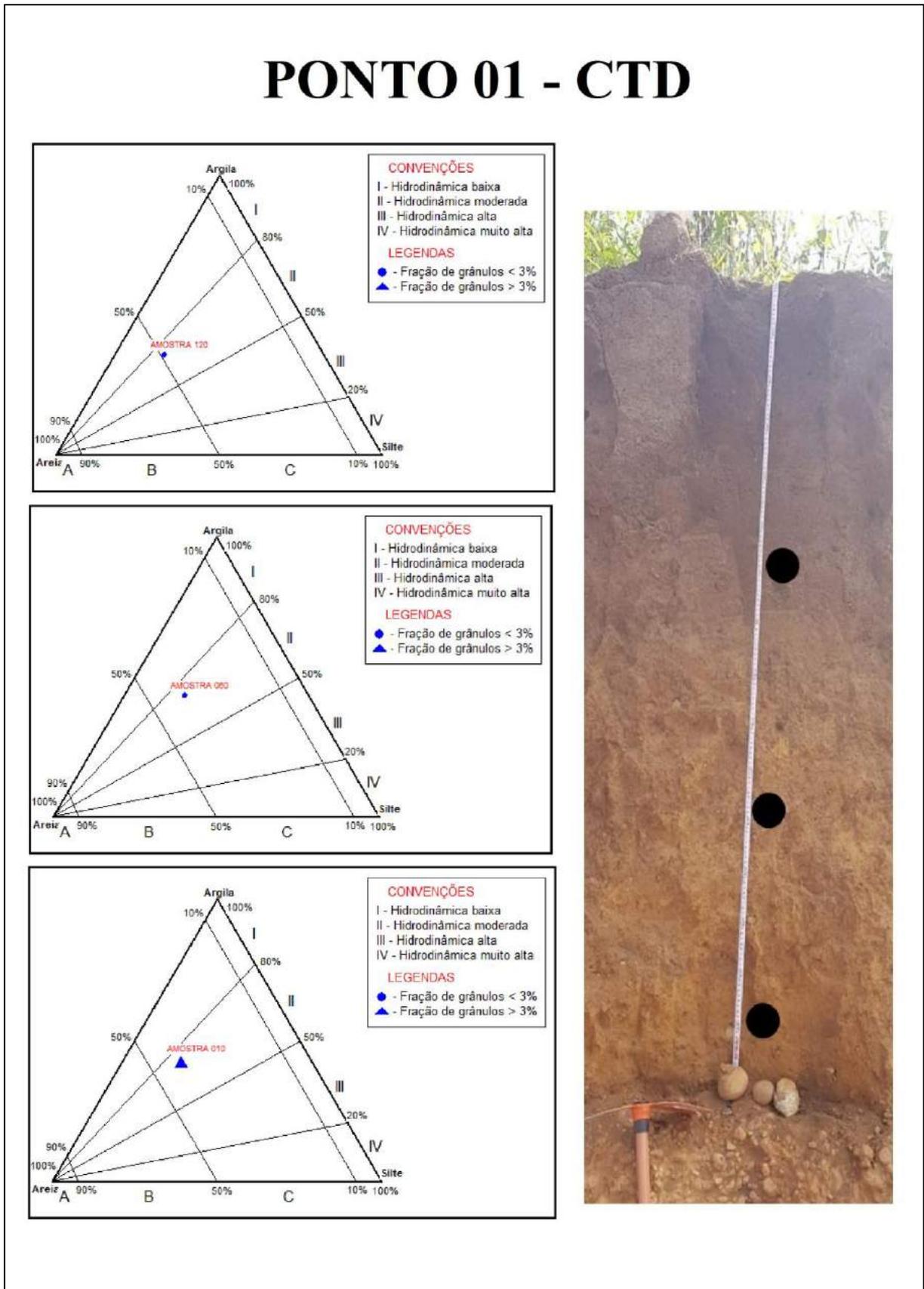
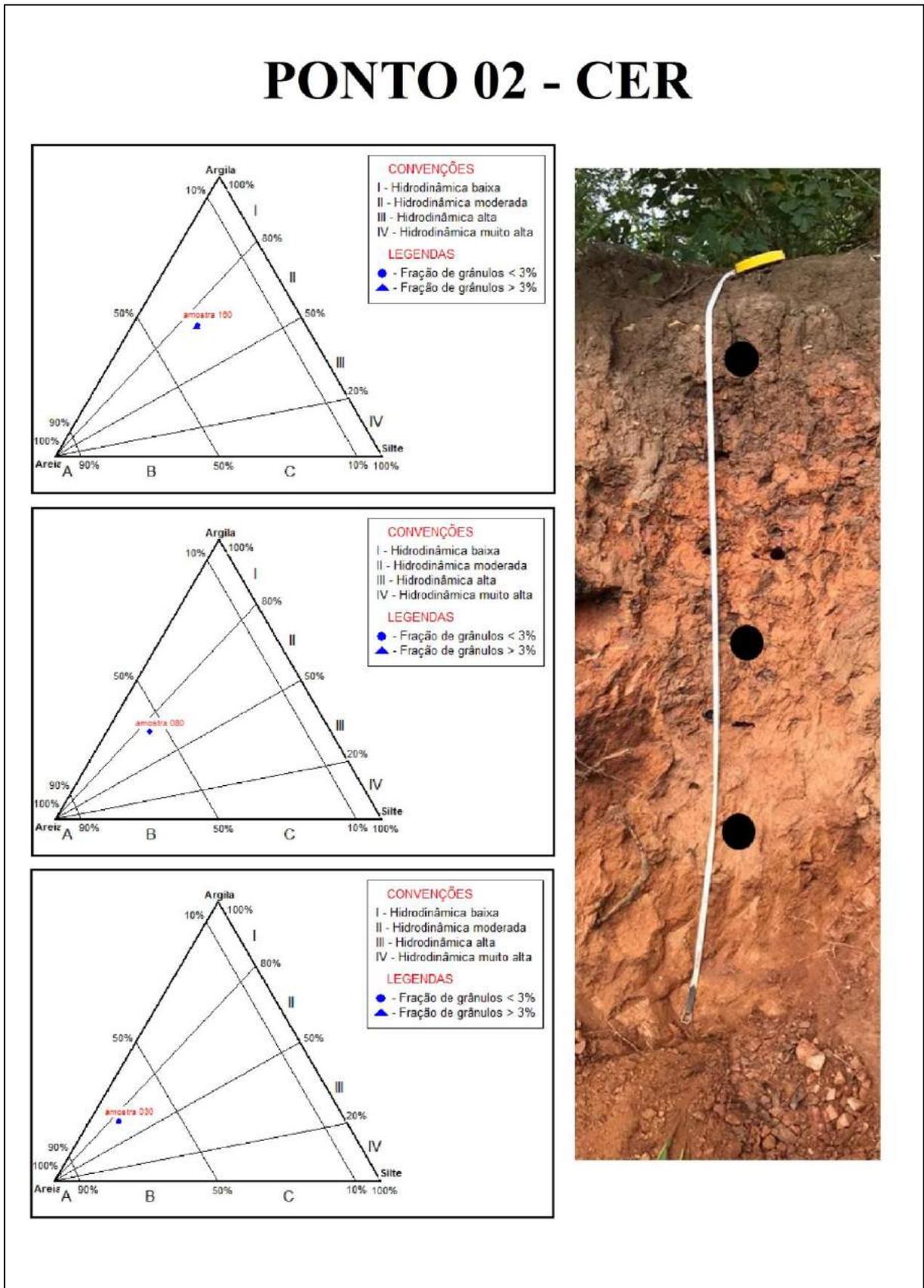


Figura 66 - Diagramas de Pejrup do ponto 02.



5.3.2 Micromorfologia de solos nas áreas de coleta

Entende-se por materiais finos (plasmas), as frações argilosas finas (de natureza caulinitica), os óxidos de ferro e as matérias orgânicas. Os materiais grosseiros (esqueletos) são constituídos por grãos de minerais primários com diferentes graus de alteração. As feições pedológicas são essencialmente formadas por nódulos, hipocutans e argila iluviada. Já os saprolíticos e os grãos minerais primários alterados são apresentados como sendo feições alteromórficas e pseudomórficas.

- **DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA/ MICROMORFOLÓGICA - PONTO CTD (PONTO 01)**

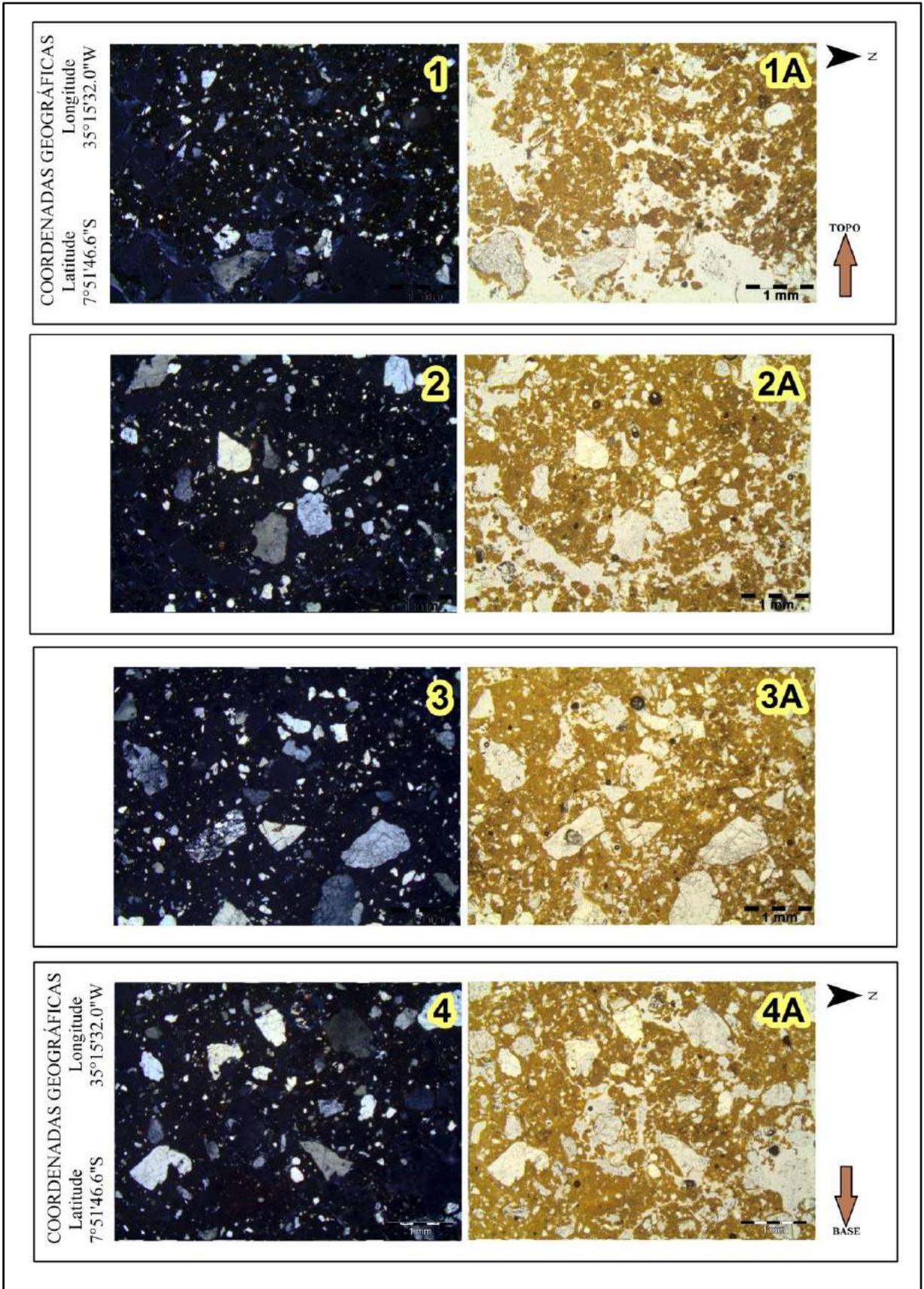
COLETA – 0,10CM – Figura 67

Esta amostra (Figura 67) é constituída pelos minerais de quartzo, feldspato plagioclásio, argila e epidoto. Os cristais de quartzo ocorrem anédricos, bastante angulosos, submilimétricos a milimétricos, bastante fraturados. Apresentam-se com extinção ondulante e alguns cristais recristalizados (policristalino). Já os cristais do feldspato ocorrem anédricos, submilimétricos, levemente arredondados e fraturados. Apresentam certa geminação. Os argilominerais ocorrem como matriz da rocha, de coloração marrom-alaranjada e pleocróica. Raros cristais de epidoto foram observados, apresentam-se submilimétricos, anédricos e arredondados. A polarizadores descruzados tem pleocroísmo de verde a amarelo.

Nesta lâmina, a fração grossa é composta de quartzo bem selecionado, anguloso a subanguloso (tamanho que varia entre 1mm a 2mm) e por alguns fraturados. Apresenta material fino - bruno amarelado pálido - caulínítico, fortemente pedogeneizado com fábrica maciça associada à microagregados de origem biológica. Esses microagregados preenchem poros biológicos (canais e câmaras) formando porosidade de empilhamento.

No interior dessa matriz fina os sedimentos são individualizados por alguns pequenos nódulos ferruginosos opacos e pequenas manchas da mesma cor. Em todas as outras lâminas essa fábrica é predominante. O que varia é que em algumas partes da lâmina (2 e 2A) há um aumento expressivo da atividade biológica e formação de microagregados dando origem ao material muito poroso (tamanho que varia entre 1,5mm a 3mm). Na seção 3 e 3A, existe um grão de feldspato, além dos grãos de quartzo dominante.

Figura 67 - Lâmina de coleta da medição 0,10cm - PONTO 01.



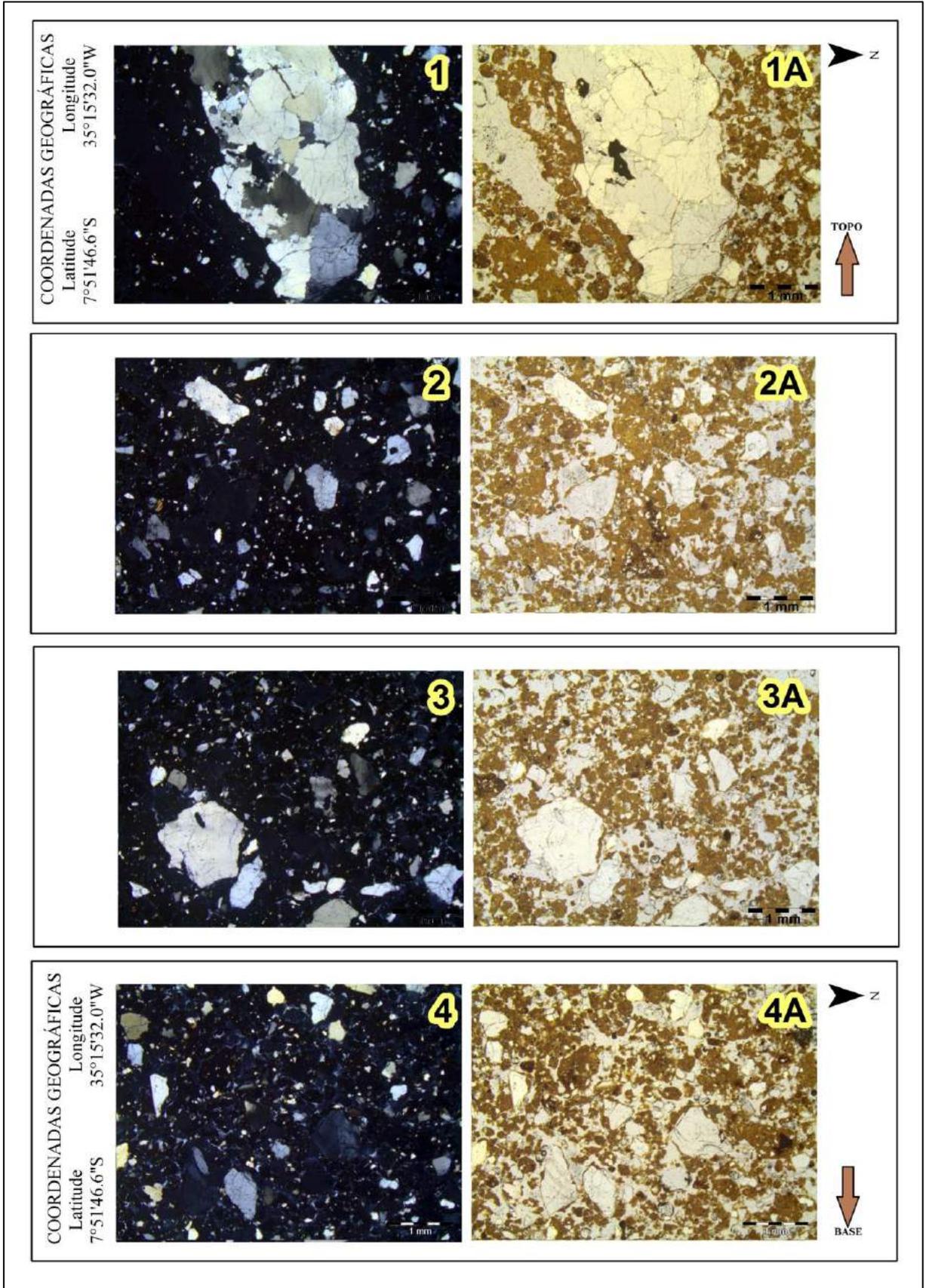
COLETA – 0,60CM – Figura 68

Esta amostra (Figura 68) é constituída pelos minerais de quartzo, argila e clorita. Os cristais de quartzo ocorrem anédricos, angulosos, com grãos submilimétricos a milimétricos, chegando a até 5 mm e bastante fraturados. Apresenta extinção ondulante frequente e grãos recristalizados (policristalino). Alguns cristais apresentam inclusão de opacos e preenchimento por argila em suas fraturas. Percebe-se que na lâmina como um todo ocorrem dois tipos de argilominerais, um mais frequente na matriz da rocha, de coloração marrom-alaranjada e outra avermelhada em menor quantidade (óxidos). Na lâmina é possível identificar raros cristais submilimétricos de clorita, de pleocroísmo variando de verde a incolor e clivagem bem marcada.

Na lâmina (seção 1 e 1A), o material fino é similar ao que foi descrito na lâmina anterior. Nessas lâminas em especial, a atividade biológica é intensa formando uma rede de canais e câmaras preenchidas parcialmente por microagregados de origem biológica, formando porosidades de empilhamento. A cor possui o mesmo padrão das demais. Os microagregados se destacam das pequenas zonas compostas por material fino e maciço indicando que a atividade biológica altera a estrutura da fábrica inicial. As lâminas em questão têm a presença de um quartzo grande cheios de fraturas e totalmente recristalizado.

Já na seção 2 e 2A dessa lâmina, essas feições se repetem, embora os grãos de quartzo bem selecionados estão presentes, em vez de um único grão primário. Enquanto que na parte 3 e 3A predominam as microestruturas biológicas, do mesmo material fino bruno amarelado. A matriz é microagregada formando uma rede densa de poros biológicos. Algumas pequenas individualizações (manchas) no plasma são mais vermelhas- ferruginosas de um material muito poroso. Nessa lâmina existe uma dominância de quartzos angulosos, muito pequenos e alinhados, visíveis em luz polarizada (canto superior esquerdo da lâmina). Por fim, a seção da lâmina classificada em 4 e 4A são similares as anteriormente descritas, sem diferenciação de materiais fino e grosseiros.

Figura 68 - Lâmina de coleta da medição 0,60cm - PONTO 01.



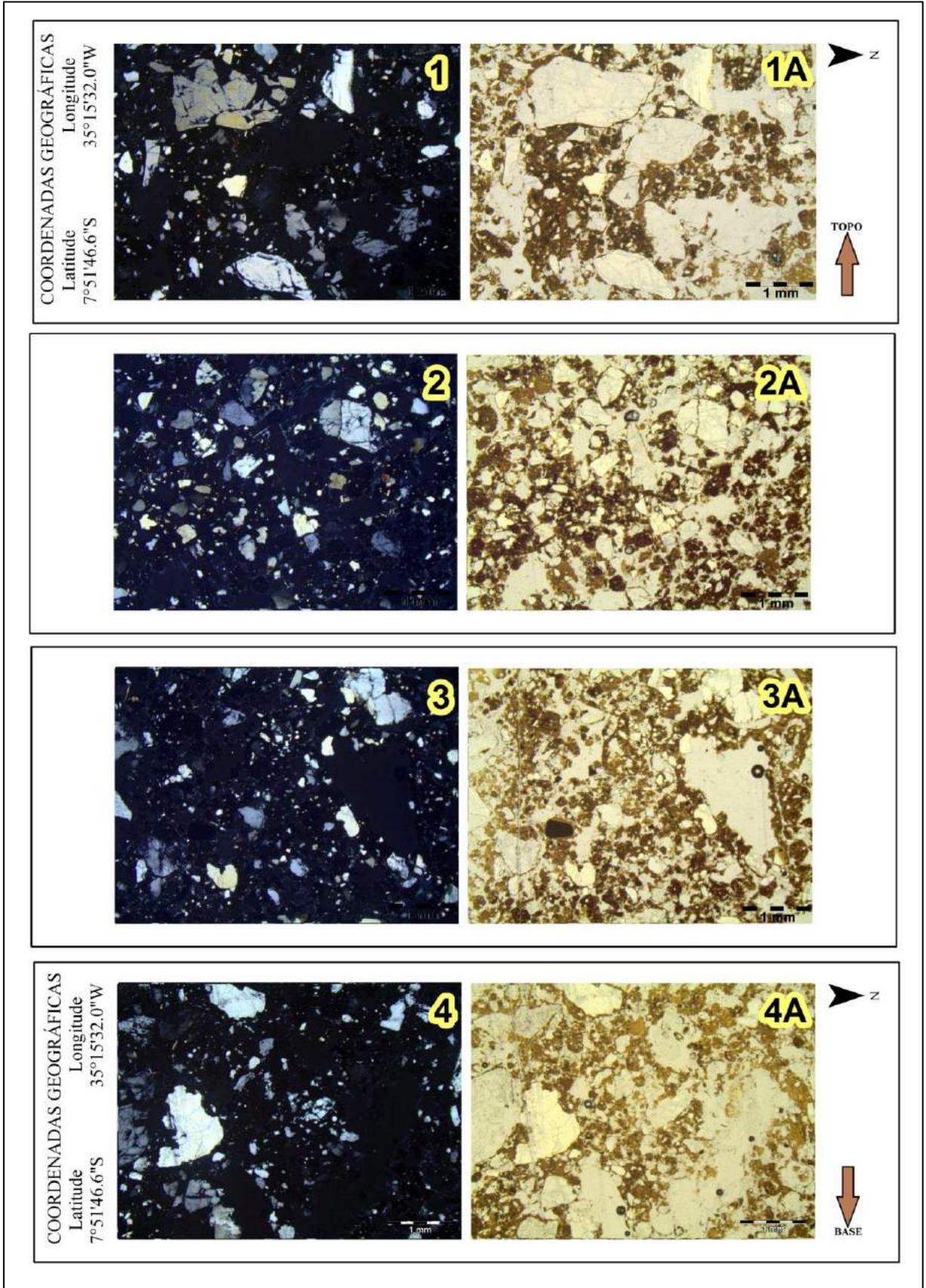
COLETA - 120CM – Figura 69

Já esta amostra (Figura 69) é constituída pelos minerais de quartzo, argila e mica. Os cristais de quartzo ocorrem anédricos, angulosos, submilimétricos a milimétricos e bastante fraturados. Extinção ondulante é comum. Os cristais de opacos ocorrem dispersos no material, submilimétricos e arredondados, chegando até a 0,5 mm. Alguns cristais apresentam-se avermelhados, apresentando características de um rutilo. Já a argila ocorre como matriz, de coloração vermelha-escuro e alaranjado. Acontece frequentemente nas fraturas dos grãos. Já a mica, é vista como pequenos grãos placosos submilimétricos dispersos no pacote sedimentar. Sendo totalmente incolores e com forte birrefringência.

Nesta lâmina, os grãos primários se encontram bem selecionados (com presença de feldspatos e quartzos) com centro e bordas mostrando feições de dissolução preenchidas por material fino bruno. O material fino é caulínítico e microagregado. Sendo que o microagregado biológico preenche uma densa rede de poros, também biológicos, formando porosidade de empilhamento.

Na seção 2 e 2ª são similares em toda a lâmina, além da presença de feldspatos e quartzos. As seções 3-3A e 4-4A, apresentam as mesmas características em relação as outras. No entanto, essa sequência de lâminas possui uma pedogênese bem desenvolvida. A pedoplasmação e atividade biológica é intensa e define esse material como um todo.

Figura 69 - Lâmina de coleta da medição 120cm - PONTO 01.



- **DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA/ MICROMORFOLÓGICA - PONTO CER (PONTO 02)**

COLETA – 0,30CM – Figura 70

Esta amostra (Figura 70) é constituída basicamente por quartzo, argila, mica, allanita. A extinção do quartzo ocorre de paralela a ondulante (raramente). Ocorre como grãos anédricos, bastante fraturados, principalmente na forma de microfraturas nas bordas dos grãos. Na granulação areia (majoritariamente entre 0,5 mm a 1mm), são grãos muito angulosos e com esfericidade predominantemente baixa.

Já a argila presente em toda a lâmina ocorre como a matriz do solo, pleocróica com cor variando de marrom-avermelhado a alaranjado. A mica ocorre como grãos submilimétricos, juntos à matriz do solo. É pleocróica, de marrom a amarelado, e possui extinção picotada/mosqueada. Percebe-se também prováveis grãos de allanita que ocorrem junto à matriz, na cor laranja a amarelada, com hábito granular anédrico

Na lâmina (seção 1e 1A) é possível observar um material grosseiro (esqueleto) que é composto por grãos de quartzo angulosos (tamanhos que varia entre 1mm a 5mm) e alguns bastantes fraturados. Alguns apresentam bordas com marcas de dissolução (quartzo dentado) preenchidos com material idêntico à matriz fina. O material fino é argiloso, de cor bruno amarelado. A matriz é composta por argila muito fina (caulinita) maciça na qual estão disseminadas partículas micáceas de forma acicular ou fibrosa, reconhecidas, devido às orientações preferenciais (orientação estriada visível em luz polarizada). Essas lâminas têm raros grãos de biotita alterada com porosidade biológica (nos canais e câmaras).

Na seção 2 e 2A da lâmina referente a amostra CER 030 do ponto 02, o perfil de coleta possui um material grosseiro (esqueleto) que é composto por grãos de quartzo angulosos de tamanhos muito variados, com grãos medindo 0,5mm de diâmetro a 2mm, alguns bastante fraturados. O faturamento isola pequenos fragmentos de quartzo e de silte. Outros apresentam bordas com marcas de dissolução. O material fino é argiloso, de cor bruno amarelado. A matriz é composta por argila muito fina (caulinita) maciça na qual estão disseminadas partículas micáceas de forma acicular ou fibrosa reconhecidas devido às orientações preferenciais (orientação estriada visível em luz polarizada).

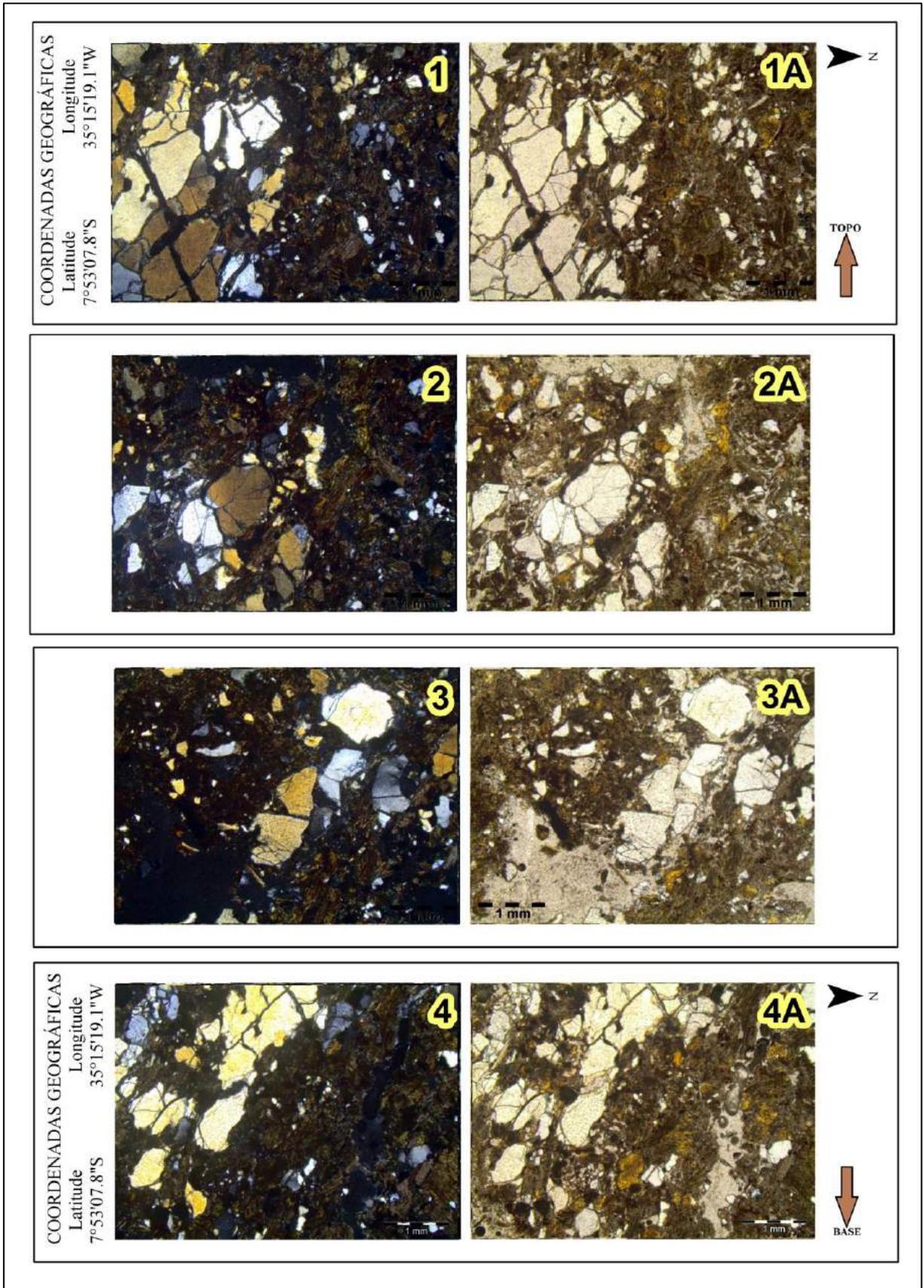
Em relação às seções anteriores, elas aumentam os poros biológicos que são abundantes e interconectantes e apresentam diâmetro de aproximadamente 0,25mm a 1mm. Dentro dos poros são reconhecidos pequenos grânulos de cor cinza muito escura (pelotas fecais).

Microestruturas granulares de origem biológica de cor idêntica ao material da matriz fina, também são encontrados localmente.

Na seção 3 e 3^a desta mesma lâmina, o material grosso é idêntico ao descrito anteriormente, embora haja maior seleção dos grãos. Os vazios formados pelo fragmento do quartzo estão preenchidos pelo material fino da matriz. A matriz fina é similar a anterior e também é bruno amarelada e maciça, composta por material fino associado a ripas 0,50mm de mica orientada. Diminuem claramente os poros biológicos embora, quando eles existem, estão parcialmente preenchidos por microagregados biológicos. Algumas pequenas zonas possuem individualização plásmica de cor amarela avermelhada, viva, com presença de argilas orientadas. Na seção 4 e 4A, o material grosso e fino são similares aos anteriores, tem-se a diminuição de poro biológico e a ausência de microagregados biológicos. Algumas zonas são compostas por argila mais amarela e pálida que apresenta, em seu interior, volumes similares à matriz fina bruno amarelada. Vê-se também, a presença de um grão de biotita alterado com preenchimento ferruginoso (pseudomorfose).

Nesta lâmina como um todo, os grãos de quartzo têm distribuição aleatória e a sua composição é formada por caulinita, micáceos e biotita que parecem indicar evolução in situ. No entanto, o arranjo sedimentar se justifica pelo pequeno e rápido processo de transporte do pacote estratigráfico. Muitas características desses sedimentos foram preservadas em relação ao antigo elúvio.

Figura 70 - Lâmina de coleta da medição 0,30cm - PONTO 02.



COLETA - 0,80CM – Figura 71

Esta amostra (Figura 71) é constituída basicamente por quartzo, mica, rutilo, epidoto e mineral opaco. A extinção do quartzo ocorre de paralela a ondulante. Os grãos ocorrem anédricos e bastante fraturados. A granulação é da fração areia, com grãos entre 2 mm e 0,5 mm, grãos maiores encontram-se alongados/estirados. São grãos angulosos e com esfericidade baixa.

Já os minerais de Mica ocorrem de maneira pleocróica, de marrom a marrom-esverdeado, e orienta-se juntamente com os grãos de quartzo. A biotita (provavelmente) ocorre com hábito lamelar, extinção picotada/mosqueada, em grãos ≤ 1 mm. Alternando com o quartzo, formam aproximadamente um bandejamento composicional. O mineral de Rutilo encontrado ocorre na cor vermelho amarronzado, anédrico, submilimétricos (com único grão de 1 mm) e com hábito granular, normalmente associado às bordas dos grãos de biotita.

O epidoto corre na cor verde amarelada, como grãos anédricos e submilimétricos, associados aos níveis com ocorrência de biotita. No microscópio percebe-se a presença de minerais opacos que ocorrem como grãos anédricos, submilimétricos, que estão inclusos nos grãos de biotita ou em suas bordas.

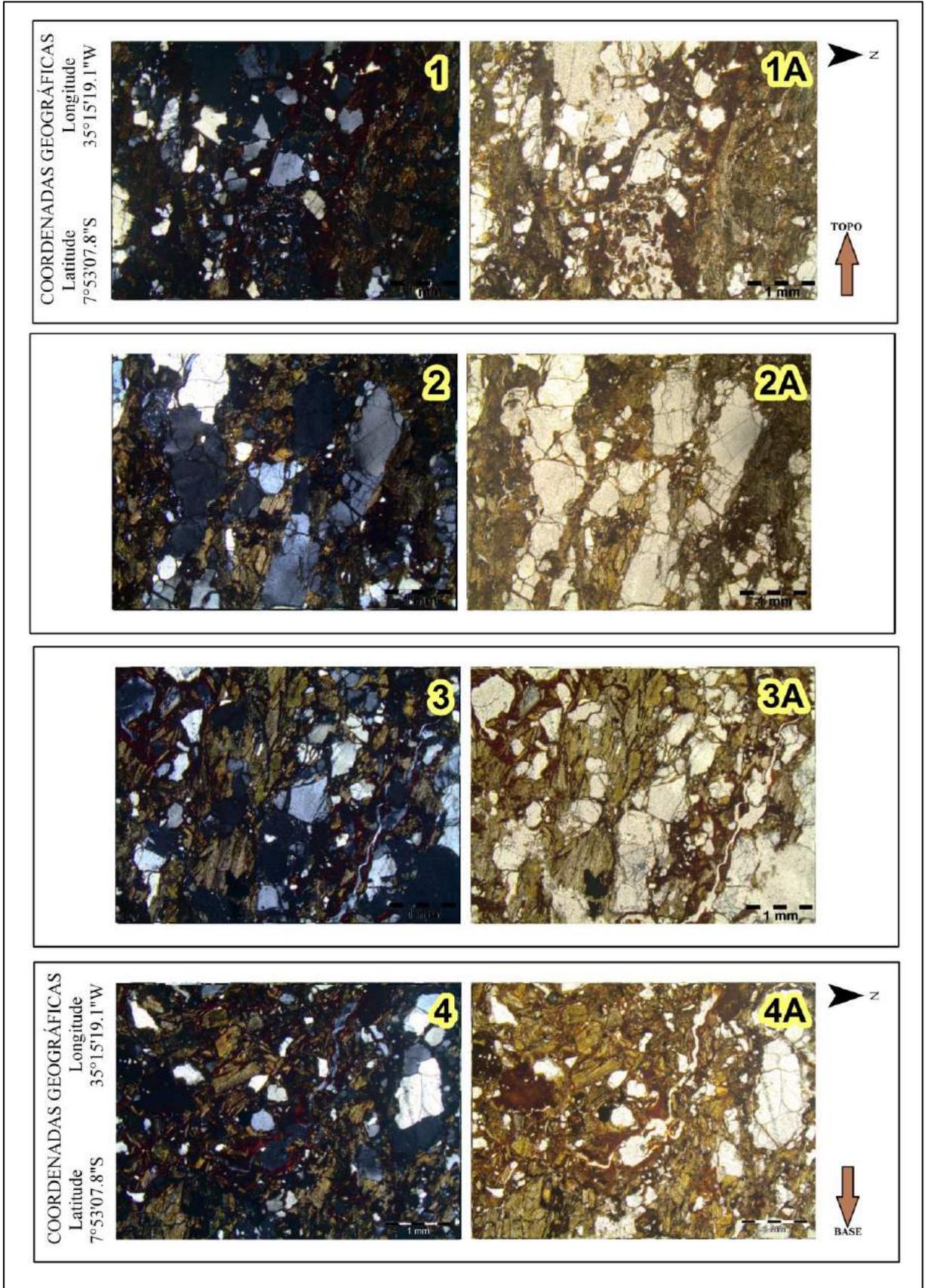
Na lâmina (seção 1 e 1A), a estrutura saprolítica é composta pela associação de minerais primários preservados, alterados e de uma matriz secundária. Os minerais primários (feldspato, biotita e quartzo) formam estruturas verticais maciças e possuem em suas bordas bandas com concentração de material ferruginoso fino e vermelho. Existem grãos de quartzo que são envolvidos por material fino argiloso bruno amarelado, pequenas ripas de minerais micáceos orientados e estruturas granulares com pequenos grãos primários que preenchem, parcialmente, os poros biológicos.

Já na seção 2 e 2A existe uma estrutura saprolítica maciça composta principalmente por minerais primários da rocha que possivelmente se preservaram com o transporte de fluxo. As pseudomorfoses dos grãos primários são caracterizadas pela presença de feições de dissolução preenchidas com argila fina bruno-amarelada.

A seção 3 e 3A possuem uma estrutura saprolítica maciça composta principalmente por minerais primários que estão bastante fraturados e alguns, recristalizados. Nas lâminas se vê o aumento das zonas compostas por grãos alterados, preenchidos com material fino ferruginoso (biotita). As zonas encontradas apresentam pequenos grãos de quartzo que estão envolvidos por material fino ferruginoso vermelho opaco. Já a sua porosidade biológica é muito fina e possui uma matriz que apresenta maior grau de alteração (domínio de material mais fino).

Já na seção 4 e 4A têm-se estrutura saprolítica maciça composta principalmente por minerais primários da rocha, apresentando grau de alteração mais avançado que as lâminas anteriores. Também estão presentes uma dominância de minerais micáceos amarelo-esverdeado alterados com preenchimentos ferruginosos. Possuem um mineral alterado completamente que é substituído por óxido de ferro vermelho - goethita e de Cutans argilo- ferruginoso ao redor do poro biológico - indicando transporte mecânico e deposição de argila fina. Todo esse conjunto de lâmina é saprolítico (fabrica porfírica). Diferem-se por apresentar assembleias minerais primárias mais e/ou menos preservadas sendo que, nesse caso, individualizam-se plasma fino ferruginoso.

Figura 71 - Lâmina de coleta da medição 0,80cm - PONTO 02.



COLETA - 160CM – Figura 72

A amostra (Figura 72) é constituída basicamente por quartzo, epidoto, argila, mineral opaco. O quartzo têm-se sua extinção de forma paralela a ondulante. Os grãos ocorrem anédricos e bastante fraturados. A granulação é da fração areia, com tamanhos ≤ 1 mm. São grãos angulosos a sub-angulosos e com esfericidade baixa. O epidoto, ocorre na cor verde amarelada, como grãos anédricos e submilimétricos (com tamanho máximo de 0,5 mm), associados às porções mais argilosas.

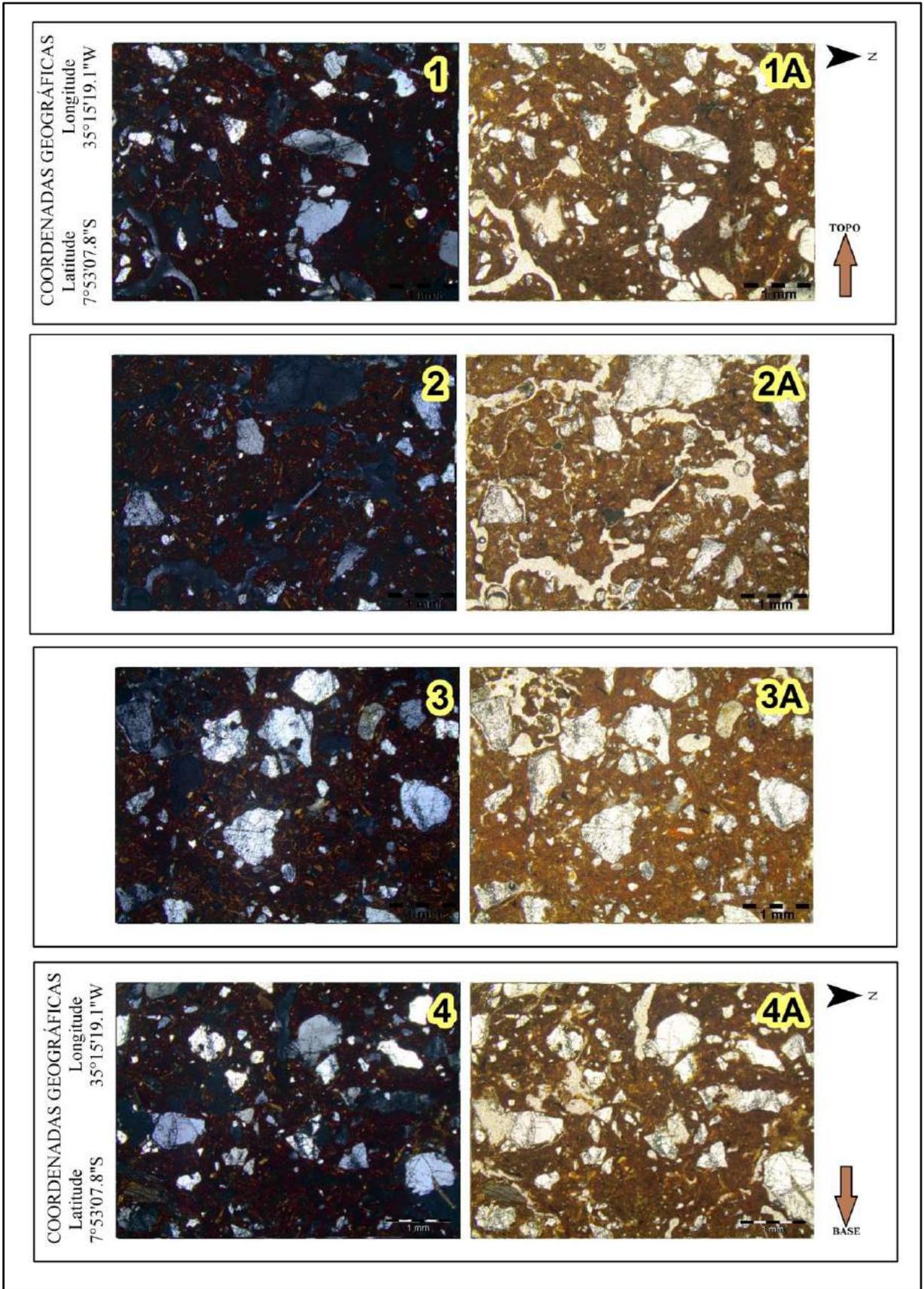
A argila é pleocróica na cor marrom, pode ser resultado de alteração de mineral micáceo, pois é possível observar extinção picotada/mosqueada. Os minerais opacos não reconhecidos ocorrem como grãos anédricos, arredondados e submilimétricos. Estão inclusos nas porções mais argilosas ou em fraturas dos grãos de quartzo.

Nesta última lâmina, duas zonas distintas são observadas: (1) fábrica saprolítica composta por mineral melhor preservado (predominantemente o quartzo) embora seja cortado por uma rede de fissuras preenchida por material fino pedoplasmado e (2) uma zona mais alterada composta, essencialmente, por mineral micáceo e feldspático quase que completamente substituído por material fino de alteroplasmação e pedoplasmação (cor amarelo brunado).

Particularmente na zona 2, nota-se a formação de estruturas saprolíticas deformadas pelas alterações físicas caracterizando estruturas brechoíde, possivelmente, como resultado de fricção mecânica. Nestas lâminas, ampliam-se as zonas com estruturas brechoides. Os minerais micáceos alterados estão desorganizados na fábrica mostrando, inclusive, feições de rotação. Grãos de quartzo angulosos e subangulosos de tamanho 1mm a 2mm estão fraturados, recristalizados e preenchidos de material fino amarelo-brunado. À direita da lâmina são visíveis zonas com plasmas menos densos, formando poros.

Os padrões observados são similares e se repetem nessa sequência de lâminas. Nota-se, que é possível visualizar uma fábrica saprolítica mais dominante – relacionada às características da rocha-mãe, porém há uma desorganização na orientação dos minerais micáceos e feldspáticos, principalmente, indicando possível esforço mecânico.

Figura 72 - Lâmina de coleta da medição 160cm - PONTO 02.



5.3.3 Datação por Luminescência Ópticamente Estimulada (LOE)

Com base nas evidências sedimentológicas apresentadas e na datação por LOE foi possível reconstruir, qualitativamente, os diversos cenários da dinâmica geomorfológica nas encostas através de materiais sedimentares depositado, nas áreas estudadas.

De acordo com a composição e maturidade mineralógica, as amostras foram separadas pelos pontos escolhidos. Optou-se utilizar cristais de quartzo através da datação por LOE/SAR. As concentrações de radioisótopos medidas e idades finais foram agrupadas nas tabelas 10 e 11 para uma melhor visualização dos resultados.

	PONTO 1 – CTD	PONTO 1 – CTD
CONCENTRAÇÕES MÉDIAS	AMOSTRA 010	AMOSTRA 120
Th (ppm)	15,237 ± 0,702	13,327 ± 0,609
U (ppm)	2,376 ± 0,140	1,981 ± 0,116
K (%)	0,612 ± 0,069	0,596 ± 0,057
Umidade (%)	9,7	8,2
Dose Anual (µGy/ano)	1.810 ± 65	2.750 ± 60
Desvio padrão P (Gy)	1,4	1,5
P (Gy)	12,3	16,4
Idades (anos)	6.800 ± 840	5.970 ± 560

Tabela 10 - Distribuição anual de Th, U, K e cálculo das idades finais das amostras do ponto 01.

	PONTO 2 – CER	PONTO 2 – CER
CONCENTRAÇÕES MÉDIAS	AMOSTRA 030	AMOSTRA 160
Th (ppm)	13,327 ± 0,609	9,949 ± 0,476
U (ppm)	1,981 ± 0,116	1,844 ± 0,111
K (%)	0,596 ± 0,057	1,057 ± 0,059
Umidade (%)	8,2	9,6
Dose Anual (µGy/ano)	2.410 ± 70	2.430 ± 55
Desvio padrão P (Gy)	6,5	5,9

P (Gy)	55,3	48,9
Idades (anos)	22.950 ± 2.750	20.100 ± 2.500

Tabela 11 - Distribuição anual de Th, U, K e cálculo das idades finais das amostras do ponto 02.

- **Ponto 01 - CTD**

O primeiro ponto de amostragem trata-se de uma encosta coluvial que apresenta uma sedimentação com espessura de 190cm. As amostras datadas foram coletadas em dois níveis sobrepostos e intercalados por uma linha de pedras - *Stone-line*.

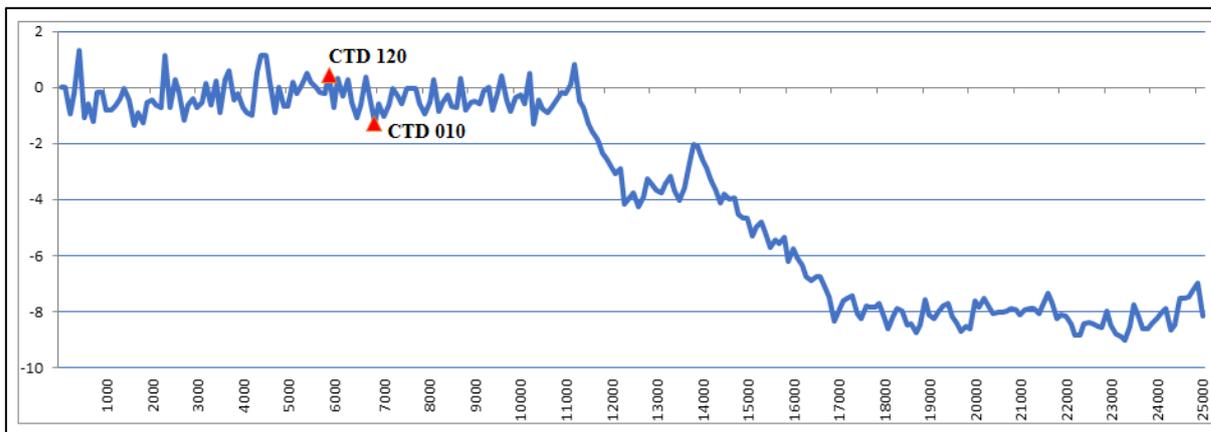
A primeira unidade possui uma textura argilo-arenosa e apresentou a idade de 6.800 ± 840 anos AP, demonstrando tratar-se de um evento de rebaixamento de temperatura (aproximadamente $1,5^{\circ}\text{C}$) no Holoceno médio (Figura 73), que gerou uma mudança rápida no clima para condições mais secas que o atual (Adams et al. ,1999; Petit et al., 1999).

Apesar da secura do clima, o evento pluviométrico (provavelmente de grande magnitude e baixa recorrência) foi capaz de produzir um escorregamento translacional de baixa energia, com transporte de material fino até a proximidade da área de drenagem. A existência de uma linha de acumulação de seixos corrobora a existência da fase seca, que favoreceu a erosão laminar e concentração da fração mais grossa.

O segundo nível, datado em 5.970 ± 560 anos AP aponta para a retomada da umidificação do clima no Holoceno médio (Figura 75 – curva de paleotemperatura) ocasionando chuvas que produziram novos escorregamentos translacionais, antes que a cobertura vegetal se recuperasse do período seco que antecederia este evento.

De acordo com Sallun (2003), durante o período do Quaternário ocorreram variados pulsos de processos geomorfológicos e deposição de colúvios, colúvio-elúvios e alúvios, intercalados com fase de amadurecimento de solos sobre o embasamento rochoso. Conforme autora, estes eventos podem estar correlacionados as mudanças paleoclimáticas e/ou neotectônicas suficientes para ocasionar mudanças abruptas nos níveis de base e com resultados significativos nas morfologias do relevo.

Figura 73 - Curva de Vostok com paleotemperaturas registradas nos últimos 12.000 mil anos. No gráfico temperatura média global X idade. Fonte: Adaptado de Petit et al., (1999).



- **PONTO 02 - CER**

A segunda área de coleta trata-se de uma rampa coluvial que transita lateralmente para um plano aluvial, apresentando uma sedimentação com espessura de 170cm. As amostras datadas encontram-se a 30cm de profundidade (base) e 160cm (topo), com fração granulométrica de areia grossa.

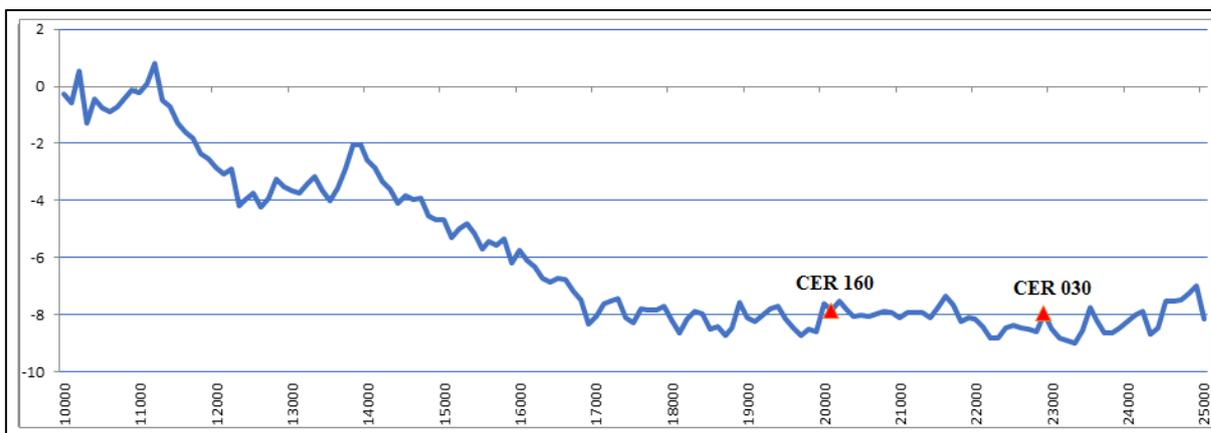
As idades de 22.950 ± 2.750 anos AP (base) e 20.100 ± 2.500 anos AP (topo) indicam tratar-se de eventos de súbita retomada da umidade durante o Último Máximo Glacial (UMG), trazendo máximos pluviais (Figura 74), após um período de seca extrema do evento Heinrich 2 (H2) (Adams et al., 1999; Petit et al., 1999).

A textura e profundidade do pacote sedimentar sugere tratar-se de um escorregamento translacional, sob condições de alta energia capaz de remobilizar o manto elúvial do topo das colinas. Adams et al. (1999) afirmam que o último evento Heinrich (H1) ocorreu logo após o UMG, marcando um curto período de semiaridez extrema que incidiu em muitas partes do mundo, entre 17 mil e 15 mil anos atrás (Figura 75).

Tal evento pode ter ocorrido na área de pesquisa a partir da presença de *Stone-line* no topo da deposição sugerindo que, posteriormente à umidificação, a área atravessou uma fase seca que favoreceu a erosão laminar com remoção das fácies argilo-sílticas e concentração de grossos.

Conforme trabalho apresentado por Sallun (2007), em várias regiões do Brasil são encontrados depósitos pleistocênicos de origem coluvial. Eles são testemunhos-chaves de importantes mudanças paleoclimáticas reconhecidas dentro de uma escala milenar, principalmente nas transições entre os estágios de isótopos do oxigênio.

Figura 74 - Curva de Vostok com paleotemperaturas registradas entre 25.000 a 10.000 A.P. No gráfico temperatura média global X idade. Fonte: Adaptado de Petit et al., (1999).



5.4 INTERPRETAÇÃO DA DINÂMICA AMBIENTAL PARA A ÁREA DE ESTUDADO

As idades dos depósitos encontrados nessa pesquisa fazem parte de inputs climáticos que ocorreram em diversos lugares da Terra. Esses eventos foram capazes de modificar e/ou remodelar diversas estruturas geológicas. Proporcionando então, as morfologias do relevo atual atreladas também a forma de uso e ocupação por parte antrópica.

Conforme Melo (2019), ao analisar dados geomorfológicos que contenham datações absolutas, é preciso considerar a quantidade de informações disponíveis para a área de estudo, uma vez que, poucos dados podem refletir informações com interpretações errôneas, já um banco de dados pode fornecer análises e interpretações agrupadas que podem revelar uma ciclicidade de eventos, sua magnitude e seus intervalos. Portanto, é a partir do entendimento das oscilações climáticas ocorridas no passado geológico, que se pode correlacionar com as mudanças vivenciadas na paisagem atual. Isso se dá pela correlação das idades, juntamente com as características morfoestratigráficas dos sedimentos, seus processos formativos e o desvio de temperatura global (AMORIM, 2015).

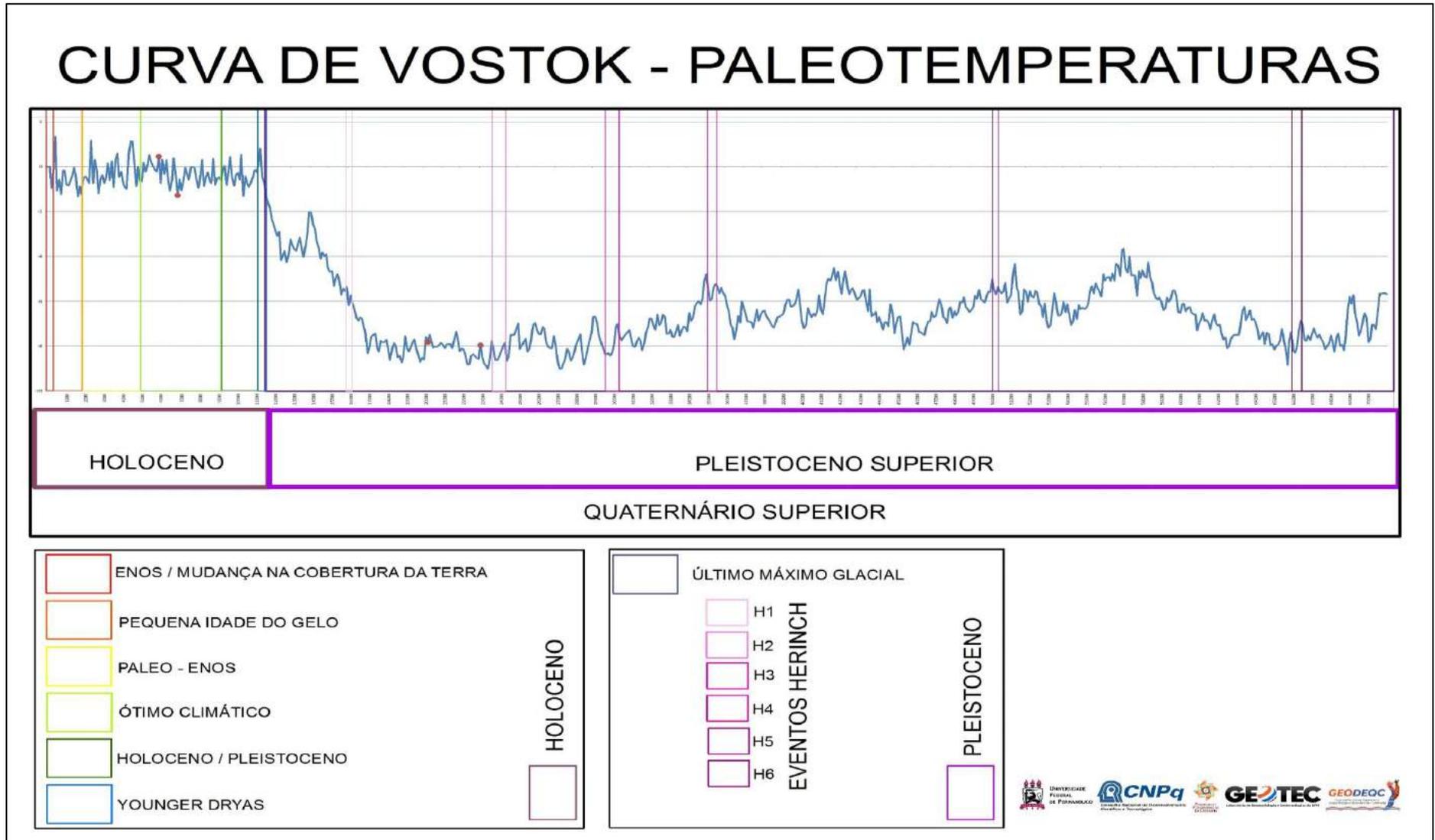
As idades encontradas nos depósitos estudados estão associadas aos eventos climáticos de grande repercussão geomorfológica global, sendo estes: o Último Máximo Glacial do Pleistoceno e o Ótimo Climático do Holoceno (Figura 75) são responsáveis pelo retrabalhamento desses sedimentos estocados na paisagem.

O Ótimo Climático que está relacionado entre os últimos 9.000 a 5.000 AP associado ao período de reumidificação pós-glacial dentro do Holoceno (FÔNSECA, 2018), possui registros em escala regional/global/milenar, e é caracterizado, dentro de um contexto global, pela

organização climática, com destaque para o aumento de temperatura e umidade, desencadeando fluxos de detritos, movimentos de massa e corridas de lama ou fluxos aluviais não canalizados no contexto do Nordeste oriental (MELO, 2019). Durante esse período climático foram encontradas as duas amostras mais recentes, no município de Carpina, exatamente no ponto 02, com idades entre 6.800 ± 840 anos AP (base) e 5.970 ± 560 anos AP (topo).

Já as idades encontradas entre os intervalos dos eventos Herinch (H2/H1) estão relacionadas aos últimos 24.000 mil anos – Último Máximo glacial do Pleistoceno Superior. Os eventos Heinrich Stadial são considerados como os principais modos de variabilidade climática em escala milenar durante o Último Máximo Glacial (STRÍKIS, et al., 2013). Esses eventos foram identificados através da datação em sedimentos glaciais marinhos que marcavam o encerramento desses imputs climáticos.

Figura 75 - Inter-relação entre idades encontradas no Município de Carpina/PE plotadas na Curva de Vostok com Paleotemperaturas e indicação de eventos climáticos ocorridos entre o Holoceno e Pleistoceno Superior (Petit et al., 1999).



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões acerca da evolução ambiental para o município de Carpina foram baseadas no mapeamento geomorfológico e na análise morfoestratigráfica dos depósitos coletados em cobertura coluvionar. Esses depósitos são oriundos de diferentes momentos de remobilização dos sedimentos através de escorregamentos translacionais, associados a inputs climáticos que ocorreram durante o pleistoceno superior e o holoceno, ambos dentro do Quaternário.

Os sedimentos possuem informações consideráveis para os estudos ambientais, uma vez que, através deles é possível se ter a história da formação, remobilização e estocagem de sedimentos que resultam na morfologia do relevo em questão. Sabe-se, que esses materiais são elementos constituintes da paisagem e que se expõem aos processos endógenos, exógenos e da ação antrópica. Vale ressaltar que tais sistemas ocorrem em determinadas escalas de tempo e espaço até os dias atuais.

Com base na análise sedimentológica-estratigráfica através dos métodos técnicos escolhidos a área têm: 1) No Ponto 01 – uma matriz de sedimentos classificada em areia argilosa à argila arenosa. O grão de seleção dos sedimentos obteve resultado de pobremente selecionado. A assimetria desse depósito variou em muito negativa a positiva. Sua curtose foi classificada em platicúrtica e o ambiente apresentou uma hidrodinâmica moderada;

2) No Ponto 02 – outra matriz de sedimentos foi classificada em argila arenosa à areia argilosa. O grão de seleção desses sedimentos resultou em pobremente selecionado. A assimetria variou nesse ponto entre muito positiva à negativa. Sua curtose e hidrodinâmica também foi platicúrtica e moderada, ou seja, deposição rápida e pouco retrabalhamento.

O mapeamento geomorfológico proposto, viabilizou identificar as unidades morfoesculturais da paisagem, possibilitando assim, identificar tanto as áreas fornecedoras como as receptoras de sedimentos. É válido ressaltar que com as atividades de campo, percebeu-se uma similaridade de estratificação nas áreas de cabeceiras de drenagem. Áreas antigas que recebiam sedimentos e hoje são fornecedoras de materiais Assim, essa ferramenta foi de grande relevância para a pesquisa, contribuindo para a compreensão de diferentes características do relevo.

É notório, que hoje, a influência dos processos intempéricos associados aos processos antrópicos, geram certa vulnerabilidade no relevo da área de estudo. Ressalta-se que os inputs climáticos de grande magnitude e de baixa recorrência ocorridos na paisagem contribuíram de

modo significativo na evolução dos processos denudacionais assim como, no desenvolvimento das áreas acumulativas de sedimentos dentro da morfologia atual.

Com base nos resultados das lâminas micromorfológicas, a sequência CTD (Ponto 01) a pedogênese é dominante, exceto pela presença de alguns grãos primários, como o quartzo e o feldspato, que são de difíceis alterações, no entanto, muitos deles estão fraturados e/ou recristalizados. Nas lâminas, foi possível encontrar certo domínio da caulinita, na qual também desaparecem vestígios de micáceos e certa atividade biológica dominante, formando poros e estruturas de microagregados. Há uma grande homogeneidade dos materiais finos e grossos no perfil estudado. A densa rede de poros e a ausência de manchas no material indicam um perfil com drenagem livre. Exceto, pela sugestiva orientação de alguns grãos de quartzo em algumas lâminas. Dessa forma, não há orientações que sugerem ser depósitos de colúvios atuais.

Na sequência CER (Ponto 02), as fábricas saprolíticas são dominantes e compostas por minerais primários em vias de alteração (alteromorfos e pseudomorfos) no qual são substituídos por material argilo-ferruginoso bruno amarelado e, em algumas situações (em clivagens de biotita, por exemplo) são preenchidas por material ferruginoso vermelho de caráter hematita. O grau de alteração na área é relativamente baixo a moderado, uma vez que os minerais micáceos pequenos e orientados estão disseminados por toda a matriz caulínica. A composição mineralógica indica ser material muito próxima à rocha mãe, uma vez que a sequência mineralógica primária é composta de – minerais transformados 2:1 – minerais neoformados caulinita 1:1 que compõem as matrizes. Isso deve ao material coluvial ter sofrido transporte de curta distância. O que provavelmente explica um arranjo estrutural herdado de antigo elúvio.

Em relação aos níveis estratigráficos, as idades obtidas datáveis certificaram que os episódios deposicionais estão na sujeição de agentes desencadeadores de gêneses distintas, sendo eles os eventos climáticos regionais ocorridos durante variados inputs de alta energia que aconteceram entre o pleistoceno superior (Último Máximo Glacial nos eventos Herinch 2/1) e o Holoceno (durante o evento Ótimo Climático).

O método utilizado por essa pesquisa - A abordagem morfoestratigráfica- somado às idades por datação em LOE e aos estudos geomorfológicos propiciaram interpretações paleoambientais e paleoclimáticas importantíssimas ao estudo da evolução sedimentar dos depósitos de encosta, possibilitando induzir uma cronologia para as variações ambientais sucedidas nessa paisagem.

Portanto, sugere-se o desenvolvimento de mais pesquisas no âmbito geomorfológico para a área, utilizando esse trabalho como ponta pé inicial, considerando que as unidades aqui

classificadas podem ser readaptadas a uma escala a mais de detalhe, utilizando métodos específicos como: geoquímica dos sedimentos, assembleia fitolítica, mapeamentos de micro parcelas das áreas de estocagens, mapas de uso e de ocupação e índices de extremos climáticos com o objetivo de avaliar o nível de sensibilidade dessas paisagens frente às modificações e/ou mudanças climáticas no uso da terra.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 4ª Ed, São Paulo: Ateliê Editorial, 2007.
- ACCIOLY, A. C. A. **Geologia, Geoquímica e Significado Tectônico do Complexo Metanortositico de Passira – Província Borborema – Nordeste Brasileiro**. São Paulo, SP. 168f. 2000. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2000.
- ADAMS, J. et al. Sudden climate transitions during the Quaternary. *Progress in Physical Geography* 23,1, pp. 1–36, 199.
- AITKEN, M. J. *An Introduction to Optical Dating: the dating of Quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence*. Oxford: Oxford University Press, 1998. 267p.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. **Províncias Estruturais Brasileiras**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, 1977. Campina Grande – PB, Atas... Campina Grande: SBG, Núcleo Nordeste, 1977, p.363-391.
- AMORIM, R. F. **Integração Entre Dinâmicas Geomorfológicas Multitemporais No Planalto Da Borborema, Semiárido Do Ne Do Brasil**. Recife - Tese de Doutorado – Universidade Federal de Pernambuco, 194p. 2015.
- ARAI, M. **Grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras**. *Geologia USP: Série Científica*, v.6, n.2, p.1-6, 2006.
- ARRUDA, I. R. P. **Análise comparativa da cobertura vegetal do município de Brejo da Madre de Deus –PE, entre os anos de 1998 -2016**. Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia –Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 80 f. 2018.
- ARRUDA, I. R. P. et al. **Análise Superficial da Cabeceira de Drenagem na Vila Maria no Município de Garanhuns – Pernambuco**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.l.], v. 14, n. 1, fev. 2021.
- ARRUDA, I.R.P., GUIMARÃES, T.O. **Análise vegetal do município de Brejo da Madre de Deus -Pernambuco**. *Revista Geofronter*, 6, 01-17, 2020.

ARRUDA, I.R.P., GUIMARÃES, T.O. **O uso do software Microdem como ferramenta para o ensino de Geografia Física.** Revista Ensino de Geografia (Recife), 2, 63-79, 2019. doi: <https://doi.org/10.38187/regeo2019.v2n3id242761>

ASLAN, A. **Fluvial Environments.** In: ELIAS, S.; MOCK, C. (Org.). Encyclopedia of Quaternary Sciences. Amsterdam: Elsevier. 2007. P.672-685.

AZAMBUJA, R. N. **Análise Geomorfológica em áreas de expansão urbana no município de Garanhuns – PE.** Dissertação de Mestrado. UFPE, Recife, 2007.

BARROS, A. C. M. **Avaliação da desconexão encosta-canal da bacia do riacho grande/PB** (2014), 138p. Recife- Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2014.

BEZERRA, F. H. R.; BRITO NEVES, B. B.; CORRÊA, A. C. B.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. **Late Pleistocene tectonical-geomorphological development within a passive margin – The Cariata trough northeastern Brazil.** Geomorphology, v. 97, p. 555-582, 2008.

BIGARELLA, J. J. & ANDRADE, G. O. **Contribution to the study of the brasilian Quaternary.** In: International studies of Quaternary. Geol. Soc. Amer. Special Papers, v. 84, 1965.

BIGARELLA, J. J. et al. **Estrutura e Origem das Paisagens tropicais e Subtropicais.** Florianópolis: Editora da UFSC, Volume 1. 2009.

BRITO NEVES, B. B.; SPRÖESSER, W. M.; PETRONILHO, L. A.; SOUZA, S. L. **Contribuição à Geologia e à Geocronologia do Terreno Rio Capibaribe (TRC, Província Borborema).** Revista do Instituto de Geociências – USP, Série Científica, São Paulo, v.13, n.2, p.97-122, 2013.

CAMARGO FILHO, M. & BIGARELLA, J. J. **Correlação de parâmetros estatísticos desedimentos de vertentes, rampas de colúvio-alúvio e terraço de várzea da bacia do Bananas – Guarapuava – PR.** *Geosul*, v. 14, p. 438 – 442, 1998.

CARVALHO, J. A. R., et al. **Identificação e Avaliação de Impactos Ambientais em Domínios Urbanos e Rurais do Entorno do Rio Tracunhaém, Município de Nazaré da Mata-PE.** Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n. 39, v. 2, p. 160-174, 2017.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 2 ed., 1980, 188p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236p.

CLARKE, M. L. et al. **Quality assurance in luminescence dating**. *Geomorphology*, v.29, p. 173 – 185, 1999.

CORRÊA, A. C. B. **Mapeamento geomorfológico de detalhe do maciço da Serra da Baixa Verde, Pernambuco: estudo da relação entre a compartimentação geomorfológica e a distribuição dos sistemas geoambientais**. Recife. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco. 1997. 183p.

CORRÊA, A. C. B. **Dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil**. 2001. 386 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2001.

CORRÊA, A. C. B. **Contribuição à análise do Recife como um Geossistema Urbano**. *Revista de Geografia*, Recife, v.23, n.3, p.86-105, 2006.

CORRÊA, A. C. B., *et al.* **Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema**. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, 31 (1/2), 35-52, 2010.

CPRM - **Geodiversidade do estado de Pernambuco**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236p.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geosystems: an introduction to physical geography**. New York: MacMillan College Publishing Company, 1994.

Delvigne, J., 1998. **Atlas of Micromorphology of Mineral Alteration and Weathering**, Orstom. ed, The canadian Mineralogist. Mineralogical Association of Canadá.

EMBRAPA. **Análise mineralógica das frações finas do solo por difratometria de raios-X**. ISSN 1517-5685. Rio de Janeiro. 9p. 2009.

FERREIRA, A. G., MELLO, N. G. S. **Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região**. *Revista Brasileira de Climatologia* 1, 15-28, 2005.

FRYE, J. C. & WILLMAN, H. B. **Morphostratigraphic units in Pleistocene stratigraphy.** *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, v.46, p.112-113, 1962.

FÔNSECA, D. N. **Evolução geomorfológica e sedimentação quaternária no setor oriental do piemonte da Borborema.** Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2018.

FONSÊCA, D. N. **Reconstrução da paisagem geomorfológica através da assinatura geoquímica dos eventos deposicionais da bacia do rio Capibaribe-Mirim, Pernambuco.** Recife, PE. 167f. 2012. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

GALVÃO, D. C. **Reconstrução paleoambiental a partir dos colúvios do entorno da Lagoa do Puiu, município de Ibirimir –Pernambuco.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2012. 127f.

GALE, S.J. & HOARE, P.G. ***Quaternary Sediments: Petrographic Methods for the Study of Ulithified Rocks.*** Londres: Bethaven Press, 1991, 318 p.

GEOFREY-SMITH, D. I. et al. **Optical dating studies of quartz and feldspar sedimentextracts.** *Quaternary Science Reviews*, v.7, p.373–380, 1988.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B.; GUERRA, A. J. T. **Influência da climatologia rítmica sobre áreas de risco: o caso da Região Metropolitana do Recife para os anos 2000 e 2001.** *Revista de Geografia*, Recife, v.23, n.1, p.3-41, 2008.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B.; NÓBREGA, R. S.; DUARTE, C. C. **O papel do clima nos estudos de prevenção e diagnósticos de riscos geomorfológicos em bacias hidrográficas na Zona da Mata Sul de Pernambuco.** In: GUERRA, A. J. T.; OLIVEIRA, J. M. C. (Org.). *Erosão e movimentos de massa: recuperação de áreas degradadas e prevenção de acidentes.* São Paulo: Oficina de Textos, p.126-159, 2013.

GONÇALVES, R. B. **Significado geomorfológico dos sedimentos cenozóicos do baixo curso do Rio Capibaribe – PE.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-graduação em Geografia, Recife, 2018. 134f.

GUIMARÃES, T. O. **Patrimônio geológico e estratégias de geoconservação: popularização das geociências e desenvolvimento territorial sustentável para o litoral sul de Pernambuco (Brasil).** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Geociências, 2016.

GURGEL, S. P.P. **Evolução Morfotectônica do Maciço Estrutural Pereiro, Província Borborema**. Tese de Doutorado, Departamento de Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2012.

JACOMINE, P. K. T. A nova classificação brasileira de solos. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, vols. 5 e 6, p.161-179, 2009.

JATOBÁ, L. et al. A abordagem interdisciplinar do tema o domínio morfoclimático dos "mares de morros" em Pernambuco. Revista Equador (UFPI), Vol.3, nº2, p. 02 - 18, 2014.

JATOBÁ, L. O relevo terrestre e as condições climáticas, In: JATOBÁ, L., LINS, R. C. e SILVA, A. F. Tópicos Especiais de Geografia Física. 2 ed. Petrolina: PROGRESSO, 2014. cap. 2.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LIMA, G. R. DE; LISTO, D. G. D. S.; ARRUDA, I. R. P. D. **ANÁLISE DOS DEPÓSITOS DE COLÚVIO NA SERRA DOS CAVALOS-CARUARU/PERNAMBUCO**. Revista de Geociências do Nordeste, v. 7, n. 2, p. 01-10, 16 jul. 2021.

LIMA, F. J. **Evolução geomorfológica e reconstrução paleoambiental do setor subúmido do Planalto Sedimentar do Araripe: um estudo a partir dos depósitos colúviais localizados nos municípios de Crato e Barbalha – Ceará**. Tese de Doutorado. UFPE. 2015.

LIRA, D. R. **Evolução geomorfológica e paleoambiental das bacias do riacho do pontal e GI-8 no sub-médio São Francisco/PE**. 2014. 234 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2014.

MABESOONE, J. M. **Panorama geomorfológico do Nordeste brasileiro**. Geomorfologia, USP, São Paulo, n.56, p.1-16, 1978. MABESOONE, J. M. Sedimentologia. Recife: Editora Universitária, 1983. 480p.

MELO, J. S. **Dinâmica geomorfológico do ambiente de encosta em Belo Jardim – PE: Uma análise a abordagem a partir da perspectiva morfoestratigráfica aplicada aos depósitos colúviais**. 2008. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2008.

MELO, R. F. T. **Evolução geomorfológica em bases paleoclimáticas do maciço estrutural de Água Branca – AL.** Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2019.

MELO, R. F. T., et al. **Análise geomorfológica e sedimentológica do leque malaquias, maciço de Água Branca, Água Branca – AL.** ANAIS DO XI SINAGEO, 2016.

MELO, R. F. T. **Evolução Dos Depósitos De Encosta No Leque Malaquias E Lagoa Das Pedras No Entorno Do Maciço Estrutural Da Serra De Água Branca.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2014.

MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F. A.; SOUZA, P. P. **Zona de Convergência Intertropical do Atlântico.** In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. J.; DIAS, M. A. F. S. Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.25-42.

MELLO, C. L. **Quaternário: o presente como chave do futuro – a natureza de uma ciência transdisciplinar.** In: IBM. Monografias vencedoras do Concurso Planeta Terra: O mundo deu muitas voltas. IBM: Rio de Janeiro, p.1-17, 1989.

MELLO, C. L.; CARMO, I. O., MOURA, J. R. S. **Estudo faciológica dos depósitos sedimentares holocênicos com base na estrutura deposicional – médio vale do Paraíba do Sul.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, 1991, São Paulo. Anais... São Paulo: SBG, 1991, p.19-26.

MELLO, C. L.; CARMO, I. O.; SILVA, T. M.; MOURA, J. R. S.; RODRIGUES, L. F. **Estratigrafia e relações morfotectônicas da ocorrência de depósitos Cenozóicos na área do Cafundó (Barra Mansa, RJ).** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 4, 1995, Águas de São Pedro. Boletim de resumos...São Paulo: SBG, 1995, 89p.

MOLION, L. C. B.; BERNADOR, S. O. **Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro.** Revista Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos, SP, v.17, n.1, p.2-10, 2002.

MONTEIRO, K. A. **Análise geomorfológica da escarpa oriental da Borborema a partir da aplicação de métodos morfométricos e análises estruturais.** Recife, PE. 2015. 223f. Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

MOURA, J. R. S. & MEIS, M. R. M. **Contribuição à estratigrafia do Quaternário Superior no médio vale do rio Paraíba do sul, Bananal (SP).** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 58, p. 89 – 102, 1986.

MUTZENBERG, 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.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Arqueologia, Universidade Federal de Pernambuco, 2007. 142p.

MUTZENBERG, D. S. **Ambientes de Ocupação Pré-Histórica no Boqueirão da Pedra Furada, Parque Nacional Serra da Capivara - PI.** Tese de Doutorado, Departamento de Arqueologia, Universidade Federal de Pernambuco, 2010. 256p.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989, pp.315-361.

PETIT, J. R. et al. Climate and atmospheric history of the past 420,000 607 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399, 429-436, 199.

PERNAMBUCO. AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO – CONDEPE/FIDEM. **Rio Goiana e GL 6.** (Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco). 65p., 2005.

SILVA, M. S. L., OLIVEIRA, M. B. **ÁRVORE DO CONHECIMENTO Território Mata Sul Pernambucana.** Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2013. Disponível em:
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CON T000gt7eon7k02wx7ha087apz246ynf0t.html. Acessado dia 10 de set. de 2020.

RAMOS, D. A. M. C. **Os depósitos de encosta na reconstrução da dinâmica geomorfológica na bacia do riacho Piancozinho (Pernambuco/Paraíba).** Universidade Federal do Pernambuco, 149p., 2014.

RANULPHO, R. **Fitólitos em Depósitos de Colúvio do Quaternário Superior na face Nordeste da Bacia Sedimentar do Araripe/CE:SignificadoPaleoambiental.** 2016. Dissertação(Mestrado em Geografia)-Universidade Federal de Pernambuco.

ROBITA, S. M.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. **Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.2, p.185-204, 2010.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. **História ecológica da terra.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1994.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA,

J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p. il. color.

SALLUN, A. E. M.; SUGUIO, K.; SOBRINHO, J. M. A. S. M. A.. **Sedimentologia da Aloformação Paranavaí, Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraná (SP, PR E MS)**. Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, v. 35, n. 1, p. 85-107, jul. 2008. ISSN 1807-9806. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/17897>. Acesso em: 02 set. 2020. doi:<https://doi.org/10.22456/1807-9806.17897>.

SALLUN, A. E. M. **Depósitos cenozóicos da região entre Marília e Presidente Prudente (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências, São Paulo, 2003. 204f.

SALLUN, A. E. M. **Aloformação Paranavaí: depósitos coluviais quaternários da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraná (SP, PR e MS)**. TESE (Doutorado em Geociências) - Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências, São Paulo, 2007. 176f.

SANCHO, C.; PEÑA, J. L.; MUÑOZ, A.; BENITO, G.; MCDONALD, E.; RHODES, E. J.; LONGARES, L. A. **Holocene aluvial morphopedosedimentary record and environmental changes in the Bardenas Reales Natural Park (NE Spain)**. Catena, v.73, p.225-238, 2008.

SANTOS, E. J. & MEDEIROS, W. C. **Constraints from granitic plutonism on Proterozoic crust growth of the zone Transversal Domain Borborema Province, Ne Brazil**. Revista Brasileira de Geociências, v.29, n.1, p.73-84, 1999.

SANTOS, J. C. **Reconstrução paleoambiental dos depósitos sedimentares neogênicos do Parque Nacional Serra da Capivara e circunvizinhanças, Piauí**. Tese de Doutorado. Departamento de Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2007. 182p.

SELBY, M.J. **Earth's Changing Surface**. London: Clarendon, 1992.

SILVA, M. L. G. **Evolução da paisagem geomorfológica no semiárido alagoano a partir do estudo dos modelados de acumulação e denudação do Município de Água Branca - AL**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-graduação em Geografia, Recife, 2019.

SILVA, A. C. **Reconstrução quaternária da dinâmica geomorfológica a partir das análises dos depósitos do baixo curso do rio Capibaribe – PE**. Recife, PE. 2016. 206f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

SILVA, D. G. **Evolução Paleoambiental dos Depósitos de Tanques em Fazenda, Município de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco.** (2007) Dissertação de Mestrado. Recife: Universidade Federal de Pernambuco/UFPE. 2007.

SILVA, D. G. **Reconstrução da dinâmica geomorfológica do semiárido brasileiro no Quaternário superior a partir de uma abordagem multiproxy.** 2013. 277 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2013.

SILVA JUNIOR, M. A. B., SILVA, S. R. **A outorga de direito de uso dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Capibaribe, Pernambuco-Brasil.** Anais do XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal. 2014.

SOUZA, A. O. **Mapeamento geomorfológico de detalhe da carta de Belo Jardim-PE: Uma Análise a partir dos padrões morfométricos do relevo** (2008). Dissertação de Mestrado. Recife: Universidade Federal de Pernambuco. 2008

SILVA, D. G. & CORRÊA, A. C. B. **Evolução paleoambiental dos depósitos de tanques em Fazenda Nova, Pernambuco - Nordeste do Brasil.** Rev. Bras. Geografia Física, v. 2(2), p. 43-56, 2009.

SOUZA, Z. C.; XIAODONG, D.; LI, J. W. **Multiple late-Neoproterozoic intrusions in the Seridó Domain, NE Brazil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45, Belém. Resumos...2010, p.90.

SOUSA, S. G. **Mapeamento de geossistemas no município de Farias Brito, Ceará** (2019). Dissertação de Mestrado. Recife: Universidade Federal de Pernambuco. 2019.

SOUSA, S. G. et al. (2019). **ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE QUIPAPÁ - ZONA DA MATA DE PERNAMBUCO.** Revista Equador (UFPI), Vol. 8, Nº 2, p.436 – 448, 2019.

STOKES, S. **Luminescence dating applications in geomorphological research.** Geomorphology, v. 29, p.153-171, 1999.

STOOPS, G. **Guidelines for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections.** SSSA. Madison, WI., 184pp + CD, 2003.

STOOPS, G., MARCELINO, V., MEES, F., 2010. **Interpretation of micromorphological features of soil and regoliths.** Elsevier.

STRÍKIS, N. M. et al. **Estrutura interna e cronologia do Heinrich Stadial 1 na precipitação da América do Sul**. XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Natal - RN, 2013.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010, 408p.

Suguió, Kenitiro. **Mudanças Ambientais da Terra / Kenitiro Suguió**. – São Paulo: Instituto Geológico, 2008. 336 p

SUGUIO, K. Introdução. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. (Eds.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, p.21-27, 2005.
SUMMERFIELD, M. A. **Geomorphology and global tectonics**. West Sussex: Wiley, 2000, 367p.

TAYLOR, G. R. & EGGELTON, R. A. **Regolith geology and geomorphology**. Chichester, England: John Wiley, 2001, 375p.

TAVARES, B. A. C. **Evolução morfotectônica dos pedimentos embutidos no Planalto da Borborema**. Recife, PE. 251f. 2015. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1)

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1977.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. Chichester: John Wiley and Sons, Ltd., 1994.

TUCKER, M. **Techniques in Sedimentology**. London: Blackwell, 1995.

UVO, C.R. B. E R. BERNDTSSON. **Regionalization and Spatial Properties of Ceará State Rainfall in Northeast Brazil**. J. Geoph. Res., vol. 101, no. D2, 4221-4233, 1996.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia Versão Digital 1**. In: Perturbações Atmosféricas. Recife. 2005. p. 444-446.

WAGNER, G. A. **Age determination of young rocks and artifacts: physical and chemical clocks in Quaternary geology and archaeology.** New York: Springer, 1998. 466p.

WALLINGA, J. et al. **The single-aliquot regenerative-dose (SAR) protocol applied to coarse-grain feldspar,** Radiation Measurements, 32, 5-6, 529-533, 2000.